

不同授粉品种对苹果果实生长及内源激素含量的影响

徐臣善*

德州学院农学系, 山东德州253023

摘要: 以‘长富2号’红富士苹果(*Malus domestica* Borkh. cv. Red Fuji, ‘Nagafu No.2’)为母本, ‘美红’、‘荷红’和‘红星’为授粉品种, 进行人工授粉, 测定不同授粉处理的果实在生长发育过程中果肉内源激素含量、果实单果重和纵横径的动态变化, 从内源激素的角度探讨不同授粉品种对苹果果实生长发育的影响。结果表明: 授粉品种为‘美红’和‘红星’的果实单果重、纵横径净增长速率在花后10、14和22周出现高峰, 授粉品种为‘荷红’的果实在花后14和22周出现高峰; 花后18周至采收时(花后26周), 授粉品种为‘美红’的果实的单果重、纵横径明显大于其他授粉品种($P<0.05$); 授粉品种为‘美红’和‘红星’的果实 IAA、GA₃、ZR (玉米素)含量在花后10、14和22周均出现不同程度的上升, 与其果实净生长速率出现高峰的时期一致; 授粉品种为‘美红’的果实 IAA 含量在花后8~26周高于‘荷红’($P<0.05$), GA₃含量在20~26周高于其他授粉品种($P<0.05$), ABA 含量在花后22~26周低于其他授粉品种($P<0.05$), ZR 含量在花后26周高于其他授粉品种($P<0.05$)。综上可知, 不同的授粉品种通过影响苹果果实的内源激素水平调控果实的生长, 相比于其他授粉品种, ‘美红’更有利于提高果实单果重。

关键词: 苹果; 果实生长; 内源激素; 授粉品种

Effects of Different Pollination Varieties on Fruit Growth and Endogenous Hormones Content in *Malus domestica* Borkh.

XU Chen-Shan*

Agronomy Department, Dezhou University, Dezhou, Shandong 253023, China

Abstract: In this experiment, Red Fuji apple ‘Nagafu No.2’ was used as female parent, and ‘Meihong’, ‘Hehong’, and ‘Starking’ were used as pollination varieties, then, dynamic changes of endogenous hormones contents, weight and vertical/horizontal diameter in fruit treated with pollination varieties were determined to explore mechanisms of cross pollination of apple. The results showed that: the single fruit weight, vertical/horizontal diameter pollinated with ‘Meihong’ and ‘Starking’ peaked at the 10th, 14th and 22nd weeks after bloom, while those pollinated with ‘Hehong’ peaked at the 14th and 22nd weeks. Single fruit weight and vertical/horizontal diameter pollinated with ‘Meihong’ were higher than others from the 18th week after bloom to harvest time (the 26th week after bloom) ($P<0.05$). IAA, GA (GA₃), ZR (zeatin) contents in fruits pollinated with ‘Hehong’ and ‘Starking’ increased at the 10th, 14th and 22nd weeks after bloom, coinciding with the net growth rate peaks. The IAA content in fruit pollinated with ‘Meihong’ was higher than that of ‘Hehong’ during the 8th and 26th weeks after bloom ($P<0.05$), while the GA₃ content was higher than others during the 20th and 26th weeks after bloom ($P<0.05$), the ABA content was lower during the 22nd and 26th weeks after bloom ($P<0.05$) and the ZR content was higher at the 26th week after bloom ($P<0.05$). The results were concluded that: different pollination varieties affected endogenous hormones contents differently and regulated fruit growth and development; the variety ‘Meihong’ was more beneficial to raise fruit weight compared with the other pollination varieties used in the experiment.

Key words: *Malus domestica* Borkh.; fruit growth; endogenous hormones; pollination varieties

苹果存在着部分自交不亲和现象, 而作为山东主要栽培品种的富士其自交亲和率仅为2.2% (李天忠等2004), 需要严格配置授粉树。但不同的授粉品种会对果实的品质产生影响, 有的存在直感效应(Denney 1992; 李保国等2004), 进而引起果实品质的改变, 而内源激素在果实的生长发育过

程中起调控作用, 是影响苹果果实生长发育的重

收稿 2012-12-24 修定 2013-01-22

资助 国家“十二五”科技支撑计划项目(2011BAD12B02)和德州学院人才引进项目(402115)。

* 通讯作者(E-mail: michael_10@163.com; Tel: 0534-8987859)。

要内在调节因子。因此,从内源激素的角度探讨不同授粉品种对果实生长发育影响的机理对生产上授粉树的配置、提高果实质量和经济效益具有重要的意义。异花授粉效应是果树生产中普遍存在的现象,目前,不同授粉品种对果实生长发育影响的研究大多集中在果实坐果率和果实品质方面(李保国等2004;邱燕萍等2006;沙海峰等2006;齐秀娟等2007),对其产生机理的研究较少,主要通过分析果实内源激素含量来探讨其内部机理(Callan和Lombard 1978; Williams等1978;吴少华等1986;聂磊和刘鸿先2002),但尚未获得一致的结论和令人满意的解释。此外,不同授粉品种对苹果果实内源激素含量动态变化的影响未见报道。因此,本研究以富士苹果为试材,研究不同授粉品种对果实发育过程中内源激素含量的影响,以及内源激素在果实生长过程中的调控作用,从内源激素的角度分析不同授粉品种对苹果果实生长发育的影响,为生产上苹果授粉树的筛选和生长调节剂的使用提供重要的理论依据。

材料与方 法

1 试材及试验处理

试验于2009年3~12月在山东农业大学生理实验室及中国农业大学农学与生物技术学院激素测试中心进行。试验所用花粉为‘美红’、‘荷红’、‘红星’,其中‘美红’是从美国引进的授粉树,‘荷红’是从荷兰引进的授粉树,‘红星’是生产中常用的授粉品种,所有花粉均采自莱州市小草沟园艺站。试材为12年生的‘长富2号’红富士苹果(*Malus domestica* Borkh. cv. Red Fuji, ‘Nagafu No.2’),地点为沂源市中庄镇精品果生产基地。

选取树势中庸、通风透光良好、长势基本一致的富士苹果树9株,每株设‘美红’、‘荷红’和‘红星’花粉授粉,共3个处理,以长度、方位和长势基本一致的主枝为小区(授粉处理),采用随机排列的方法。相邻的3株为1重复,共3次重复。在铃铛花期,疏除过多过密的花序,使保留下的花序间距大致为20 cm,去边花保留中心花,去雄后进行人工授粉,套袋并挂牌标记。每个授粉处理的授粉花量按梢果比(新梢与果实的比值)3:1的比例,并在此基础上加20%的保险系数确定,花后5周(新梢基本

停长),疏除畸形果和病虫害果,每个授粉处理按50:1的叶果比确定每个授粉处理的果实负载量。

花后2周至采收时,每隔2周的当天上午10:00采样,将果实置于冰盒中立即带回实验室,测定果实单果重、纵横径和内源激素含量。每个处理每株采2个果实,相邻3株共采集6个果实,9株树共采集18个果实,测定相邻3株6个果实单果重、纵横径,其平均值作为该处理1次重复值,共3次重复,每个处理每株选取1个果实,相邻3株共3个果实,将3个果实果肉混合均匀,测定内源激素含量,作为该处理1次重复值,共3次重复。

2 果实单果重、纵横径的测定

果实单果重用电子天平测定;果实纵横径用游标卡尺测定;增长速率用净增长速率表示,净增长速率=相邻2次采样差/间隔天数。

3 果实内源激素含量的测定

内源激素的提取:称取混合果肉0.5 g(千分之一天平测量),液氮速冻后冰浴下研磨,加4 mL样品提取液(80%冷甲醇),转入10 mL试管。4 °C下提取4 h,3 500 r·min⁻¹离心8 min,取上清液。沉淀中加1 mL提取液,搅匀,置4 °C下再提取1 h后离心,合并上清液并记录体积,残渣弃去。上清液过C18固相萃取柱[Agilent Technologies (公司) SampliQ C18 ODS 500 mg, 6 mL],将过柱后的样品转入5 mL塑料离心管中,真空浓缩干燥或用氮气吹干,除去提取液中的甲醇,用样品稀释液定容。

内源激素的测定:采用酶联免疫吸附分析法(何钟佩1993)(简称ELISA)测定,试剂盒由中国农业大学作物化控室提供。测定的内源激素具体种类为IAA(吲哚-3-乙酸)、GA₃(赤霉素)、ZR(玉米素)和ABA(脱落酸)。

4 数据分析

采用Excel软件及DPS数据处理系统,对数据进行统计分析;不同授粉处理间采用Duncan法进行差异显著性检验。

实验结果

1 授粉品种对果实发育过程中单果重和纵横径的影响

果实单果重的动态变化如图1所示,花后18周至采收时,授粉品种为‘美红’的果实单果重明显大

于其他授粉品种的果实, 差异显著($P<0.05$); 果实采收时授粉品种为‘美红’的果实单果重最大($323.26\text{ g}\pm 12.79\text{ g}$), 其次为‘红星’($265.72\text{ g}\pm 11.47\text{ g}$), ‘荷红’最小($250.86\text{ g}\pm 11.09\text{ g}$)。

在果实发育进程中, 以‘美红’和‘红星’授粉的果实单果重净增长速率在花后10、14和22周出现3个高峰期, 而以‘荷红’授粉的果实单果重净增长速率有2个高峰期, 分别出现在花后14和22周(图2); 以‘美红’授粉的果实单果重净增长速率在花后18周至采收时大于‘红星’和‘荷红’, 与单果重相一致;

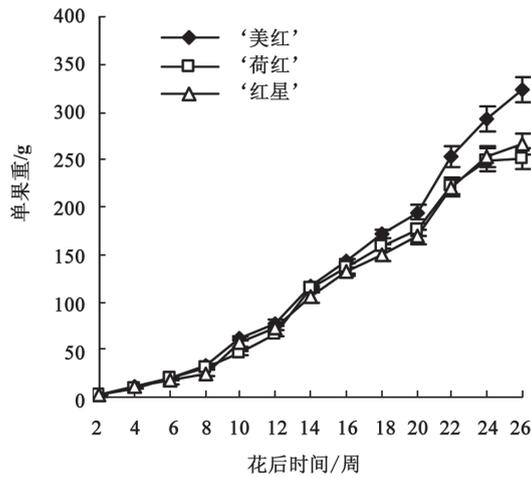


图1 不同授粉品种对单果重变化的影响

Fig.1 Effects of different pollination varieties on the change of single fruit weight

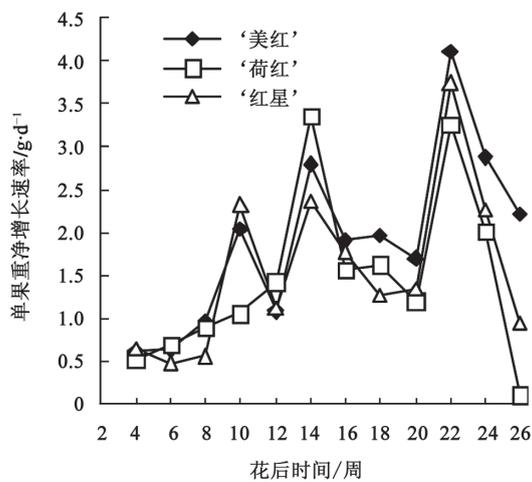


图2 不同授粉品种对单果重净增长速率的影响

Fig.2 Effects of different pollination varieties on the net growth rate of single fruit weight

果实采收时, ‘美红’的净增长速率最大, 其次为‘红星’, ‘荷红’最小。各授粉品种果实的单果重和净增长速率表明, 不同授粉品种对单果重影响的差异性在前期不明显, 在果实发育后期差异显著, 以‘美红’授粉的果实在发育后期迅速膨大, 在果实采收时仍保持较高的净增长速率, 生长期延长, 而授粉品种为‘荷红’的果实在后期净增长速率较小, 采收时基本停止生长。

果实横径的动态变化如图3所示, 花后18周至采收时授粉品种为‘美红’的果实明显大于其他授粉品种, 差异显著($P<0.05$); 果实采收时, 授粉品种为‘美红’的果实横径最大($9.48\text{ cm}\pm 0.17\text{ cm}$), 其次为‘红星’($8.97\text{ cm}\pm 0.20\text{ cm}$), ‘荷红’最小($8.48\text{ cm}\pm 0.21\text{ cm}$)。如图4所示, 各授粉品种的果实花后4周横径净增长速率最大, 之后至采收时, 授粉品种为‘美红’和‘红星’的果实在花后10、14和22周出现3个高峰, 而‘荷红’只在花后14和22周出现2个高峰; 果实采收时, 各授粉品种果实的横径净增长速率降到最小值, ‘荷红’的净增长速率最小; 授粉品种为‘荷红’的果实横径净增长速率比其他授粉品种少1个高峰, 且在发育后期(花后22~26周)净增长速率小于其他授粉品种, 这可能是授粉品种为‘荷红’的果实在果实采收时横径较小的原因。

果实纵径的动态变化如图5所示, 花后18周至

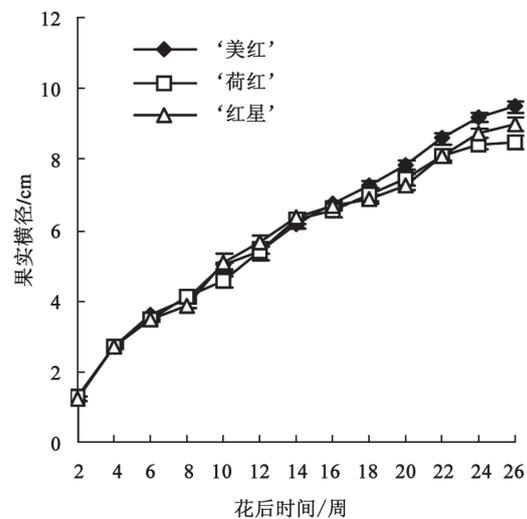


图3 不同授粉品种对果实横径变化的影响

Fig.3 Effects of different pollination varieties on the change of fruit horizontal diameter

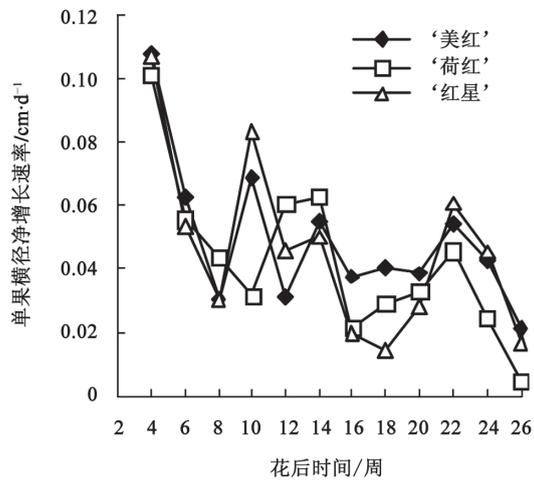


图4 不同授粉品种对果实横径净增长速率的影响
Fig.4 Effects of different pollination varieties on the net growth rate of fruit horizontal diameter

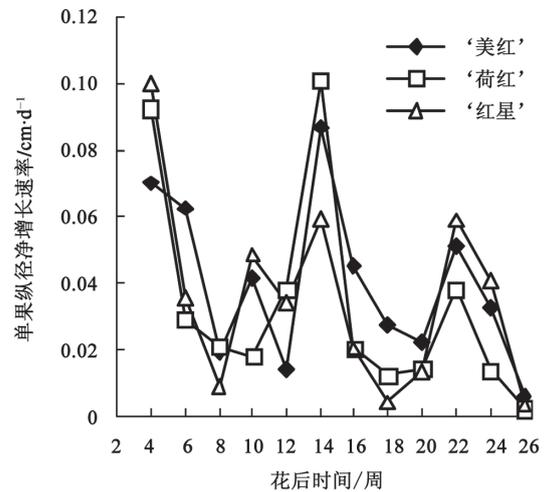


图6 不同授粉品种对果实纵径净增长速率的影响
Fig.6 Effects of different pollination varieties on the net growth rate of fruit vertical diameter

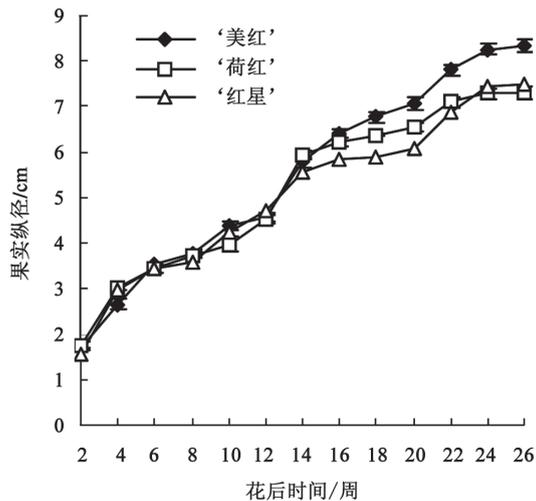


图5 不同授粉品种对果实纵径变化的影响
Fig.5 Effects of different pollination varieties on the change of fruit vertical diameter

采收时授粉品种为‘美红’的果实明显大于其他授粉品种, 差异显著($P < 0.05$); 果实采收时, 授粉品种为‘美红’的果实纵径最大($8.33 \text{ cm} \pm 0.15 \text{ cm}$), 其次为‘红星’($7.49 \text{ cm} \pm 0.12 \text{ cm}$), ‘荷红’最小($7.31 \text{ cm} \pm 0.13 \text{ cm}$)。纵径的净增长速率如图6所示, 果实发育初期(花后4周), 各授粉品种果实纵径净增长速率较大, 之后至采收时, 授粉品种为‘美红’和‘红星’的果实在花后10、14和22周出现3个高峰, 而‘荷红’只在花后14和22周出现2个高峰; 各授粉品

种果实的纵径净增长速率花后14周的峰值大于花后22周的峰值, 在果实采收时降到最小值, 这表明各授粉品种果实纵径的生长以前期为主, 后期增长速率较小, 采收时纵径基本停止生长。此外, 授粉品种为‘荷红’的果实纵径净增长速率比其他授粉品种少1个峰值, 且在发育后期(花后22~24周)净增长速率较小, 这可能导致了在果实采收时授粉品种为‘荷红’的果实纵径较小。

综上可知, 果实单果重和纵横径的变化趋势基本一致, 果实发育初期, 虽然果实单果重的净增长速率不高, 但相对增长速率很大, 这与该时期果实纵横径的净增长速率维持在很高的水平相一致, 此后, 果实单果重和纵横径净增长速率在相同的时期出现高峰, 并在果实采收时均出现下降趋势。但不同授粉品种对果实生长发育的影响存在差异, 授粉品种为‘美红’和‘红星’的果实单果重、纵横径净增长速率在花后10、14和22周出现3个高峰, 而‘荷红’只在花后14和22周出现2个高峰; 花后18周至采收时, 授粉品种为‘美红’的果实的单果重、纵横径明显大于其他授粉品种($P < 0.05$), 且在采收时单果重净增长速率仍维持在相对较高的水平。

2 授粉品种对果实发育过程中内源激素含量的影响

IAA具有促进细胞生长的作用, 授粉受精完成

以后, 果实发育需要的大量IAA主要由受精的胚珠合成(汪俏梅和郭得平2002), Miller等(1987)也认为桃幼果的细胞分裂、生长与果实内高含量的IAA有关, 陶汉之等(1994)在猕猴桃上的研究发现IAA含量在果实发育的初期最高, 之后呈下降趋势。本研究发现各授粉品种果实IAA含量变化趋势基本一致, 整体呈下降的趋势(图7)。各授粉品种果实IAA含量在花后2周最大, 之后整体呈下降的趋势, 花后10、14和22周又有不同程度的增加, 果实采收时, IAA含量下降到最低水平; 对各授粉品种间进行差异显著性分析($P < 0.05$), 花后8~26周授粉品种为‘美红’的果实IAA含量显著大于‘荷红’。

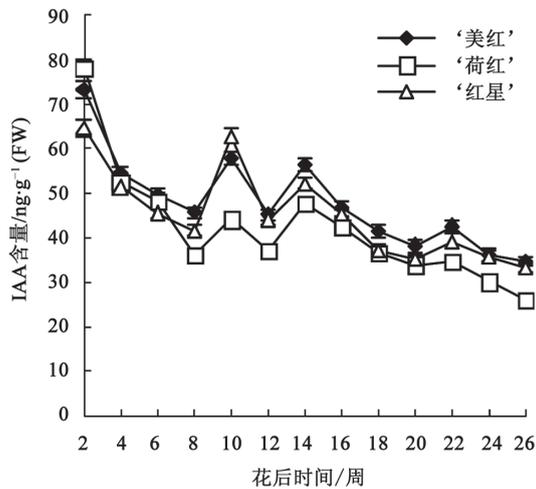


图7 不同授粉品种对果实IAA含量变化的影响

Fig.7 Effects of different pollination varieties on the change of content of IAA in fruit

不同授粉品种对果实GA₃含量动态变化的影响如图8所示, 各授粉品种果实GA₃含量变化趋势基本一致, 整体呈现先增加后减小的趋势, 花后2~4周呈下降趋势, 之后含量上升, 在花后10、14和22周出现峰值, 最高峰值均出现在花后14周; 在花后20~26周, 授粉品种为‘美红’的果实GA₃含量始终高于其他品种($P < 0.05$), 授粉品种为‘荷红’和‘红星’的果实GA₃含量在花后20~22周无显著差异($P < 0.05$), 但在花后24~26周‘红星’显著大于‘荷红’($P < 0.05$)。GA₃的主要生理作用是促进细胞伸长和诱导淀粉酶的形成, 在幼果发育后期, 果肉细胞体积变大, GA₃起主要作用(邹养军和王永熙2002), 果

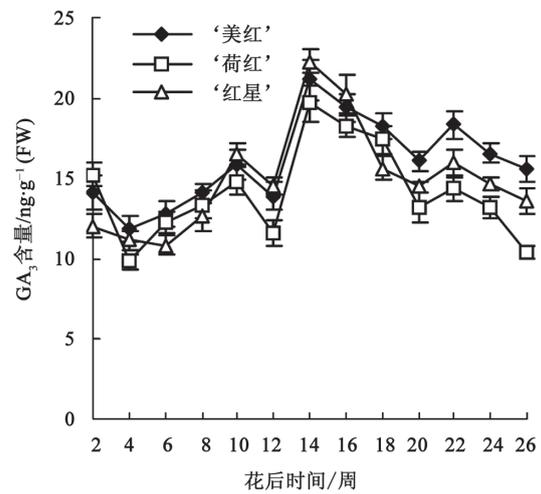


图8 不同授粉品种对果实GA₃含量变化的影响

Fig.8 Effects of different pollination varieties on the change of content of GA₃ in fruit

实成熟时, GA₃含量降低, 果实膨大速度下降, 授粉品种为‘美红’的果实后期(20~26周)较高水平的GA₃含量与其生长期较长的结果相一致。

不同授粉品种对果实ZR含量的影响差异不明显(图9), 各授粉品种ZR含量的变化趋势也基本一致, 整体呈下降的趋势。花后2周ZR含量最高, 之后含量降低, 在花后10、14和22周ZR含量均有不同程度的增加, 花后24~26周, 授粉品种为‘美红’的果实ZR含量有小幅上升, 其他授粉品种果实ZR含

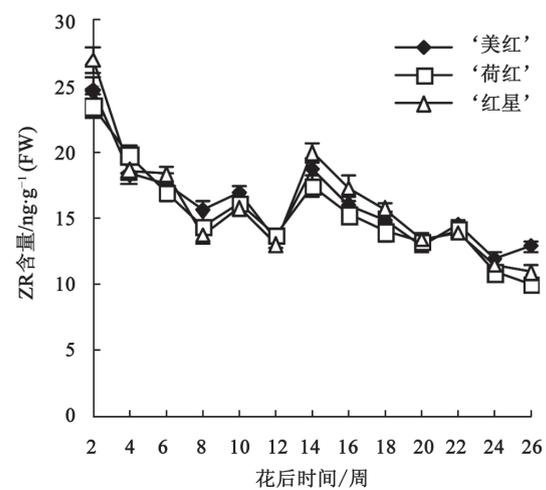


图9 不同授粉品种对果实ZR含量变化的影响

Fig.9 Effects of different pollination varieties on the change of content of ZR in fruit

量下降,果实采收时,授粉品种为‘美红’的果实ZR含量显著高于‘荷红’和‘红星’($P<0.05$)。ZR具有促进细胞分裂与 GA_3 协同调运养分进入果实的作用(曾骧1992),果实发育期,较高水平的ZR对促进果肉细胞快速分裂,增加细胞数目具有重要的调控作用,花后24周至采收时,授粉品种为‘美红’的果实ZR含量有小幅上升,采收时果实ZR含量高于其他品种($P<0.05$),表明授粉品种为‘美红’的果实生长期的延长可能与果实ZR含量增加有关。

花后2周各授粉品种果实ABA含量为整个发育过程中的最高值(图10);花后2~4周,授粉品种为‘美红’的果实ABA含量低于其他授粉品种($P<0.05$),花后2周授粉品种为‘红星’的果实ABA含量最高($P<0.05$),‘荷红’居中,花后4周授粉品种为‘红星’和‘荷红’的果实ABA含量无显著差异($P<0.05$);花后6周各授粉品种果实ABA含量无显著差异($P<0.05$);花后8~20周,授粉品种为‘荷红’和‘红星’的果实ABA含量在花后10和16周出现高峰,授粉品种为‘美红’的果实在花后14和18周出现高峰,分别比前2个授粉品种晚4和2周出现;花后20~24周,授粉品种为‘荷红’和‘红星’的果实ABA含量呈上升的趋势,而‘美红’呈下降的趋势,花后24周之后ABA含量才开始上升;花后22周至果实采收时,授粉品种为‘美红’的果实ABA含量显著低于‘荷红’和‘红星’($P<0.05$);果实采收时,授粉处理为‘荷红’的

果实ABA含量最高,其次为‘红星’,‘美红’最低($P<0.05$)。ABA具有促进果实成熟(聂磊和刘鸿先2002)、脱落(边卫东等2001;刘丙花等2007)和碳水化合物积累的作用(吕英民等1999;陈昆松等1999;夏国海等2000;单守明等2005),ABA高峰与调节果实成熟及与成熟有关的代谢过程密切相关(关军锋和李广敏2000),果实发育后期ABA含量的上升是果实成熟的重要标志,因此,授粉品种为‘美红’的果实生长期的延长与ABA高峰的推迟有关。

讨 论

苹果是由子房和花托组织发育而成的,果实细胞的数目、大小和细胞间隙是最终决定果实体积和重量的重要因素。大量的研究表明细胞的分裂和扩大在特定的遗传基础上,在一定程度上受到内源激素的影响(彭福田等2003;樊卫国等2004;石磊等2008;郝敬虹等2009)。本研究发现,果实发育初期(花后2周),不同授粉品种果实IAA、ZR、ABA含量为整个发育期的最大值,之后IAA、ZR、ABA、 GA_3 含量均下降,发育初期高水平的内源激素含量可能与授粉受精和子房的发育有关(陈发河等2002;Ulger等2004),高水平的内源激素(生长促进型)与该时期果实纵横径的快速增长相一致。授粉品种为‘美红’和‘红星’的果实IAA、 GA_3 、ZR含量在花后10、14、22周均出现不同程度的上升,这与果实净生长速率出现高峰的时期基本一致,‘荷红’果实IAA、 GA_3 、ZR含量在花后10周也出现高峰,但净生长速率未出现高峰,这可能与该时期‘荷红’IAA增加幅度较小且含量低而ABA含量高有关。果实内源激素含量(IAA、 GA_3 、ZR)和净生长速率在10周(‘荷红’除外)、14周出现高峰可能与果实处在膨大期有关,而花后22周的高峰期可能与该时期果实去袋有关。赵志磊等(2006)研究认为套袋‘长富2号’苹果去袋后,果肉IAA、ZR、 GA_3 含量迅速上升,果实出现一个迅速膨大期,内源激素含量和净生长速率在不同时期出现高峰的具体原因有待于进一步研究。已有研究证实 GA_3 对IAA的合成具有促进作用(曾骧1992;樊卫国等2004),本研究中果实的IAA高峰期和变化趋势(2~4周,8~26周)与 GA_3 基本一致(潘海

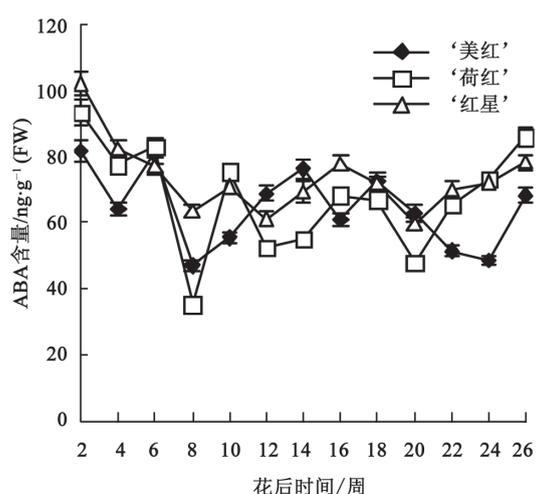


图10 不同授粉品种对果实ABA含量变化的影响
Fig.10 Effects of different pollination varieties on the change of content of ABA in fruit

发等2011), 但从果实整个发育期和绝对含量的角度来分析, IAA含量前期高于后期, GA₃含量后期高于前期, 两者又存在互为消长的关系, 这种互为消长的生理特点, 使果实中GA₃+IAA含量总体维持在较高水平上, 对果实生长发育有积极的作用(樊卫国等2004; 刘丙花等2008)。

众多的研究认为内源激素的协同调节作用是果实生长发育状况出现差异的重要原因(彭福田等2003; 樊卫国等2004; 刘丙花等2008; 郝敬虹等2009; 潘海发等2011)。一些研究者还认为异花授粉可影响果实的内源激素含量, 进而影响果实的生长发育, 如Vartapetyan对苹果花粉直感的研究认为花粉亲本通过杂交种子中激素的活性来影响果实组织(秦立者等2002); Denney (1992)研究发现直感效应是由于IAA、CTKS、GA₃浓度的差异造成的; 聂磊和刘鸿先(2002)在沙田柚上的研究认为, 异花授粉处理可使子房内源激素水平上升, 并影响发育期果实内源激素的含量, 进而导致异花授粉果实体积和重量大于自花授粉。本研究发现, 在果实发育进程中, 不同的授粉处理间果实的内源激素含量存在差异, 而内源激素含量的差异可能影响了果实的生长发育。授粉品种为‘美红’的果实IAA含量在花后8~26周高于‘荷红’ ($P<0.05$), GA₃含量在20~26周始终高于其他授粉品种 ($P<0.05$), ABA含量在花后22~26周低于其他授粉品种 ($P<0.05$), 这可能导致授粉品种为‘美红’的果实在发育后期单果重、纵横径大于其他授粉品种 ($P<0.05$), 果实仍保持较高的净增长速率, 从而延长了果实生长期。此外, 花后24~26周‘美红’授粉果实ZR含量呈上升趋势、花后26周ZR含量高于其他品种 ($P<0.05$)也可能导致了生长期的延长, 这与彭福田等(2003)认为施氮延长果实生长期与增加ZR含量有关的研究结果一致。

综上所述, 不同的授粉品种对苹果果实内源激素产生影响, 内源激素对果实的生长发育起重要调节作用, 进而影响果实的生长发育和生长期长短。不同的授粉品种对果实的内源激素和果实发育的影响存在差异, 这种差异在果实发育初期不明显, 在果实发育后期明显, 授粉品种为‘美红’的果实在发育后期果实保持了相对较高的净生长速率, 果实生长期延长, 采收时单果重和纵横径明

显大于其他品种 ($P<0.05$)。因此, 相比于本实验中其他授粉树, 以‘美红’作为‘长富2号’红富士苹果的授粉树, 可能更有利于提高苹果的单果重。

参考文献

- 边卫东, 何文林, 李志民(2001). 温室大樱桃落花落果规律研究. 河北果树, (2): 17~18
- 陈发河, 蔡慧农, 冯作山, 张维一, 廖康(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学报, 28 (5): 391~395
- 陈昆松, 李方, 张上隆, Ross GS (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
- 樊卫国, 安华明, 刘国琴, 何高涛, 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
- 关军锋, 李广敏(2000). 钙在植物乙烯生成及信号传递中的生理作用. 植物学通报, 17 (5): 413~418
- 郝敬虹, 李天来, 杜哲, 阚素娥(2009). 薄皮甜瓜内源激素对不同夜间温度的响应及与果实生长的关系. 中国农业科学, 42 (7): 2442~2448
- 何钟佩(1993). 农作物化学控制实验指导. 北京: 北京农业大学出版社, 60~68
- 李保国, 顾玉红, 郭素平, 赵胜花, 齐国辉, 张林平(2004). 2001苹果果实若干性状的花粉直感规律研究. 河北农业大学学报, 27 (6): 34~37
- 李天忠, 浅田武典, 韩振海, 许雪峰(2004). 苹果部分品种的授粉结实性研究. 园艺学报, 31 (6): 794~796
- 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
- 刘丙花, 姜远茂, 彭福田, 赵凤霞, 赵林(2008). 甜樱桃红灯果实发育过程中果肉及种子内源激素含量变化动态. 果树学报, 25 (4): 593~596
- 吕英民, 张大鹏, 严海燕(1999). 糖在苹果果实中卸载机制的研究. 园艺学报, 26 (3): 141~146
- 聂磊, 刘鸿先(2002). 不同授粉处理对沙田柚果实发育中内源激素水平变化的影响. 果树学报, 19 (1): 27~31
- 潘海发, 徐义流, 张昂, 张金云, 高正辉, 束冰, 郭传翔, 伊兴凯(2011). 砀山酥梨果实发育过程中内源激素含量的变化. 园艺学报, 38 (增刊): 2461
- 彭福田, 姜远茂, 顾曼如, 束怀瑞(2003). 氮素对苹果果实内源激素变化动态与发育进程的影响. 植物营养与肥料学报, 9 (2): 208~213
- 齐秀娟, 韩礼星, 李明, 徐善坤, 朱英山, 李文贤, 乔书瑞(2007). 3个猕猴桃品种花粉直感效应研究. 果树学报, 24 (6): 774~777
- 秦立者, 李保国, 齐国辉(2002). 果树花粉直感研究进展. 河北林果研究, 17 (4): 371~375
- 邱燕萍, 戴宏芬, 李志强, 欧良喜, 向旭, 陈洁珍, 王碧雄(2006). 不同品种授粉对桂味荔枝果实品质的影响. 果树学报, 23 (5): 703~706
- 沙海峰, 朱元娣, 高琪洁, 张文(2006). 花粉直感对京白梨品质的影响. 果树学报, 23 (2): 287~289
- 单守明, 王永章, 董晓颖, 刘成连, 原永兵(2005). IAA、GA和ABA

- 对苹果果实山梨醇代谢相关酶活性的影响. 园艺学报, 32 (6): 19~22
- 石磊, 马小军, 赖家业, 莫长明(2008). 果树花粉直感作用的研究进展. 广西科学院学报, 24 (3): 220~224, 230
- 陶汉之, 高丽萍, 陈佩璠, 程茱萸, 程素贞(1994). 猕猴桃果实发育中内源激素水平变化的研究. 园艺学报, 21 (1): 35~40
- 汪俏梅, 郭得平(2002). 植物激素与蔬菜的生长发育. 北京: 中国农业出版社, 199~207
- 吴少华, 沈德绪, 林伯年, 陈晓浪, 陈懋森(1986). 黄花梨授粉品种选配的研究. 果树科学, (2): 20~24
- 夏国海, 张大鹏, 贾文锁(2000). IAA、GA和ABA对葡萄果实¹⁴C蔗糖输入与代谢的调控. 园艺学报, 27 (1): 6~10
- 曾骧(1992). 果树生理学. 北京: 北京农业大学出版社, 134~249
- 赵志磊, 顾玉红, 李保国, 郭素萍, 齐国辉, 胡永拴(2006). 套袋长富2苹果去袋后果实发育及内源激素含量的变化. 河北农业大学学报, 29 (5): 12~15
- 邹养军, 王永熙(2002). 内源激素对苹果果实生长发育的调控作用研究进展. 陕西农业科学, (10): 13~15
- Callan NW, Lombard PB (1978). Pollination effects on fruit and seed development in 'Comice' pear. J Am Soc Hort Sci, 103 (4): 496~500
- Denney JO (1992). Xenia includes metaxenia. HortScience, 27 (7): 722~728
- Miller AN, Walsh CS, Cohen JD (1987). Measurement of indole-3-acetic acid in peach fruits (*Prunus persica* L. Batsch cv Redhaven) during development. Plant Physiol, 84: 491~494
- Ulger S, Sonmez S, Kargacier M, Ertoy N, Akdesir O, Aksu M (2004). Determination of endogenous hormones, sugar and mineral nutrition levels during the induction, initiation and differentiation stage and their effects on flower formation in olive. Plant Growth Regul, 42: 89~95
- Williams RR, Church RM, Flook VA (1978). The effect of hormone mixture on the fruit-set of apple after various pollination treatments. Acta Hort, 80: 129~131