

外施GA₃调控植物激素含量诱导设施甜樱桃的单性结实

宋文亮³, 张泽杰³, 陈修德^{1,2,3}, 付喜玲^{1,2,3}, 高东升^{1,2,3}, 李玲^{1,2,3}, 朱翠英^{3,*}, 肖伟^{1,2,3,*}

¹作物生物学国家重点实验室, 山东泰安271018

²山东果蔬优质高效生产协同创新中心, 山东泰安271018

³山东农业大学园艺科学与工程学院, 山东泰安271018

摘要: 以设施甜樱桃‘美早’ (*Prunus avium* L. ‘Tieton’)为试材, 研究外施10、30、60、120、300 mg·L⁻¹ GA₃处理对日光温室甜樱桃坐果率、单性结实率、果实生长发育及果实植物激素含量的影响, 为外施GA₃诱导设施‘美早’甜樱桃单性结实进而提高坐果率提供基础。结果表明, 外施GA₃促进了甜樱桃单花重量增加和花柄的伸长, 但对花瓣长度无显著影响。外施GA₃处理显著提高了设施甜樱桃的坐果率, 外施GA₃处理的设施甜樱桃果实单性结实率均为100%。外施GA₃处理促进了设施甜樱桃果实生长, 果实纵径和横径变化符合双“S”生长曲线。外施GA₃改变了设施甜樱桃果实GA、IAA、CTK和ABA的含量, 诱导了单性结实。外施120 mg·L⁻¹ GA₃处理的综合效果最佳, 具有较高的应用价值。

关键词: 设施甜樱桃; GA₃; 坐果率; 单性结实; 植物激素

甜樱桃(*Prunus avium*)为蔷薇科李属樱桃亚属植物, 别名欧洲甜樱桃、大樱桃。甜樱桃起源于欧洲黑海沿岸及亚洲西部, 在乌克兰、摩尔多瓦、伊朗及印度有甜樱桃野生种分布(孔旭1987)。甜樱桃较中国樱桃具有果实个大、色泽鲜艳、酸甜可口、营养丰富、硬度大耐储存运输和经济价值高等优点。然而大多数甜樱桃品种具有自花不结实的特性, 生产上必须要合理配置授粉树, 但效果却不理想, 常出现花而不实现象。我国甜樱桃设施栽培历史较短, 始于20世纪90年代。在设施内, 受无风、低温、寡日照和蜜蜂出巢活动少的设施环境影响, 传粉受阻, 花后大量落果, 出现坐果率极低的现象。因此研究植物生长调节剂诱导单性结实替代授粉, 提高设施甜樱桃坐果率有重要意义。

赤霉素是一种植物生长促进激素, 调节植物生长发育。在植物体已发现136种赤霉素, 但具有生物活性作用的只有其中几种, 即GA₁、GA₃、GA₄和GA₇ (Yamaguchi 2008)。花前赤霉素处理能提高无籽枇杷果实的生长素、细胞分裂素含量, 促进无籽小果生长, 可减少或阻止枇杷(*Eriobotrya japonica*)幼果脱落(丁长奎和章恢志1988)。Aslmoshtaghi和Shahsavari (2013)认为250 mg·L⁻¹ GA₃处理可以诱导枇杷单性结实, 且不影响枇杷果实品质。Serrani等(2010)研究表明GA₃可以通过抑制子房或顶芽的生长素转运, 从而诱导番茄(*Solanum lycopersicum*)单

性结实。在开花日, 单独施用GA₃、4-CPA或6-BA均能诱导葡萄单性结实和促进果实生长, 但GA₃诱导产生的果实大于4-CPA和6-BA诱导的果实; 活性赤霉素的合成对诱导葡萄单性结实和果实膨大十分重要(Lu等2016)。花前赤霉素处理提高了葡萄(*Vitis vinifera*)幼果蔗糖、葡萄糖及果糖的含量, 增强了坐果期间葡萄糖信号, 葡萄糖信号抑制了葡萄幼果的脱落, 从而促进了无籽葡萄的坐果(Lu等2017)。在花期, 外施500 mg·L⁻¹ GA₃可以诱导番荔枝(*Annona squamosa*)单性结实, 且坐果率和人工授粉的坐果率相似, 外施500 mg·L⁻¹ GA₃处理可以替代人工授粉(dos Santos等2016)。在花期, 子房壁细胞合成的GA可以激活和维持子房壁细胞分裂, 以促性进单结实的柑橘(*Citrus*)坐果(Mesejo等2016)。

外施GA₃能否诱导以及如何诱导设施甜樱桃单性结实尚不清楚。本试验筛选外施GA₃处理的最佳浓度, 研究外施GA₃处理是否通过改变果实植物激素含量诱导单性结实, 为合理利用外施GA₃提高设施甜樱桃坐果率提供科学依据。

收稿 2018-11-02 修定 2019-01-18

资助 山东省现代农业产业技术体系果品创新团队(SDAIT-06-01)。

* 共同通讯作者: 肖伟(gulight986918@163.com)、朱翠英(chunying196217@163.com)。

1 材料与方法

1.1 试验设计

1.1.1 GA₃浓度筛选试验

2017年在山东泰安范镇果农日光温室内选取6棵十五年生,长势基本一致,株行距3 m×4 m的‘美早’甜樱桃(*Prunus avium* L. ‘Tieton’)作为试验材料。开花前用白色硫酸纸袋进行套袋,盛花期将硫酸纸袋摘掉进行试验处理,之后再行套袋,落花后将所有纸袋摘除。5个处理分别为:T1(套袋喷施10 mg·L⁻¹ GA₃)、T2(套袋喷施30 mg·L⁻¹ GA₃)、T3(套袋喷施60 mg·L⁻¹ GA₃)、T4(套袋喷施120 mg·L⁻¹ GA₃)及T5(套袋喷施300 mg·L⁻¹ GA₃);对照(CK)为套袋喷施体积分数1:1 000的吐温80。吐温80溶液配制:将吐温80与水按照1:1 000的体积比配制;GA₃溶液配制:将相应量GA₃溶于定量的95%乙醇中,然后用溶剂稀释到相应浓度。每个处理选取3个主枝,每个主枝即1个重复,共3个重复。处理的花数见表1。2017年2月开花,4月成熟。分别于2月19日(盛花期)、3月1日、3月11日、3月21日进行4次喷施,使用背负式电动喷雾器在傍晚进行均匀喷雾,以花器官(果实)湿润为好。

1.1.2 GA₃浓度验证试验

2018年在山东临沂莒南果农日光温室室内选取6棵十二年生,长势基本一致,株行距3 m×4 m的‘美早’甜樱桃作为试验材料。处理为T4:套袋喷施120 mg·L⁻¹ GA₃(由2017年数据筛选所得);对照(CK):套袋喷施体积分数1:1 000吐温80。每个处理选取3棵树,每棵树即1个重复,共3个重复。在2月18日(盛花期)傍晚使用背负式电动喷雾器进行均匀喷施,以花器官湿润为好。在喷施后的0、

1、3、7和15 d取样。试验使用的GA₃、吐温80均购买于北京索莱宝科技有限公司。

1.2 测定项目及方法

1.2.1 花器官指标测定

在每个主枝上选取50朵花,3个主枝共计150朵花。单花重量使用电子天平(赛多利斯科学仪器有限公司)进行测定,花瓣长度、花柄长度使用数显游标卡尺(上海首丰精密仪器有限公司)进行测定。

1.2.2 坐果率及单性结实率统计

在每个处理的3个主枝上分别选1个侧枝,共3个侧枝,在2月19日(盛花期)统计花,在4月26日(成熟期)统计坐果率。成熟期每个处理共取150个果实,每个重复50个果实,将果实硬核取出切开统计单性结实率。2017年统计了成熟期的坐果率,2018年统计了处理后15 d的坐果率,2018年统计的坐果率与2017年同一时期的坐果率相似。

1.2.3 果实纵横径的动态测定

分别在落花期、第一次膨大期、硬核期、第二次膨大期和成熟期进行测定。每个处理共取150个果实,每个重复50个果实,使用游标卡尺测定果实纵横径。

1.2.4 果实植物激素含量测定

采用高效液相色谱法测定果实中植物激素含量,液相色谱条件参考董倩倩等(2018)。将鲜样冷冻干燥,称取0.5 g干样(使用2018年样品)放入离心管中,用含有铜试剂(30 μg·mL⁻¹)的冷乙腈浸提,浸提3次。第一次加入5 mL浸提液晃动后密封置于0°C冰箱静置浸提12 h,离心,收集上清液;第二次加入4 mL浸提液,于振荡器上浸提2 h后离心,收集上清液;第三次加入2 mL浸提液清洗残渣,离心,收

表1 不同浓度GA₃处理的花数量

Table 1 Number of flowers treated with different concentrations of GA₃

处理	样品一花数量/朵	样品二花数量/朵	样品三花数量/朵
CK	836	750	956
T1	966	1 060	1 210
T2	897	1 119	960
T3	890	900	1 019
T4	615	785	1 143
T5	721	886	1 161

集上清液。将收集的上清液用旋转蒸发仪在37~40°C条件下蒸发至干,用2 mL 0.4 mol·L⁻¹的磷酸缓冲液和2 mL三氯甲烷去除色素,重复3次,合并溶液,去除下层三氯甲烷,加入150 mg PVPP上下振荡,离心,取8 mL上清液进行果实激素萃取,滴加100 μL纯甲酸,加入3 mL乙酸乙酯振荡,收集酯相,其水相再用乙酸乙酯萃取2次,每次加入2 mL,收集酯相,将收集的酯相用旋转蒸发仪在37~40°C条件下蒸干。蒸干物用1 mL流动相(0.1%醋酸:甲醇=70:30)溶解,用孔径0.22 μm有机滤膜过滤,上机检测。使用LC-20AT高效液相色谱仪(岛津仪器设备有限公司),所用分析柱为Venusil XBP C18(博纳艾杰尔科技有限公司),柱温35°C,流动相流速0.5 mL·min⁻¹,检测波长为264 nm。

1.2.5 果实中果皮细胞学观察

制作半薄切片,进行果实中果皮细胞学观察,方法参考李兵等(2011)。取3和15 d的果实制作半薄切片。将果实鲜样切成小块,放入小玻璃瓶中,加入适量戊二醛抽气固定。弃去固定液,用磷酸缓冲液清洗样品2次,每次1~2 h。按照10%、30%、50%、70%、80%、95%、100%乙醇各1 h进行脱水。弃去乙醇加入环氧乙烷1 h,弃去环氧乙烷加入环氧乙烷与环氧树脂1:1混合液5 h。弃去混合液,加入纯环氧树脂2 d,每天各换一次纯环氧树脂。弃去纯环氧树脂,加入含有DMP-30的环氧树脂过夜。将样品放入包埋板中,加入含有DMP-30的环氧树脂进行包埋,包埋板在36°C条件下放置10 h,45°C条件下14 h,60°C条件下大于36 h。包埋完成后取出修块,然后在莱卡RM2255切片仪(德国莱卡仪器有限公司)上进行切片,甲苯胺蓝染色观察,荧光显微镜(日本尼康公司)拍照。

1.2.6 数据分析

数据统计与制作图表采用Excel 2007, SPSS 20.0进行差异显著性分析。

2 实验结果

2.1 不同浓度GA₃处理对日光温室内‘美早’甜樱桃花器官的影响

盛花期对设施甜樱桃外施GA₃处理,处理后3

d,对外施GA₃处理及对照的单花重量、花柄长度和花瓣长度进行测定(表2)。相比对照, T3和T5处理显著提高了单花重量, T5处理的单花重为0.3335 g,而T1、T2及T4处理的单花重与对照无显著差异。外施GA₃处理设施甜樱桃的花柄长度均大于对照, T3、T4及T5处理的花柄长度显著大于对照,其中T5处理的花柄长度与对照差异极显著。外施GA₃处理的花瓣长度与对照无显著差异。设施甜樱桃的花柄对花期外施GA₃反应敏感,而花瓣的反应不敏感。T5处理极显著的促进了设施甜樱桃花柄伸长,不适合在生产上应用。

2.2 不同浓度GA₃处理对日光温室内‘美早’甜樱桃坐果率的影响

在成熟期,统计了外施GA₃处理及对照的设施甜樱桃的坐果率,结果见图1。外施GA₃处理设施

表2 不同浓度GA₃处理对设施甜樱桃花器官的影响

Table 2 Effects of different concentrations of GA₃ on floral organs of sweet cherry in greenhouse

处理	单花重量/g	花柄长度/mm	花瓣长度/mm
CK	0.2514±0.004 ^b	15.11±0.39 ^d	17.61±0.31 ^{abcd}
T1	0.2582±0.004 ^b	16.58±0.28 ^d	16.85±0.23 ^{bcd}
T2	0.2474±0.006 ^b	16.17±0.26 ^d	16.40±0.12 ^{de}
T3	0.2953±0.007 ^a	18.57±0.63 ^c	18.00±0.30 ^{ab}
T4	0.2535±0.010 ^b	20.89±0.78 ^b	17.75±0.19 ^{abc}
T5	0.3002±0.008 ^a	24.14±0.43 ^a	18.15±0.51 ^a

同列中不同字母表示处理间差异显著(P<0.05)。

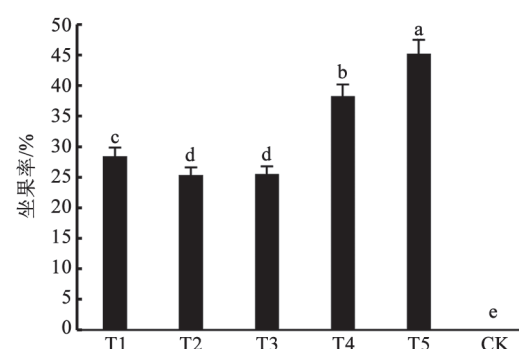


图1 不同浓度GA₃处理对设施甜樱桃坐果率的影响

Fig.1 Effects of different concentrations of GA₃ on fruit setting rate of sweet cherry in greenhouse

同一指标数据用不同小写字母标识表示数据间差异显著(P<0.05),下同。

甜樱桃的坐果率均显著高于对照, 坐果率最高达45.22%, 而对照的坐果率为0。外施GA₃处理显著提高了设施甜樱桃坐果率。对设施甜樱桃外施GA₃处理, 随着外施浓度的增大, 坐果率呈现先降低后升高的变化趋势, 高浓度处理(T5和T4)的坐果率显著大于低浓度处理(T1、T2和T3)的坐果率。T5和T4处理的坐果率均显著大于其他处理, 但T5处理极显著的促进了花柄的伸长, 不利于在生产上应用。因此, 选择T4处理应用于后续研究。

2.3 不同浓度GA₃处理对日光温室‘美早’甜樱桃单性结实率的影响

在成熟期, 所有外施GA₃处理的设施甜樱桃单性结实率均为100%, 不同浓度之间无显著差异(见图2)。外施GA₃处理能够诱导设施甜樱桃单性结实。

2.4 不同浓度GA₃处理对日光温室‘美早’甜樱桃果实发育的影响

从图3-A中可以看出, 不同浓度GA₃处理的设施甜樱桃果实纵径生长符合双“S”生长曲线, 落花



图2 不同浓度GA₃处理对设施甜樱桃单性结实率的影响
Fig.2 Effects of different concentrations of GA₃ on pathenocarp rate of sweet cherry in greenhouse

后纵径先迅速增大, 硬核期趋于平稳, 之后纵径再一次迅速增大, 最后趋于平稳。不同浓度GA₃处理的设施甜樱桃果实横径生长符合双“S”生长曲线(图3-B), 花后果实横径先迅速增大, 硬核期趋于平稳, 之后横径再一次迅速增大, 最后趋于平稳。横径在第二次膨大期增速大于第一次膨大期, 横径

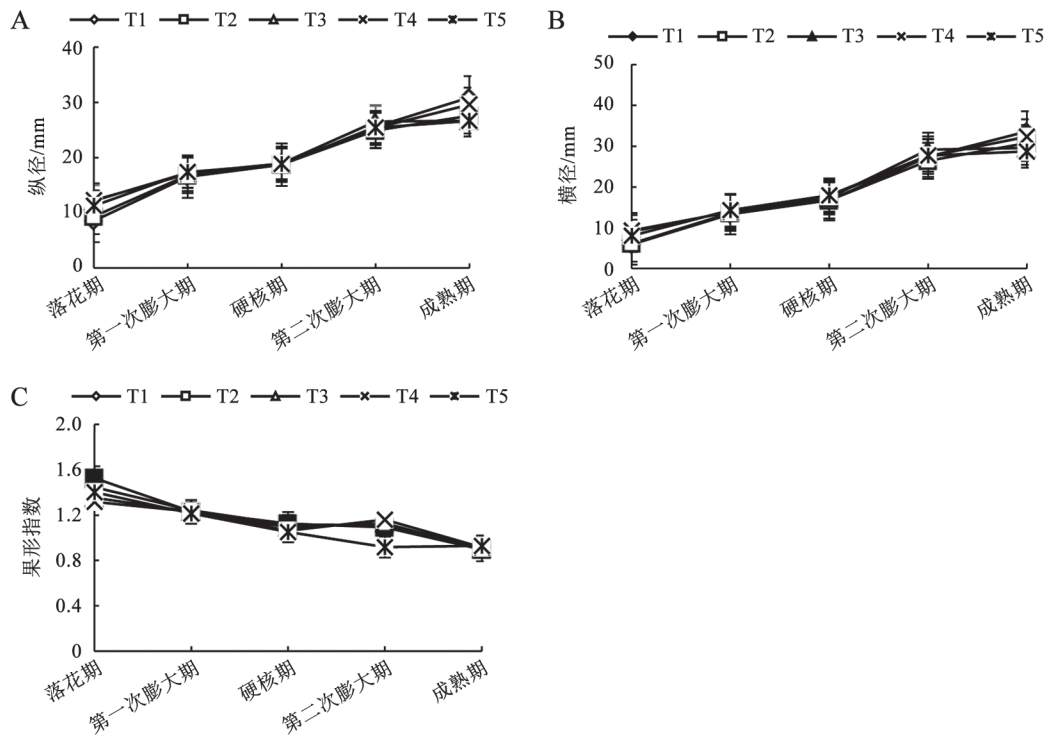


图3 不同浓度GA₃处理对设施甜樱桃果实发育的影响

Fig.3 Effects of different concentrations of GA₃ treatment on fruit development of sweet cherry in greenhouse

增大主要集中在硬核期后。由图3-C可知, 花后到成熟期果形指数一直趋于下降, 落花期至第二次膨大期果形指数均大于1, 花后至硬核期纵径生长快于横径生长; 成熟期果形指数略小于1, 硬核期后横径生长快于纵径生长且最终横径略大于纵径。

2.5 外施GA₃处理对日光温室内‘美早’甜樱桃坐果、单性结实及幼果发育的影响

如图4-A所示, 外施GA₃处理的设施甜樱桃坐果率为76.05% (2017年同一时期外施GA₃处理的坐果率为54.32%), 显著高于对照25.71% (2017年同

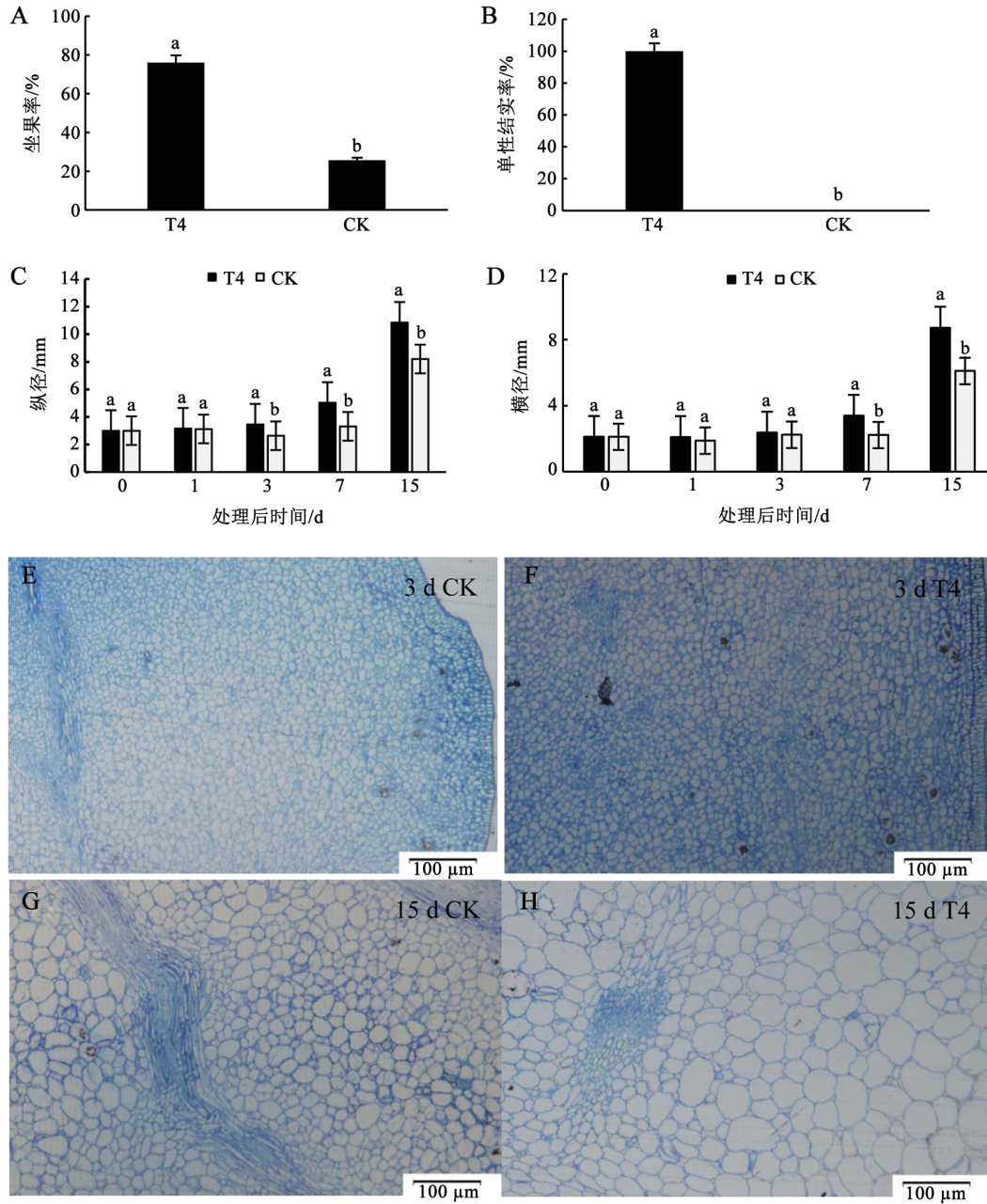


图4 外施GA₃处理对设施甜樱桃坐果、单性结实及幼果发育的影响

Fig.4 Effects of exogenously applied GA₃ treatment on fruit setting, parthenocarpy and fruit development of sweet cherry in greenhouse

一时期对照的坐果率为17.42%), 外施GA₃处理显著提高了设施甜樱桃的坐果率。由图4-B可知, 外施GA₃处理的设施甜樱桃单性结实率为100% (2017年外施GA₃处理的设施甜樱桃的单性结实率为100%), 而对照的单性结实率为0 (2017年对照的单性结实率为0), 外施GA₃处理能够诱导设施甜樱桃单性结实。外施GA₃处理可以促进果实纵径的增大且果实生长发育前期纵径生长优势大于横径(图4-C和D)。上述结果与2017年试验结果一致。如图4-E和F所示, 外施GA₃处理后3 d, 外施GA₃处理的甜樱桃中果皮细胞数目显著大于对照; 外施GA₃处理后15 d, 外施GA₃处理的甜樱桃中果皮细胞体积显著大于对照(图4-G和H)。外施GA₃处理可以促进设施甜樱桃前期中果皮细胞分裂以及后期的中果皮细胞膨大。

2.6 外施GA₃处理对日光温室‘美早’甜樱桃果实植物激素含量的影响

2.6.1 外施GA₃处理对设施甜樱桃果实CTK含量的影响

外施GA₃处理的设施甜樱桃果实CTK含量先降低后升高再降低, 对照果实的CTK含量一直降低, 二者均在15 d降至0 (图5-A)。0~1 d, 处理和对照果实的CTK均降低且处理的果实CTK含量低于对照。1~7 d, 处理果实的CTK含量增加而对照果实的CTK含量继续降低。3~7 d, 处理果实的CTK含量显著高于对照。

2.6.2 外施GA₃处理对设施甜樱桃果实ABA含量的影响

图5-B结果表明, 外施GA₃处理后, 设施甜樱桃果实ABA含量先迅速增加, 然后迅速降低, 最后略有升高; 对照果实ABA含量先是略有升高, 然后一直降低。0~1 d, 外施GA₃处理和对照的设施甜樱桃果实ABA含量均增加, 但前者增速大于后者。1~7 d, 外施GA₃处理和对照的设施甜樱桃果实ABA含量均降低且前者的降速大于后者, 尤其在1~3 d, 外施GA₃处理的设施甜樱桃果实ABA含量迅速降低。在7 d, 外施GA₃处理的设施甜樱桃果实ABA含量显著低于对照。

2.6.3 外施GA₃处理对设施甜樱桃果实GA含量的影响

由图5-C可知, 外施GA₃处理的设施甜樱桃果实1~3 d未检测到GA, 在7~15 d, 果实GA含量迅

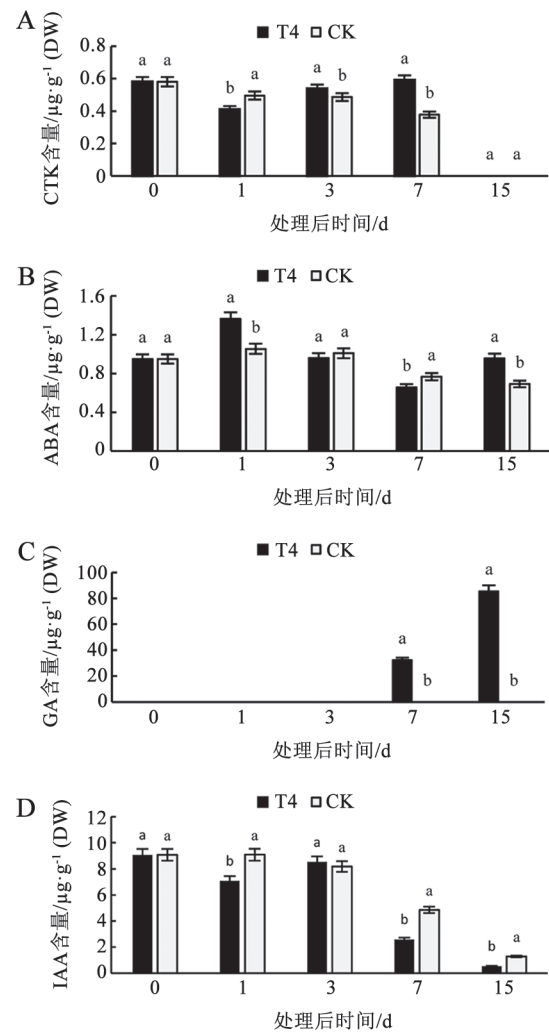


图5 外施GA₃对设施甜樱桃果实植物激素的影响
Fig.5 Effects of exogenously applied GA₃ on phytohormonal content in fruit of sweet cherry in greenhouse

速升高。对照的设施甜樱桃果实在1~15 d均未检测到GA。

2.6.4 外施GA₃处理对设施甜樱桃果实IAA含量的影响

外施GA₃处理后, 外施GA₃处理的设施甜樱桃果实IAA含量呈现先降低后升高再降低变化, 对照IAA含量一直降低(图5-D)。外施GA₃处理后1 d, 设施甜樱桃果实IAA含量显著低于对照; 在外施GA₃处理后3 d, 设施甜樱桃果实IAA含量与对照基本一致; 在外施GA₃处理后7~15 d, 设施甜樱桃果实IAA含量均显著低于对照。

3 讨论

3.1 外施GA₃处理对日光温室‘美早’甜樱桃坐果率及单性结实率的影响

本试验对外施GA₃能否诱导设施甜樱桃单性结实进而提高坐果率展开了研究。结果表明, 外施GA₃能够诱导设施甜樱桃单性结实并且能显著提高其坐果率。其原因可能是外施GA₃能够刺激设施甜樱桃子房, 不需要受精作用, 果实就能正常生长。外施赤霉素处理可以使葡萄在不经受精的条件下完成果实生长发育(张晓莹等2011)。赤霉素在园艺作物单性结实中发挥重要作用。*PAT*基因家族是一个重要的单性结实基因家族, *PAT-2*调控天然单性结实, *pat-2*突变可以增加未授粉子房中的GA20ox, 从而导致合成更多的GA, 提高了番茄子房内的GA含量, 从而诱导番茄天然单性结实(Fos等2000); *PAT-3*、*PAT-4*则通过改变开花前番茄子房内的GA代谢模式, 促进了活性GA (GA₁和GA₃)合成与积累, 从而能在未经受精的条件下诱导番茄单性结实, 提高坐果率并获得正常发育的果实(Fos等2001)。外施植物生长调节剂是目前生产中最为常见诱导无籽果实的方式, 已在葡萄(Jung等2014)、番茄(Serrani等2007)、梨(Zhang等2008)、草莓(Beech 1983)、柑橘(Arias等2005)及枇杷(陈俊伟等2006)等上有报道。因此, 外施120 mg·L⁻¹ GA₃诱导设施甜樱桃单性结实可以解决设施甜樱桃生产上因自交不亲和、授粉受精不良引起的坐果率低的问题。

3.2 外施GA₃处理对日光温室‘美早’甜樱桃生长发育的影响

本研究表明外施GA₃处理设施甜樱桃果实的纵径与横径均呈现出双“S”生长趋势。花后设施甜樱桃果实进入第I迅速生长期, 果实迅速膨大且纵径增速明显大于横径。果实的生长发育主要包括生长前期的细胞分裂和后期的细胞膨大两部分(Gillaspy等1993), 半薄切片结果表明外施GA₃处理可以从细胞分裂和细胞膨大两个方面促进设施甜樱桃果实增大。设施甜樱桃果实发育前期, 幼果增大主要通过细胞分裂, 表明外施GA₃处理可以促进前期细胞分裂。果实生长前期细胞分裂决定了

细胞数目, 花期外施赤霉素处理提高了葡萄幼果细胞分裂素的含量, 促进了细胞分裂, 使葡萄幼果膨大(丁长奎和章恢志1988)。在果实生长初期的细胞分裂时期, 常外施GA等植物激素以获得更大的果实。设施甜樱桃果实发育后期, 外施GA₃处理果实的GA含量高于对照, 且中果皮细胞明显大于对照, 表明外施GA₃处理能促进细胞膨大。植物激素对果实生长发育至关重要, 尤其是赤霉素、生长素和细胞分裂素, 它们刺激触发子房壁细胞分裂, 促进种子周围组织的生长, 甚至决定果实的大小(Crane 1964; Ozga等2003)。种子是多种激素的来源, 去除种子后导致碗豆果皮中GA生物合成降低(Ozga等1992), 间接说明GA在果实生长发育中起重要作用。

3.3 外施GA₃处理对日光温室‘美早’甜樱桃幼果植物激素的影响

不同激素之间的平衡与相互作用对植物坐果十分重要。外施GA₃可以诱导其他激素发生变化, 强化激素间的相互作用。GAs、IAA、CTK在诱导细胞分裂, 促进细胞生长及营养物质向果实转移都发挥重要作用(樊卫国等2004), 最终能替代种子的作用, 使果实正常生长发育。在研究赤霉素诱导葡萄单性结实中, 外施GA₃诱导了IAA、CTK、BR、ABA和ETH的交互作用(Wang等2012)。本研究中, 外施GA₃处理后, 设施甜樱桃果实CTK含量先降低后升高再降低, 其中CTK含量先降低与柱头、花瓣和萼片萎蔫脱落相关, 之后升高与外施GA₃处理相关, 从而促进了细胞分裂; 最后含量再降低, 可能与设施甜樱桃果实逐渐进入了硬核期, 中果皮细胞逐渐停止分裂相关。外施GA₃处理后, 设施甜樱桃果实ABA含量先升高后降低最后再升高。前期设施甜樱桃果实ABA含量升高与柱头、花瓣和萼片萎蔫脱落相关, 接着含量降低与外施GA₃处理相关, 最后ABA含量再次升高与干旱缺水相关(随着气温回升, 日光温室内的‘美早’蒸腾量迅速增大)。外施GA₃处理后, 设施甜樱桃果实IAA含量先降低然后升高最后降低。果实IAA含量先降低与柱头、花瓣和萼片萎蔫脱落相关, 之后含量升高与外施GA₃处理促进设施甜樱桃果实生长素合成相关。外施GA₃处理后, 设施甜樱桃果实发

育前期未检测到GA。外施GA₃处理设施甜樱桃后,前期设施甜樱桃果实IAA和CTK含量均保持较高水平,而未检测到GA₃,此时子房主要进行细胞分裂;后期设施甜樱桃果实GA维持较高水平,而IAA、CTK含量较低,此时果实增大主要是与细胞膨大相关。前期细胞分裂与生长素和细胞分裂素相关(Serrani等2008;李晓晶等2010),而后期细胞膨大与赤霉素相关(de Jong等2011)。外施GA₃处理改变了设施甜樱桃果实植物激素的含量,进而诱导了单性结实。因此,外施120 mg·L⁻¹的GA₃可以显著提高设施甜樱桃坐果率,具有较高的应用价值。

参考文献(References)

- Arias M, Carbonell J, Agustí M (2005). Endogenous free polyamines and their role in fruit set of low and high parthenocarpic ability citrus cultivars. *J Plant Physiol*, 162: 845–853
- Aslmoshtaghi E, Shahsavari AR (2013). Study on the induction of seedless loquat. *Thai J Agric Sci*, 46: 53–57
- Beech MG (1983). The induction of parthenocarpy in the strawberry cultivar redgauntlet by growth regulators. *J Horticult Sci Biotech*, 58: 541–545
- Chen JW, Feng JJ, Qing QP, et al (2006). Characteristics of sugar metabolism and accumulation in GA₃ induced parthenocarpic while flesh loquat ‘Ninghai Bai’ fruit. *Acta Horticult Sin*, 33 : 471–476 (in Chinese with English abstract) [陈俊伟, 冯健君, 秦巧平等(2006). GA₃诱导的单性结实‘宁海白’白沙枇杷糖代谢的研究. *园艺学报*, 33: 471–476]
- Crane JC (1964). Growth substances in fruit setting and development. *Annu Rev Plant Physiol*, 15: 303–326
- de Jong M, Woltersarts M, Garciamartínez JL, et al (2011). The solanum lycopersicum AUXIN RESPONSE FACTOR 7 (SlARF7) mediates cross-talk between auxin and gibberellin signalling during tomato fruit set and development. *J Exp Bot*, 62: 617–626
- Ding CK, Zhang HZ (1988). The effects of plant hormone on growth and development of loquat fruit. *Acta Horticult Sin*, 15: 148–154 (in Chinese) [丁长奎, 章恢志(1988). 植物激素对枇杷果实生长发育的影响. *园艺学报*, 15: 148–154]
- Dong QQ, Gong GZ, Peng ZC, et al (2018). Analysis on the relationship between pre-harvest fruit drops and content of endogenous hormone in different parts of fruit in citrus. *Plant Physiol J*, 54: 1569–1575 (in Chinese with English abstract) [董倩倩, 龚桂芝, 彭祝春等(2018). 柑橘采前落果与果实不同部位内源激素含量关系分析. *植物生理学报*, 54: 1569–1575]
- dos Santos RC, Pereira MCT, Mendes DS, et al (2016). Gibberellic acid induces parthenocarpy and increases fruit size in the ‘Gefner’ custard apple (*Annona cherimola* × *Annona squamosa*). *Aust J Crop Sci*, 10: 314–321
- Fan WG, An HM, Liu GQ, et al (2004). Changes of endogenous hormones contents in fruit, seeds and their effects on the fruit development of *Rosa roxbunghii*. *Sci Agric Sin*, 37: 728–733 (in Chinese with English abstract) [樊卫国, 安华明, 刘国琴等(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: 728–733]
- Fos M, Nuez F, Garcia-Martínez JL (2000). The gene *pat-2*, which induces natural parthenocarpy, alters the gibberellin content in unpollinated tomato ovaries. *Plant Physiol*, 122: 471–479
- Fos M, Proaño K, Nuez F, et al (2001). Role of gibberellins in parthenocarpic fruit development induced by the genetic system *pat-3/pat-4* in tomato. *Physiol Plantarum*, 111: 545–550
- Gillaspy G, Ben-David H, Gruissem W (1993). Fruits: A developmental perspective. *Plant Cell*, 5: 1439–1451
- Jung CJ, Hur YY, Jung SM, et al (2014). Transcriptional changes of gibberellin oxidase genes in grapevines with or without gibberellin application during inflorescence development. *J Plant Res*, 127: 359–371
- Kong X (1987). *Fruit Science Pomological of China*. Beijing: China Agricultural Press, 558–559 (in Chinese) [孔旭(1987). *中国果树栽培学*. 北京: 农业出版社, 558–559]
- Li B, Li DD, Zhang J, et al (2011). Modification of resin semithin section staining method in plant tissues. *Plant Physiol J*, 47: 1207–1212 (in Chinese with English abstract) [李兵, 李登弟, 张杰等(2011). 植物树脂半薄切片染色方法的改进. *植物生理学报*, 47: 1207–1212]
- Li XJ, Gao ZK, Wang M, et al (2010). Effects on PSII light absorption and utilization of CTK on the surface of tomato ovary and fruit. *Acta Horticult Sin*, 37: 749–756 (in Chinese with English abstract) [李晓晶, 高志奎, 王梅等(2010). 细胞分裂素对番茄子房和果实表面光系统II光能吸收利用的影响. *园艺学报*, 37: 749–756]
- Lu L, Liang J, Chang X, et al (2017). Enhanced vacuolar invertase activity and capability for carbohydrate import in GA-treated inflorescence correlate with increased fruit set in grapevine. *Tree Genet Genomes*, 13: 21
- Lu L, Liang J, Zhu X, et al (2016). Auxin-and cytokinin-induced berries set in grapevine partly rely on enhanced gibberellin biosynthesis. *Tree Genet Genomes*, 12: 41
- Mesejo C, Yuste R, Reig C, et al (2016). Gibberellin reactivates and maintains ovary-wall cell division causing

- fruit set in parthenocarpic *Citrus* species. *Plant Sci*, 247: 13–14
- Ozga JA, Brenner ML, Reinecke DM (1992). Seed effects on gibberellin metabolism in peapercarp. *Plant Physiol*, 100: 88–94
- Ozga JA, Yu J, Reinecke DM (2003). Pollination-, development-, and auxin-specific regulation of gibberellin 3 β -hydroxylase gene expression in pea fruit and seeds. *Plant Physiol*, 131: 1137–1146
- Serrani JC, Carrera E, Ruiz-Rivero O, et al (2010). Inhibition of auxin transport from the ovary or from the apical shoot induces parthenocarpic fruit-set in tomato mediated by gibberellins. *Plant Physiol*, 153: 851–862
- Serrani JC, Fos M, Atarés A, et al (2007). Effect of gibberellin and auxin on parthenocarpic fruit growth induction in the cv Micro-Tom of tomato. *J Plant Growth Regul*, 26: 211–221
- Serrani JC, Ruizrivero O, Fos M, et al (2008). Auxin-induced fruit-set in tomato is mediated in part by gibberellins. *Plant J*, 56: 922–934
- Wang Z, Zhao F, Zhao X, et al (2012). Proteomic analysis of berry-sizing effect of GA₃ on seedless *Vitis vinifera* L. *Proteomics*, 12: 86–94
- Yamaguchi S (2008). Gibberellin metabolism and its regulation. *Annu Rev Plant Biol*, 59: 225–251
- Zhang C, Lee U, Tanabe K (2008). Hormonal regulation of fruit set, parthenogenesis induction and fruit expansion in Japanese pear. *Plant Growth Regul*, 55: 231–240
- Zhang XY, Song CN, Fang JG, et al (2011). Research advances in gibberellins biosynthesis and its application on grape cultivation. *J Zhejiang Agric Sci*, (5): 1015–1018 (in Chinese with English abstract) [张晓莹, 宋长年, 房经贵等(2011). 赤霉素的生物合成及其在葡萄栽培上的应用. *浙江农业科学*, (5): 1015–1018]

GA₃ regulates phytohormonal content and induces parthenocarpy of sweet cherry in greenhouse

SONG Wen-Liang³, ZHANG Ze-Jie³, CHEN Xiu-De^{1,2,3}, FU Xi-Ling^{1,2,3}, GAO Dong-Sheng^{1,2,3}, LI Ling^{1,2,3}, ZHU Cui-Ying^{3,*}, XIAO Wei^{1,2,3,*}

¹State Key Laboratory of Crop Biology, Taian, Shandong 271018, China

²Shandong Collaborative Innovation Center for Fruit and Vegetable Production with High Quality and Efficiency, Taian, Shandong 271018, China

³College of Horticulture Science and Engineering, Shandong Agricultural University, Taian, Shandong 271018, China

Abstract: ‘Tieton’ sweet cherry (*Prunus avium* L. ‘Tieton’) in greenhouse was used as experimental materials, exploring the effects of spraying GA₃ of different concentrations on fruit setting rate, parthenocarpy rate, fruit growth and development, and fruit phytohormonal content. The aim is to provide theoretical basis for improving the fruit setting rate of greenhouse sweet cherry under exogenously applied GA₃. The results showed that exogenous GA₃ promoted the increase of single flower weight and pedicel elongation, but it had no significant effect on petal elongation. Exogenously applied GA₃ could significantly improve the fruit setting rate. The parthenocarpy rate of treatments were 100%. Exogenously applied GA₃ could promote fruit growth. The variation of the vertical and horizontal diameters of the fruit conformed to the double “S” growth curve. Exogenous GA₃ altered GA, IAA, CTK and ABA content, and induced parthenocarpy. The optimum concentration of exogenous GA₃ was 120 mg·L⁻¹. Therefore, spraying 120 mg·L⁻¹ GA₃ significantly improved the fruit setting rate of sweet cherry in greenhouse, which can be applied and promoted in production.

Key words: sweet cherry in greenhouse; GA₃; fruit setting rate; parthenocarpy; phytohormonal

Received 2018-11-02 Accepted 2019-01-18

This work was supported by Shandong Province Modern Agricultural Industry Technology System Innovation Team (SDAIT-06-01).

*Co-corresponding authors: Xiao W (gulight986918@163.com), Zhu CY (chunying196217@163.com).