

DOI:10.13275/j.cnki.lykxyj.2020.01.021

外源 GA₃ 对油茶花器官内源激素与坐果率的影响

葛晓宁, 钟秋平*, 罗 帅, 曹林青, 郭红艳, 袁婷婷, 周幼成

(中国林业科学研究院亚热带林业实验中心, 江西 分宜 336600)

摘要: [目的] 研究不同浓度外源 GA₃ 对油茶开花过程中花器官内源激素及坐果率的影响, 分析油茶花器官内源激素与坐果率的相关性, 探究促进油茶坐果的最佳外源 GA₃ 浓度, 为油茶高产栽培和科学管理提供技术依据。[方法] 以 9 年生‘长林 4 号’油茶为试验材料, 采用单因素试验设计, 对植株叶面分别喷施 100、200、300、400、500 mg·L⁻¹ 外源 GA₃, 以喷施清水为对照 (CK), 分析不同浓度外源 GA₃ 对油茶花器官内源激素及坐果率的影响。[结果] 研究表明: 在试验水平范围内, 喷施低浓度外源 GA₃ 有利于提高油茶坐果率, 最佳喷施浓度为 66.69 mg·L⁻¹。喷施低浓度的外源 GA₃ 使油茶雌蕊内源 ABA 含量降低, 雄蕊 ABA 含量先升高后降低; 雌雄蕊 ZR、GA₃ 含量升高, 雌雄蕊 IAA 含量先降低后升高; 初萎时期雌蕊 ABA 与坐果率呈显著负相关 ($P<0.05$)。[结论] 在试验水平范围内, 提高油茶坐果率的外源 GA₃ 最佳喷施浓度为 66.69 mg·L⁻¹, 喷施低浓度外源 GA₃ 可能通过调节油茶花器官内源 ZR、IAA、ABA、GA₃ 含量来影响其 ABA 含量, 进而影响油茶坐果率。

关键词: 油茶; GA₃; 坐果率; 内源激素

中图分类号: S794.4

文献标志码: A

文章编号: 1001-1498(2020)01-0162-09

油茶 (*Camellia oleifera* Abel.) 属山茶科 (Theaceae) 山茶属 (*Camellia* L.) 植物, 为灌木、小乔木或中乔木, 雌雄同花, 花果同期, 是我国特有的木本食用油料树种^[1-3]。目前, 在生产栽培中, 油茶自交可育性低, 若花期遇到阴雨天气会严重影响授粉受精, 导致落花落果严重, 极大地影响油茶产业高产高效的发展^[4]。在我国南方, 低温霜冻严重, 油茶幼果在树上过冬, 不同品种与立地条件下的油茶产量差距很大^[5]。因此, 如何使油茶多花多果、提高坐果率、减少落果以促其丰产稳产, 成为生产中亟待解决的问题。

植物生长发育的控制发生在 3 个层次上: 胞内控制、胞间控制和胞外控制, 其中, 胞间控制主要受植物激素调控, 协调不同组织和细胞间的生理活动。激素在控制植物生长发育过程中起着关键的调

控作用。植物激素作为一种化学信号, 介导细胞与细胞间、器官与器官间、环境与植物间的相互作用, 贯穿在整个植物生长发育的全过程^[6]。开花是植物生长发育过程中尤为重要的组成部分^[7]。植物在开花结实过程中, 激素水平与花器官发育以及植物坐果率息息相关^[8-11]。油橄榄 (*Olea europaea* L.)、库尔勒香梨 (*Pyrus brestschneideri* Rehd.)、扁桃 (*Amygdalus communis* L.) 等果树花期喷施外源激素可显著提高其坐果率和产量^[12-14]。赤霉素 (GAs) 是一种二萜酸类植物激素, 能够防止植株花期落花, 提高坐果率^[15]。目前, 通过喷施外源 GA₃ 来调控花卉作物开花坐果的研究较多^[16-19], 而喷施 GA₃ 对油茶花器官内源激素等影响的研究鲜有报道。本文以 9 年生‘长林 4 号’油茶为研究对象, 探究不同浓度的外源 GA₃ 对油茶花器官内源

收稿日期: 2018-12-26 修回日期: 2019-09-02

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目“油茶早花种质资源收集与创新” (CAFYBB2017MB021)

* 通讯作者: 钟秋平. E-mail: fyzqp92@163.com

激素及坐果率的影响, 分析油茶花器官内源激素与坐果率间的相关性, 为油茶高产栽培和科学管理提供技术依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况与试验材料

试验于2017年在江西省分宜县中国林科院亚热带林业实验中心油茶繁育基地(114°29'E, 27°33'N)进行。该地为低山丘陵地形, 海拔100 m, 亚热带季风性湿润气候, 年平均气温17.2℃, 年平均降水量1600 mm, 降水量主要集中在春夏季3—6月, 全年无霜期270 d。试验林面积1.33 hm², 土壤为红壤土, 每年3月份施有机肥。供试材料为9年生油茶优良无性系‘长林4号’, 生长良好、长势一致, 地径6.5~9.0 cm, 树高1.8~2.5 m, 冠幅1.8~2.5 m。

1.2 试验设计

试验于2017年10月进行, 采用单因素试验设计, 每个处理设3个重复, 每个重复6株, 处理之间留1株作为保护株, 留1行作为保护行, 并设置1个空白对照组(CK), 共6个处理(表1)。每隔7 d进行叶面喷施, 分别于10月25日(未开花)、11月3日、11月10日、11月18日喷施外源GA₃, 对照组喷施清水, 喷施至滴水状为止。

表1 外源激素单因素试验设计

Table 1 Test factors level of hormone

试验因素 Test factors	浓度Concentration/(mg·L ⁻¹)
GA ₃	100
	200
	300
	400
	500
对照CK	0(清水Clear water)

1.3 调查方法

在试验前期, 将试验树编号标记挂牌, 根据生长势、枝粗以及枝位等指标选出标准枝, 分别标记。于2017年11月15日最后一次喷施外源激素前统计各处理中每株的花朵数。于2018年4月8日坐果后调查记录各处理中每株的坐果数, 按照以下公式计算坐果率: 坐果率=坐果数(个)/开花数(个)×100%。

1.4 采样与测定方法

分别于2017年11月2日、11月9日、11月17日和11月26日采集油茶开花的4种状态即含苞、半开、全开与初萎的样品, 每个处理采取15朵, 迅速将雌蕊、雄蕊分离, 分别取样于锡箔纸内, 各1 g, 置于存有足量液氮的泡沫箱中速冻, 超低温冰箱保存备用, 用于植物内源激素的测定。花器官中内源激素生长素(IAA)、赤霉素(GA₃)、细胞分裂素(ZR)与脱落酸(ABA)采用酶联免疫法(ELISA)测定, 试剂盒来源于中国农业大学农学与生物技术学院。

1.5 统计分析

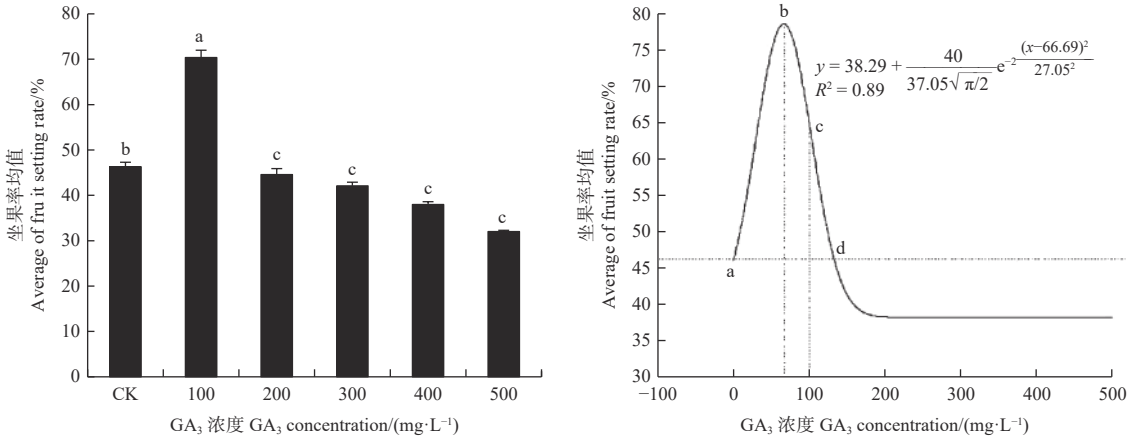
试验数据采用Excel 2016、SPSS Statistics 17.0软件进行Duncan多重比较与Kendall显著差异性分析, 并用Origin 7.5软件进行二阶指数线性回归。

2 结果与分析

2.1 不同浓度外源GA₃对油茶坐果的影响

由图1可见: 喷施低浓度的GA₃可显著提高油茶坐果率; 对照组CK坐果率为46.30%, 喷施100 mg·L⁻¹ GA₃的油茶坐果率最高, 为70.38%; 200 mg·L⁻¹ GA₃处理的油茶坐果率低于对照组, 为44.65%; 300、400、500 mg·L⁻¹ GA₃处理的油茶坐果率依次降低, 分别为42.10%、38.61%、32.48%, 均低于对照。说明在试验水平范围内, 低浓度的外源GA₃处理有助于提高油茶坐果率, 高浓度的外源GA₃处理则起到抑制作用。

对油茶坐果率(y)与外源GA₃浓度(x)进行单因素回归分析, 通过对单因素回归方程式求导可知, 当 $x=0$ 时, $y=46.30$, 即a点代表对照组的坐果率; 当 $x=x_c=66.69\pm 5.72$ 时, $y=77.05$, 此时b点 y 值达到最大, 且坐果率增幅达到66.40%; 当 $y=46.30$ 时, 可得d点外源GA₃的浓度值 $x=132.63$; 当 $x=100$ 时, c点坐果率增幅达40.00%; 当 $33.03\leq x\leq 100$ 时, $y\geq 64.98$, 才能达到油茶坐果率增幅大于或等于40.00%的效果。因此, 提高油茶坐果率的最佳GA₃浓度为66.69 mg·L⁻¹, 外源GA₃浓度在33.03~100.00 mg·L⁻¹能获得坐果率增幅大于或等于40.00%的效果, 当外源GA₃浓度超过132.63 mg·L⁻¹时, 对油茶坐果产生抑制作用。



注：柱状图中不同小写字母表示差异达显著水平 ($p < 0.05$)，下同。

Note: The different letters above the histogram differ significantly ($p < 0.05$), similarly hereinafter.

图1 不同浓度 GA₃ 对油茶坐果率的影响

Fig. 1 Effects of different concentrations of GA₃ on the fruit setting rate of *C. oleifera*

2.2 不同浓度外源 GA₃ 对油茶花器官内源激素含量的影响

2.2.1 外源 GA₃ 对油茶雌蕊 ABA 含量的影响 由图 2 可见：含苞时期，不同浓度 GA₃ 处理油茶雌蕊 ABA 含量与对照差异均显著，其中 200 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ABA 含量显著高于对照，其它浓度 GA₃ 处理的雌蕊 ABA 含量均显著低于对照；半开时期，与对照相比，300 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌

蕊 ABA 含量显著高于对照，100、200、400 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ABA 含量显著低于对照；全开时期，与对照相比，400、200、100 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ABA 含量显著高于对照，300 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ABA 含量显著低于对照；初萎时期，与对照相比，300 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ABA 含量显著高于对照，100、500、200 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ABA 含量显著低于对照。

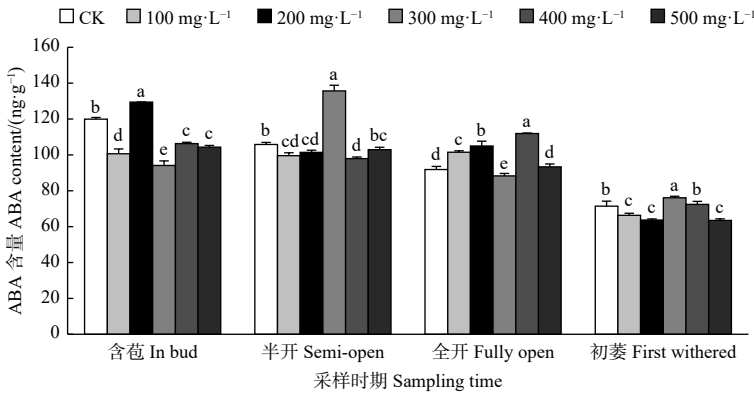


图2 GA₃ 处理对油茶雌蕊 ABA 含量的影响

Fig. 2 Effects of GA₃ treatment on the contents of ABA in pistil of *C. oleifera*

2.2.2 外源 GA₃ 对油茶雌蕊 ZR 含量的影响 由图 3 可见：含苞时期，与对照相比，200、300 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ZR 含量显著高于对照，500 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ZR 含量显著低于对照；半开时期，与对照相比，500、100、300 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ZR 含量显著高于对照，其它处理的雌蕊 ZR 含量显著低于对照；全开时期，与对照相比，

100、400、300、200 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ZR 含量显著高于对照，500 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ZR 含量显著低于对照；初萎时期，与对照相比，400、500、100 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 ZR 含量显著高于对照，其它处理的雌蕊 ZR 含量显著低于对照。

2.2.3 外源 GA₃ 对油茶雌蕊 GA₃ 含量的影响 由

图 4 可见: 含苞时期, 与对照相比, 200、500、400 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 GA₃ 含量显著高于对照, 300、100 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 GA₃ 含量显著低于对照; 半开时期, 300、100、500、400 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 GA₃ 含量显著高于对照; 在全开

时期, 不同浓度 GA₃ 处理的雌蕊 GA₃ 含量均显著高于对照; 初萎时期, 与对照相比, 100、400、300、200 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 GA₃ 含量均显著高于对照, 500 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 GA₃ 含量显著低于对照。

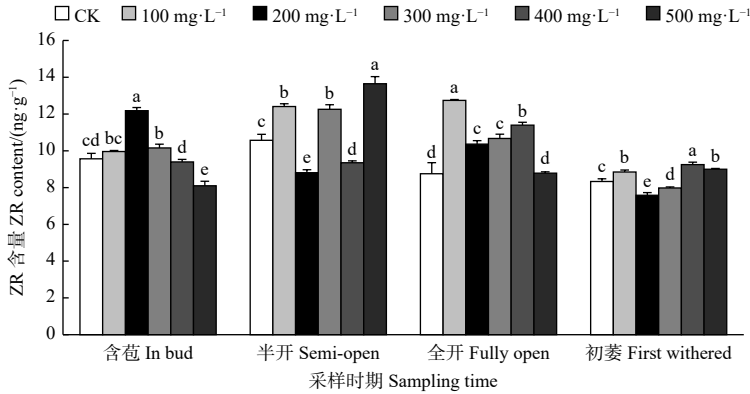


图 3 GA₃ 处理对油茶雌蕊 ZR 含量的影响

Fig. 3 Effects of GA₃ treatment on the contents of ZR in pistil of *C. oleifera*

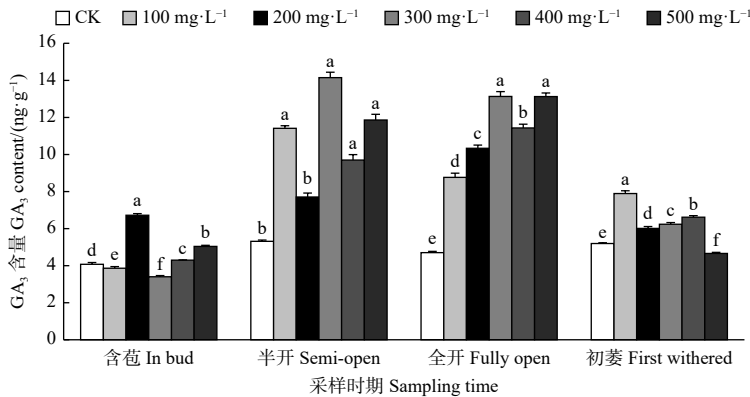


图 4 GA₃ 处理对油茶雌蕊 GA₃ 含量的影响

Fig. 4 Effects of GA₃ treatment on the contents of GA₃ in pistil of *C. oleifera*

2.2.4 外源 GA₃ 对油茶雌蕊 IAA 含量的影响 由图 5 可见: 含苞时期, 与对照相比, 300、400 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 IAA 含量显著高于对照, 其它处理的雌蕊 IAA 含量显著低于对照; 半开时期, 与对照相比, 100 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 IAA 含量显著低于对照; 全开时期, 与对照相比, 300、400、100、500 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 IAA 含量显著高于对照; 初萎时期, 与对照相比, 100 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雌蕊 IAA 含量显著高于对照, 其它处理的雌蕊 IAA 含量显著低于对照。总体来看, 随着采样时期的进行, 喷施外源 GA₃ 使雌蕊 IAA 含量呈先上升后下降的变化趋势。

2.2.5 外源 GA₃ 对油茶雄蕊 ABA 含量的影响 由图 6 可见: 含苞时期, 与对照相比, 400、500、200、300 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 ABA 含量显著高于对照, 100 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 ABA 含量显著低于对照; 半开时期, 与对照相比, 200、300、400 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 ABA 含量显著高于对照, 500 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 ABA 含量显著低于对照; 全开时期, 与对照相比, 100、400 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 ABA 含量显著高于对照, 200、300、500 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 ABA 含量显著低于对照; 初萎时期, 与对照相比, 不同浓度 GA₃ 处理的雄蕊中 ABA 含量显著低于对照。

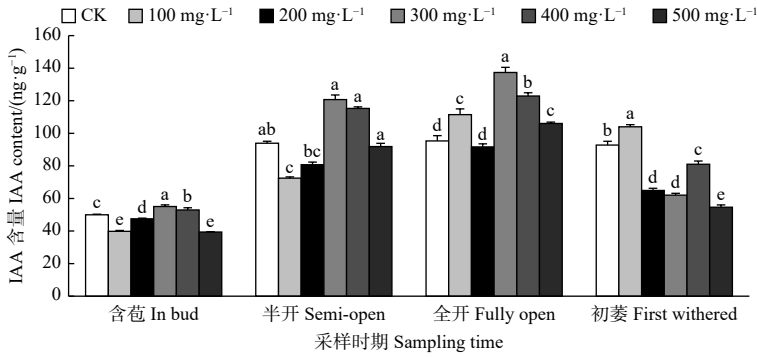


图5 GA₃处理对油茶雌蕊 IAA 含量的影响

Fig. 5 Effects of GA₃ treatment on the contents of IAA in pistil of *C. oleifera*

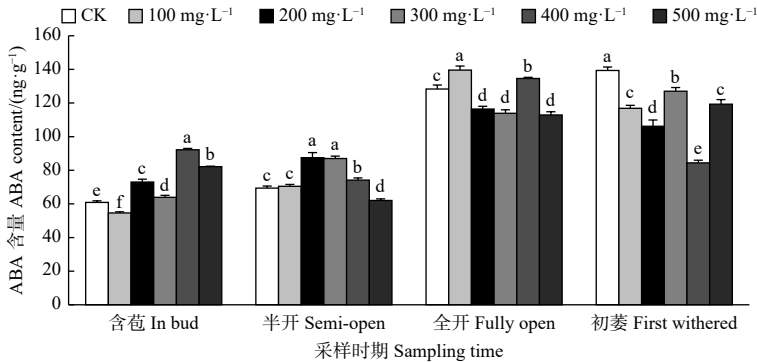


图6 GA₃处理对油茶雄蕊 ABA 含量的影响

Fig. 6 Effects of GA₃ treatment on the contents of ABA in stamen of *C. oleifera*

2.2.6 外源 GA₃ 对油茶雄蕊 ZR 含量的影响 由图 7 可见：含苞时期，与对照相比，200、500、100、300 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 ZR 含量显著高于对照；半开时期，与对照相比，不同浓度 GA₃ 处理的雄蕊 ZR 含量均显著低于对照；全开时期，

与对照相比，200、400、100 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 ZR 含量显著高于对照；初萎时期，与对照相比，100、500、300 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 ZR 含量显著高于对照，200 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 ZR 含量显著低于对照。

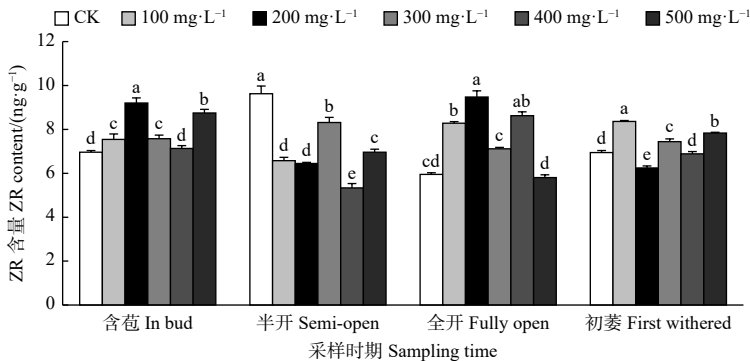


图7 GA₃处理对油茶雄蕊 ZR 含量的影响

Fig. 7 Effects of GA₃ treatment on the contents of ZR in stamen of *Camellia oleifera*

2.2.7 外源 GA₃ 对油茶雄蕊 GA₃ 含量的影响 由图 8 可见：含苞时期，与对照相比，100、300、400、500 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 GA₃ 含量显著高于对照，200 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 GA₃ 含量显

著低于对照；半开时期，与对照相比，400、300、500、100 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 GA₃ 含量显著高于对照，200 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 GA₃ 含量显著低于对照；全开时期，与对照相比，200、400、

100 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 GA₃ 含量显著高于对照, 500、300 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 GA₃ 含量显

著低于对照; 初萎时期, 与对照相比, 不同浓度 GA₃ 处理的雄蕊 GA₃ 含量均显著低于对照。

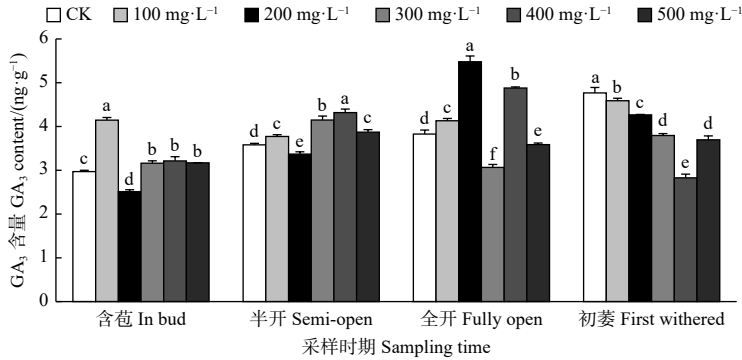


图 8 GA₃ 处理对油茶雄蕊 GA₃ 含量的影响

Fig. 8 Effects of GA₃ treatment on the contents of ABA in stamen of *C. oleifera*

2.2.8 外源 GA₃ 对油茶雄蕊 IAA 含量的影响 由图 9 可见: 含苞时期, 与对照相比, 300 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 IAA 含量显著高于对照, 其它浓度 GA₃ 处理的雄蕊 IAA 含量显著低于对照; 半开、全开时期, 与对照相比, 不同浓度 GA₃ 处

理的雄蕊 IAA 含量均显著低于对照; 初萎时期, 与对照相比, 100、300、400、200 mg·L⁻¹ GA₃ 处理的雄蕊 IAA 含量显著高于对照。总体来看, 在初萎时期喷施外源 GA₃ 可显著提高雄蕊 IAA 的含量。

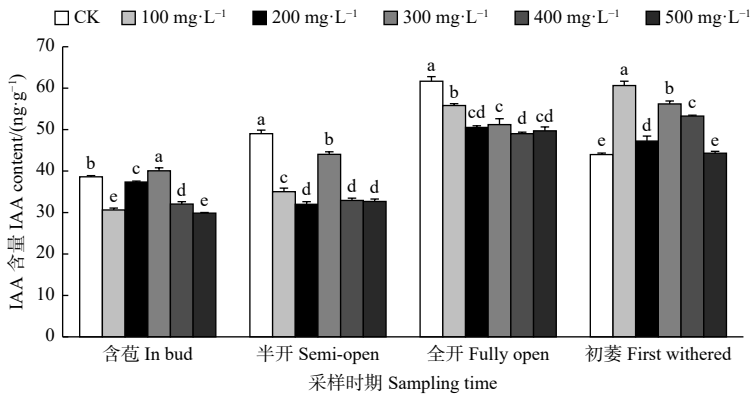


图 9 GA₃ 处理对油茶雄蕊 IAA 含量的影响

Fig. 9 Effects of GA₃ treatment on the contents of IAA in stamen of *C. oleifera*

2.3 外源 GA₃ 与油茶雌蕊、雄蕊内源激素和坐果率的相关性分析

2.3.1 外源 GA₃ 与油茶雌蕊内源激素和坐果率的相关性分析 由表 2 可见: 外源 GA₃ 与油茶雌蕊 ABA 在含苞时期呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 在半开时期呈显著负相关 ($P < 0.05$), 在全开时期呈极显著正相关 ($P < 0.01$); 外源 GA₃ 与油茶雌蕊 ZR 在半开、全开时期均呈极显著正相关 ($P < 0.01$), 在初萎时期呈显著正相关 ($P < 0.05$); 外源 GA₃ 与油茶雌蕊 GA₃ 在半开、全开与初萎时期均呈极显著正相关 ($P < 0.01$); 外源 GA₃ 与油茶雌蕊 IAA 在含苞、半开时期均呈极显著负相关 ($P < 0.01$),

外源 GA₃ 与油茶雌蕊 IAA 在全开、初萎时期均呈极显著正相关 ($P < 0.01$)。初萎时期雌蕊 ABA 与坐果率呈显著负相关 ($P < 0.05$)。外源 GA₃ 与油茶坐果率呈正相关, 相关性不显著。在试验水平范围内, 喷施较低浓度外源 GA₃ 可能通过调控不同时期油茶雌蕊内源 ABA、ZR、GA₃、IAA 含量, 影响油茶雌蕊内源激素间的平衡, 从而降低初萎时期油茶雌蕊 ABA 含量, 进而提高油茶坐果率。

2.3.2 外源 GA₃ 与油茶雄蕊内源激素和坐果率的相关性分析 由表 3 可知: 外源 GA₃ 与油茶雄蕊 ABA 在含苞、初萎时期均呈极显著负相关 ($P < 0.01$), 在全开时期呈极显著正相关 ($P < 0.01$);

外源 GA₃ 与油茶雄蕊 ZR 在含苞时期呈显著正相关 ($P<0.05$), 在半开时期呈极显著负相关 ($P<0.01$), 在初萎时期呈极显著正相关 ($P<0.01$); 外源 GA₃ 与油茶雄蕊 GA₃ 在含苞、半开时期呈极

显著正相关 ($P<0.01$), 在全开时期呈显著正相关 ($P<0.05$); 外源 GA₃ 与油茶雄蕊 IAA 在含苞、半开与全开时期均呈极显著负相关 ($P<0.01$), 在初萎时期呈极显著正相关 ($P<0.01$)。

表2 外源 GA₃ 与油茶雌蕊内源激素和坐果率的相关性分析

Table 2 Correlation analysis between exogenous GA₃ and pistil endogenous hormones, fruit setting rate of *C. oleifera*

变量 Variable	GA ₃ 浓度 GA ₃ concentration	ABA				ZR			
		含苞 Stagnation	半开 Half open	全开 Fully open	初萎 First fall	含苞 Stagnation	半开 Half open	全开 Fully open	初萎 First fall
GA ₃ 浓度 GA ₃ concentration	1.000	-0.979**	-0.911*	0.963**	-0.772	0.682	0.970**	0.978**	0.896*
坐果率 Fruit setting rate	0.536	-0.600	-0.571	0.370	-0.883*	-0.229	0.528	0.519	0.412
变量 Variable	GA ₃ 浓度 GA ₃ concentration	GA ₃				IAA			
		含苞 Stagnation	半开 Half open	全开 Fully open	初萎 First fall	含苞 Stagnation	半开 Half open	全开 Fully open	初萎 First fall
GA ₃ 浓度 GA ₃ concentration	-0.768	0.999**	0.997**	0.997**	-0.996**	-0.995**	0.923**	0.946**	
坐果率 Fruit setting rate	0.074	0.524	0.539	0.506	-0.547	-0.581	0.390	0.708	

注: *表示显著相关 ($P<0.05$), **表示极显著相关 ($P<0.01$), 下同。

Note: *Indicates significant at $P<0.05$ level, **indicates significant at $P<0.01$ level, the same below.

表3 外源 GA₃ 与油茶雄蕊内源激素和坐果率的相关性分析

Table 3 Correlation analysis between exogenous GA₃ and stamen endogenous hormones, fruit setting rate of *C. oleifera*

变量 Variable	GA ₃ 浓度 GA ₃ concentration	ABA				ZR			
		含苞 Stagnation	半开 Half open	全开 Fully open	初萎 First fall	含苞 Stagnation	半开 Half open	全开 Fully open	初萎 First fall
GA ₃ 浓度 GA ₃ concentration	1.000	-0.968**	0.409	0.921**	-0.985**	0.849*	-0.997**	0.786	0.995**
坐果率 Fruit setting rate	0.536	-0.552	0.023	0.474	-0.431	0.404	-0.563	0.573	0.468
变量 Variable	GA ₃ 浓度 GA ₃ concentration	GA ₃				IAA			
		含苞 Stagnation	半开 Half open	全开 Fully open	初萎 First fall	含苞 Stagnation	半开 Half open	全开 Fully open	初萎 First fall
GA ₃ 浓度 GA ₃ concentration	0.997**	0.930**	0.899*	-0.673	-0.995**	-0.993**	-0.961**	0.995**	
坐果率 Fruit setting rate	0.538	0.244	0.768	0.099	-0.494	-0.605	-0.387	0.538	

3 讨论

赤霉素是一种重要的植物激素, 在种子萌发、茎秆伸长、花粉成熟、开花诱导和花器官发育等方面具有重要作用^[20-22]。开花作为植物由营养生长向生殖生长转变的关键环节, 受光周期途径、春化途径、自主途径、环境温度途径以及赤霉素途径等多种途径调控^[23]。已有研究证实, 喷施低浓度的 GA₃ 对提高植物坐果率具有促进作用, 如喷施浓度过大, 易造成果实日灼、采前落果和耐贮性降低等问题^[24-27]。本研究表明: 在试验水平范围内, 油茶花期喷施低浓度外源 GA₃ 有利于提高油茶坐果

率; 提高油茶坐果率的外源 GA₃ 最佳喷施浓度为 66.69 mg·L⁻¹。这与杜研^[28]、董胜利等^[29]的研究结果相似。

外源激素通过改变植物 IAA、ABA、GA₃、ZR 等内源激素含量, 影响内源激素间的平衡来调节自身的代谢水平, 从而影响植株的开花和坐果^[30]。脱落酸含量的升高将会加速植物果实离层的产生, 从而导致植物果实的衰老脱落^[31]。细胞分裂素可促进植物坐果和果实发育^[6], 生长素恰恰对离区水解酶含量的升高有抑制作用^[32-33]。赤霉素作为植物内源激素与植物成花息息相关, 具有促进细胞伸长, 加速生长和发育, 使作物提早成熟, 减少器官脱

落,提高果实的结实率等作用^[34-35]。已有研究报道,喷施外源 GA₃使杜鹃(*Rhododendron hybridum* Planch)内源 GA₃含量上升^[36-37];于冬枣(*Zizyphus jujuba* Mill. cv. Dongzao)花期喷施外源 GA₃可提高树体内 GA₃、IAA与ZR的含量。本研究表明:油茶花期喷施 100 mg·L⁻¹外源 GA₃使油茶雌蕊 ABA含量降低,这与吴建明等^[38]喷施外源 GA₃降低甘蔗(*Saccharum officinarum*)幼茎的内源 ABA含量的研究结果相似;于油茶花期喷施 100 mg·L⁻¹外源 GA₃使油茶雌蕊 GA₃含量升高,与陈显^[39]喷施低浓度的外源 GA₃可提高油茶内源 GA₃含量的研究结果相似。于油茶花期喷施 100 mg·L⁻¹外源 GA₃使油茶雌蕊 ZR含量升高,IAA含量先降低后升高,这与李田等^[40]研究结果相似,而内源 IAA含量降低可能与油茶花苞片的脱落有关。油茶花期喷施 100 mg·L⁻¹外源 GA₃使雄蕊内源 ABA含量先升高后降低,ZR、GA₃含量升高,IAA含量先降低后升高,其中,内源 ABA含量先升高后下降,这可能是由于随着油茶花的开放,雄蕊逐渐脱落造成的。由此可知,油茶花期喷施 100 mg·L⁻¹的外源 GA₃可能通过调节油茶花器官的内源激素含量,进而影响油茶坐果率。本研究通过对试验各测定指标进行相关性分析得出,100 mg·L⁻¹的外源 GA₃可能通过调控油茶雌蕊内源激素 ZR、IAA、ABA、GA₃间的平衡来降低油茶初萎时期雌蕊的 ABA含量,进而提高油茶坐果率,这与前述推论相印证。此外,油茶雄蕊各内源激素与坐果率相关性均不显著,这可能是由于油茶雄蕊在开花后期脱落造成的,而油茶雌雄蕊间内源激素的关系还有待进一步研究。本文仅对外源 GA₃对油茶开花过程中花器官内源激素与坐果率的影响进行初步研究,而外源 GA₃对油茶花器官其它内含物质是否存在影响还有待进一步试验和探讨。

4 结论

本研究表明:在试验水平范围内,喷施低浓度外源 GA₃有利于提高油茶坐果率,提高油茶坐果率的外源 GA₃最佳喷施浓度为 66.69 mg·L⁻¹。油茶花期喷施低浓度的外源 GA₃使油茶雌蕊内源 ABA含量降低,GA₃含量升高,ZR含量升高,IAA含量先降低后升高,雄蕊内源 ABA含量先升高后降低,ZR、GA₃含量升高,IAA含量先降低后升高。通过相关性分析可知,在试验水平范围内,喷施低浓度外源 GA₃可能通过调节油茶花器

官内源 ZR、IAA、ABA、GA₃含量来影响其 ABA含量,进而影响油茶坐果率。

参考文献:

- [1] 尹丹丹,李珊珊,吴倩,等.我国6种主要木本油料作物的研究进展[J].植物学报,2018,53(1):110-125.
- [2] Ye Z C, Yougen W U, Zhang J, et al. Anticancer activities of the extract from oils and cakes of *Camellia* spp.[J]. Chinese Journal of Tropical Crops, 2017, 38(7): 1216-1223.
- [3] Zhang L L, Wang Y M, Wu D M, et al. Comparisons of antioxidant activity and total phenolics of *Camellia oleifera* Abel fruit hull from different regions of China[J]. Journal of Medicinal Plants Research, 2013, 4(14): 1420-1426.
- [4] 高超,袁德义,袁军,等.花期喷施营养元素及生长调节物质对油茶坐果率的影响[J].江西农业大学学报,2012,34(3):505-510.
- [5] 胡玉玲,姚小华,任华东,等.油茶花发育转录组测序及相关基因表达分析[J].林业科学,2014,50(9):36-43.
- [6] 武维华.植物生理学[M].2版.北京:科学出版社,2008.
- [7] 沈卫平,蔡强,周锋利,等.植物激素调控水稻花器官发育分子机制的研究进展[J].植物生理学报,2015,51(5):593-600.
- [8] 周娟.光皮树大小孢子发育及外源激素对其开花的影响[D].长沙:中南林业科技大学,2012.
- [9] 王丽萍,李志刚,谭乐和,等.植物内源激素研究进展[J].安徽农业科学,2011,39(4):1912-1914.
- [10] Shalit A, Rozman A, Goldshmidt A, et al. The flowering hormone florigen functions as a general systemic regulator of growth and termination[J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2009, 106(20): 8392-8397.
- [11] 刘伦,王超,姚改芳,等.外源生长调节剂处理对‘满天红’×‘碭山酥梨’后代成花的影响[J].南京农业大学学报,2015,38(3):381-388.
- [12] 肖千文,金银春,吴开志,等.叶面施肥对油橄榄坐果率的影响[J].安徽农业科学,2009,37(30):14670-14671.
- [13] 刚明慧,齐曼·尤努斯,覃伟铭,等.不同植物生长调节剂对库尔勒香梨坐果率、脱萼果率、果实形态及叶绿素含量的影响[J].新疆农业大学学报,2009,32(6):26-30.
- [14] 李胜,李唯,杨德龙,等.扁桃花粉活力的测定及其提高坐果率研究[J].果树学报,2004,21(1):79-81.
- [15] 聂琼,康林峰,张伟兰.赤霉素对突尼斯软籽石榴坐果率及品质的影响[J].中国果菜,2017,37(8):21-23.
- [16] 孙红梅,安晶,王春夏,等.激素和变温处理对百合鳞片扦插繁殖的影响[J].林业科学,2011,47(3):39-45.
- [17] 张乐华,王书胜,单文,等.基质、激素种类及其浓度对鹿角杜鹃扦插育苗的影响[J].林业科学,2014,50(3):45-54.
- [18] 孙颖,陈显,刘儒,等.不同浓度赤霉素处理对油桐花芽分化的影响[J].经济林研究,2014,32(1):97-100.
- [19] 邓惠惠,白龙强,于贤昌,等.日光温室早春黄瓜叶片喷施赤霉素对生长和生理及产量的影响[J].园艺学报,2016,43(5):983-990.
- [20] 朱东煌,黄日升,蔡顺其,等.植物生长调节剂提高溪蜜柚坐果率的研究与应用综述[J].中国热带农业,2015,65(4):110-112.
- [21] 魏志刚,钱婷婷,张凯旋,等.外源 GA₃对白桦成花基因影响的定量PCR分析[J].林业科学,2011,47(7):187-192.
- [22] Rademacher W. Growth retardants: effects on gibberellin biosynthesis and other metabolic pathways[J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 2000, 51(51): 501-531.

- [23] Srikanth A, Schmid M. Regulation of flowering time: all roads lead to Rome[J]. Cellular & Molecular Life Sciences, 2011, 68(12): 2013-2037.
- [24] 周 宇, 佟兆国, 张开春, 等. 赤霉素在落叶果树生产中的应用[J]. 中国农业科技导报, 2006, 8(2): 27-31.
- [25] 赵莲花, 王富河, 夏玉宝, 等. 4种植物生长调节剂对石榴坐果的影响[J]. 北方果树, 2009, 6(6): 6-7.
- [26] 李建伟. ‘红灯’甜樱桃(*Prunus avium* L.)果实内源激素年动态及外源激素效应研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2007.
- [27] 卢 龙. 赤霉素诱导葡萄单性结实与促进坐果分子机制的研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2016.
- [28] 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.
- [29] 董胜利, 阿布来克·尼牙孜, 章世奎, 等. 硼酸和赤霉素对杏坐果率的影响[J]. 北方园艺, 2017, 6(1): 28-32.
- [30] 齐飞艳, 彭镇华, 胡 陶, 等. 毛竹花期不同器官内源激素含量的变化[J]. 林业科学研究, 2013, 26(3): 332-336.
- [31] 王 雄, 陈金印, 等. 喷施GA₃和2,4-D对留树保鲜脐橙落果和内源激素含量的影响[J]. 园艺学报, 2012, 39(3): 539-544.
- [32] 马庆华, 续九如, 王贵禧, 等. 花期促果措施对冬枣内源激素和坐果率的影响[J]. 中国农学通报, 2010, 26(9): 234-238.
- [33] Pullman G S, Bucalo K. Pine somatic embryogenesis: analyses of seed tissue and medium to improve protocol development[J]. New Forests, 2014, 45(3): 353-377.
- [34] 彭向永, 程运河, 李振坚, 等. 蒿柳成花过程中内源激素和多胺含量变化特征[J]. 林业科学, 2018, 54(8): 39-47.
- [35] 张雅倩, 王宇婷, 曾 慧, 等. 不同激素处理对有斑溲丹扦插繁殖的影响[J]. 贵州农业科学, 2018, 46(9): 108-111.
- [36] 吴月燕, 李 波, 朱 平, 等. 植物生长调节剂对西洋杜鹃花期及内源激素的影响[J]. 园艺学报, 2011, 38(8): 1565-1571.
- [37] 李 波. 生长调节剂与光温处理对西洋杜鹃花期及内源激素的调控作用[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [38] 吴建明. 赤霉素诱导甘蔗节间伸长与内源激素变化的关系[J]. 热带作物学报, 2009, 30(10): 1452-1457.
- [39] 陈 显. 外源赤霉素对油茶成花调控机理的研究[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2013.
- [40] 李 田, 刘海河, 张彦萍, 等. 外源赤霉素对厚皮甜瓜坐果节位叶片早衰与内源激素含量的影响[J]. 农药学报, 2018, 20(5): 618-624.

Effects of Exogenous GA₃ on Endogenous Hormones and Fruit Setting Rate of *Camellia oleifera*

GE Xiao-ning, ZHONG Qiu-ping, LUO Shuai, CAO Lin-qing, GUO Hong-yan,
YUAN Ting-ting, ZHOU You-cheng

(Experimental Center for Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fenyi 336600, Jiangxi, China)

Abstract: [Objective] To study the effect of exogenous GA₃ concentrations on endogenous hormones of flower organ and fruit setting rate of *Camellia oleifera*, to analyze the correlation between endogenous hormones of flower organ and fruit setting rate of *C. oleifera* and to find the best exogenous GA₃ concentration for promoting the fruit setting rate of *C. oleifera*. [Method] By using single factor test design, 9-year-old *C. oleifera* ‘Changlin-4’ was used as test material, 100, 200, 300, 400 and 500 mg·L⁻¹ GA₃ were sprayed on the leaves of *C. oleifera*, and fresh water was served as control and sprayed in order to observe the effects of different concentrations of exogenous GA₃ on the endogenous hormones and fruit setting rate of *C. oleifera*. [Result] Spraying low concentrations of exogenous GA₃ in the test level was conducive to improving the fruit setting rate of *C. oleifera*. The optimal spraying concentration of exogenous GA₃ for improving the fruit-tea setting rate was 66.69 mg·L⁻¹. Spraying low concentration of exogenous GA₃ reduced the ABA content of the pistil of *C. oleifera*, increased the content of ZR and GA₃ of the pistil of *C. oleifera*. IAA content of the pistil of *C. oleifera* decreased at first and then increased. The content of endogenous ABA in the stamens increased at first and then decreased, the content of ZR and GA₃ increased, and the content of IAA decreased at first and then increased by spraying low concentration of exogenous GA₃. There was a significant negative correlation between pistillary ABA and fruit setting rate in the initial wilting stage ($P < 0.05$). [Conclusion] In the test level range, the optimal spraying concentration of exogenous GA₃ for improving the fruit setting rate of *C. oleifera* is 66.69 mg·L⁻¹. To control the content of endogenous ABA, ZR, IAA, GA₃ of flower organ of *C. oleifera* and regulate the content of ABA by spraying different concentrations of GA₃ stretches out an arm in improving the fruit setting rate of *C. oleifera*.

Keywords: *Camellia oleifera*; GA₃; fruit setting rate; endogenous hormone