

喷施 GA_3 和 6-BA 对“富士”苹果顶芽内源激素及成花成枝的影响

马 玲¹, 张 鑫¹, 孟 莹¹, 赵 静², 张满让^{1*}

(1 西北农林科技大学 园艺学院, 陕西杨陵, 712100; 2 西北农林科技大学 园艺学院科学研究中心, 陕西杨陵, 712100)

摘 要: 为探讨外源 GA_3 、6-BA 对“富士”苹果大小年现象调控机理及其在成花成枝中的作用, 试验以 4 年生“富士”苹果树为材料, 分别在不同生长时期、相同浓度 GA_3 、6-BA 喷施处理树体和以不同喷施次数、不同浓度的 GA_3 、6-BA 处理树体, 利用超高效液相色谱法测定枝条顶芽中内源激素 (GA_3 、IAA、ABA、ZT) 含量, 同时考察不同类型枝条成花率、成枝率和枝条长度。结果显示: (1) 在不同生长时期喷施 GA_3 促进了顶芽中内源 GA_3 和 ABA 含量的积累, 抑制了 ZT 和短枝 IAA 的合成, 同时降低了不同类型枝条的成花率、促进了生理分化前期短枝的成枝率; 6-BA 处理增加了所有枝条顶芽中 GA_3 、ABA 以及短枝顶芽中 IAA 和中长枝顶芽中 ZT 的合成, 从而促进了花芽生理分化前期不同类型枝条的成花率、短枝的成枝率以及中长枝的伸长, 但对短枝的伸长有抑制作用。(2) 单次喷施 GA_3 抑制了所有枝条顶芽中 IAA 的合成, 促进了所有枝条顶芽中 GA_3 、ABA 以及短枝顶芽 ZT 含量的积累, 使得成花率降低、成枝率增加、枝条伸长减小, GA_3 浓度越大对顶芽中 ZT 合成的抑制越明显。多次喷施 GA_3 增加了所有枝条顶芽中 GA_3 和 IAA 的积累, 短枝中 ABA 含量减小而中长枝增加, 并使得成花率降低, 成枝率减小, 但对 ZT 含量和枝条伸长无显著影响。(3) 单次喷施 6-BA 增加了短枝顶芽中 GA_3 和 ABA 含量以及所有枝条中 ZT 的含量, 但抑制了中长枝 GA_3 和 ABA 的合成以及所有枝条顶芽中 IAA 的合成; 使得成花率降低, 成枝率增加, 抑制了短枝枝条伸长而促进了中长枝伸长; 多次喷施 6-BA 使得所有枝条顶芽中 GA_3 和 IAA 含量增加, 短枝 ABA 含量减小, 短枝 ZT 含量增加而中长枝 ZT 含量减小, 并抑制了所有枝条成花率和短枝的伸长, 但对成枝率和中长枝的伸长无显著影响。研究表明: 不同生长时期使用外源激素可以促进顶芽中 GA_3 和 ABA 的合成, 但对 IAA、ZT 的含量以及成花率、成枝率、枝条长度影响随处理时期的不同而有所改变。喷施次数和浓度对内源激素的合成、成枝率以及枝条的伸长有不同的调节作用, 但都抑制了花芽的分化, 使成花率降低。

关键词: 苹果; 顶芽; 外源激素; 内源激素; 成花率; 成枝率

中图分类号: Q945.6; S661.1

文献标志码: A

Influence of Spraying GA_3 and 6-BA on Endogenous Hormone Content and the Flowering Rate of “Fuji” Apple

MA Ling¹, ZHANG Xin¹, MENG Ying¹, ZHAO Jing², ZHANG Manrang^{1*}

(1 College of Horticulture, Northwest A&F University, 2 Center for Scientific Research on Horticulture, Northwest A&F University Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The objective of the present study is exploring the effect of exogenous GA_3 and 6-BA on biennial bearing, flowering and branching in “Fuji”. Using 4-year-old “Fuji” trees, we sprayed 75 mg/mL GA_3 or

收稿日期: 2017-12-01; 修改稿收到日期: 2018-05-12

基金项目: 国家苹果产业技术体系 (CARS-28)

作者简介: 马 玲 (1993—), 女, 在读硕士研究生, 主要从事果树生理生态研究。E-mail: ml2011512200@163.com

* 通信作者: 张满让, 副教授, 硕士生导师, 主要从事果树生理生态的研究。E-mail: mrz@nwsuaf.edu.cn

6-BA at several different growth periods. we also sprayed 50 mg/mL and 100 mg/mL GA_3 or 6-BA at different spraying repeat (single spraying or multiple spraying). The flowering rate, branching rate and endogenous hormones (GA_3 , IAA, ABA, ZT) in different types of tree branches were tested. The results showed that: (1) at all growth periods, GA_3 treatment promoted the accumulation of endogenous GA_3 and ABA in terminal buds, but inhibited the synthesis of ZT in all types of branches and IAA in short branches, decreased the flowering rate of different types of branches, promoted branching rate in short branches. 6-BA treatment promotes the synthesis of GA_3 , ABA, IAA, ZT and flowering rate in all terminal buds of different branches, the branching rate of short shoots, the elongation of long branches also increased. (2) Single spraying of GA_3 inhibited the synthesis of IAA, promoted the accumulation of GA_3 , ABA in all branches' terminal buds and ZT in short branches. The flowering rate and the elongation of branch were inhibited, the shoot forming rate was promoted by this treatment. the effect of GA_3 on ZT increased with the increase of GA_3 concentration. Multiple spraying of GA_3 increased the accumulation of GA_3 and IAA in all terminal buds, but decreased the content of ABA in the short branches, had no effect on ZT. The long branch increased, the flowering rate and the branch forming rate decreased by this treatment. (3) Single application of 6-BA increased the contents of GA_3 and ABA in short terminal buds and ZT content in all branches, but inhibited the synthesis of GA_3 and ABA in long branches and IAA synthesis in all terminal buds. It inhibited the elongation of short branches and promoted the elongation of long branches. Multiple spraying of 6-BA increased the contents of GA_3 and IAA in all terminal buds and ZT in short branches, decreased the contents of ABA in all branches and ZT in long branches, and inhibited the flowering rate and elongation of all branches. There was no significant effect on the branching rate and the elongation of long branch. In conclusion, the use of exogenous hormones at different growth stages can promote the synthesis of GA_3 and ABA in the top buds, but the effects of the contents of IAA, ZT, the rate of flower formation, the branching rate and the length of the branches vary with the treatment period. The spraying times and concentrations had different effects on endogenous hormones synthesis, shoot forming rate and branch elongation, but they all inhibited flower bud differentiation and flowering rate.

Key words: apple; flowering bud; exogenous hormones; endogenous hormones; flowering rate; branching rate

“富士”是中国苹果第一主栽品种,其种植面积占苹果总面积的 65% 以上^[1-3]。但在生产中,“富士”品种容易出现树势过旺,成花困难,从而导致“大小年”现象严重。花芽分化是成花所必须的生理过程,对开花结果起着至关重要的作用,其过程受到多种因素(如激素、温度、枝条类型等)调控^[4]。研究发现,激素是调控成花过程的一种有效的方式,在花芽孕育期经 GA_3 处理的“红富士”中 CTK 和 IAA 水平都高于对照组,且对花芽孕育有明显的促进作用,但过高浓度的 GA_3 处理会抑制花芽孕育^[5]。Bangerh 等人^[6]研究发现,苹果上采用的多种抑花措施(如喷赤霉素等)均是通过诱导梢尖 IAA 浓度的增加来抑制花芽分化的。

赤霉素(GAs)是果树抑花最常用的激素之一,其抑制作用在樱桃、苹果和杏树中表现尤为明显,在樱桃上 GA_3 甚至可以调整树体“大小年”现象,提高座果率^[7-8]。关于赤霉素的抑花作用已有一系列研究证实,王中原等^[9]人发现,在 9 月中下旬和 10 月上中旬喷施赤霉素可延迟“金水一号”梨花期 4~6

d;陈梅等^[10]指出 GA_3 (100 mg/L)对芝麻花序分化具有显著抑制作用。但关于赤霉素对苹果树的抑花效果及其内部机理还需要更加深入的研究。同样,细胞分裂素(CTK)也被证实可促进花芽分化,在花芽分化时期 CTK 水平往往呈上升趋势,并于花芽形态学分化初期达到顶峰。其中 6-BA 是第一代细胞分裂素,用于调控细胞生长、分裂、横向萌芽、开花等生理过程^[11-12]。钱桦等^[13]报道,使用 6-BA 可促使春石斛花芽分化进程提前并且促进花芽形成及花芽数量增多。里程辉等^[14]研究表明 6-BA 还能降低岳帅苹果座果率,有较好的疏果作用。

可见 GA_3 和 6-BA 均参与了果树花芽分化的调控,但其在苹果树上的作用效果与机理还需要更深入的探究。众多研究只表明单次喷施激素会影响花芽分化,而多次喷施是否能促进调控效果却涉及很少,且不同激素对不同类型枝条(短枝和中长枝)的作用效果是否存在差异,也鲜有报道。因此,本试验以 4 年生“富士”树体为材料,在不同生长发育时期、同浓度的 GA_3 、6-BA 喷施处理树体和以不同浓

度、不同次数 GA₃、6-BA 喷施处理树体,定期取样以测定不同类型枝条顶芽中内源激素(GA₃、IAA、ABA、ZT)含量的动态变化,同时统计成花率、成枝率和枝条伸长的程度,来探究 GA₃ 和 6-BA 对于苹果“大小年”现象的可能调控作用以及其对花芽分化的作用。以期为“富士”品种隔年结果现象的调节和苹果花芽分化的进一步研究奠定基础。

1 材料和方法

1.1 植物材料

试验于 2016 年 4~8 月在西北农林科技大学千阳苹果试验站进行,材料为 4 年生、长势一致、砧木为 M26 的“富士”果树树体。

1.2 试验药品和仪器

GA₃、IAA、ABA 和 ZT 标准品均购自 Sigma 公司,纯度为 99%。色谱甲醇为美国天地公司生产。乙酸乙酯、石油醚(沸点 30~60 ℃)、丙酮、冰乙酸和纯水均为国产分析纯。仪器:氮吹仪 MD200-2、超高效液相色谱 LC-30A(日本岛津,分析柱:Shim-pack XR-ODSⅢ(1.6 μm,2.0 mm I.D. * 75 mm),检测器:SPD-M30A)。

1.3 处理与采样

1.3.1 不同喷施次数 在 2016 年 4 月,选择生长势、负载量一致的“富士”130 棵,随机分成两组;(1)处理组包含:GA₃ 50 mg/mL、GA₃ 100 mg/mL、6-BA 50 mg/mL、6-BA 100 mg/mL(依据文献报道[13]、[15])四个小组。从 2016 年 5 月 1 日(花后 7 d)开始喷施第一次,标记为 1-10 号;5 月 21 日喷施第二次,标记为 11-20 号;6 月 6 日喷施第三次,标记 21-30 号。每个处理小组每次喷施 10 棵树,每次喷施时间间隔为 20 d,每小组 30 棵树。(2)对照组,清水,共 10 棵。

1.3.2 不同喷施时间 选择生长势、负载量一致的“富士”120 棵,随机分为 3 组,每组含 40 棵;其中,第一组喷施 75 mg/mL GA₃,第二组喷施 75 mg/mL 6-BA,第三组喷施清水作为对照。每组树体依次标记为 1~40 号,喷施处理时间为花后 1 个月(1~10 号)、2 个月(11~20 号)、3 个月(21~30 号)和 4 个月(31~40 号)。

1.3.3 采 样 在喷施激素 2 d 后,选取树体 0.8~2 m 之间的短枝和中长枝分别采取花芽 20 个,5 次重复,同时统计开花率及枝组比例。若处理或采样遇雨天,则提前或推后 1 d。采样完成后立即带回实验室液氮冷冻保存。

1.4 内源激素含量测定

1.4.1 标准溶液的制备 分别称取 GA₃、IAA、ABA 和 ZT 标准品各 0.1 g(精确到 0.01 g),配制 10 μg/mL 的标准标准贮备液,密封,于 -20 ℃ 储存。分别用甲醇稀释成 0、100、200、400、800、1000(ng/mL)的浓度梯度的标准溶液,进行 UPLC 分析,得出标准曲线。

1.4.2 GA₃、IAA 和 ABA 的提取与色谱条件 参照黄岛平等^[16]的方法,略有改动。称 0.3 g 样品于离心管,加入 20 mL 体积比为 70%的预冷丙酮溶液冷浸 12 h,在 4 ℃ 8 000 r/min 条件下离心 10 min,留上清液,以氮吹仪浓缩至少许残留后加入 30 mL 石油醚萃取,弃醚相留酯相,再加入 20 mL 乙酸乙酯萃取,留酯相,并将酯相放入氮吹仪浓缩至无残留,加入 1.5 mL 甲醇溶解,以 0.22 μm 滤器过滤后定容至进样瓶,4 ℃ 保存备用。色谱条件:流动相为甲醇:0.8% 冰乙酸=28:72,流速为 0.1 mL/min,柱温为 25 ℃,进样量为 3 μL。

1.4.3 ZT 提取分离与色谱条件 提取方法参照贾鹏禹等^[17]的方法略有改变。取 0.5 g 样品于离心管中,加入 5 mL 80%冷甲醇,浸提 12 h,12 000 r/min 离心 30 min,取上清于另一离心管中,并加入 3 mL 80%冷甲醇,浸提 6 h 后,在 12 000 r/min 离心 10 min,上清液以氮吹仪至无残留,然后用 1 mL 甲醇溶解,0.22 μm 滤器过滤,定容至进样瓶,待测。色谱条件:流动相为甲醇:0.6%冰乙酸、水溶液(35:60:5),流速为 0.1 mL/min,柱温为 25 ℃,进样量为 3 μL。

1.4.4 激素浓度的计算方法 待进行 UPLC 分析后,根据每一种激素的出峰面积结合标准曲线计算出该激素浓度。

1.5 成花率、成枝率及枝条长度的统计

2016 年秋季统计每组树体短枝和中长枝数量及长度,计算成枝率。2017 年果树盛花期统计每组树体成花率。

1.6 数据分析

使用 SPSS 17.0 软件进行数据统计分析,用 Excel 2007 绘图。

2 结果与分析

2.1 激素喷施次数和时期对不同类型枝条顶芽内源 GA₃ 含量的影响

如图 1,A 和 1,B 所示,随着 GA₃ 和 6-BA 喷施次数的增加,各处理组枝条顶芽中 GA₃ 含量的变化

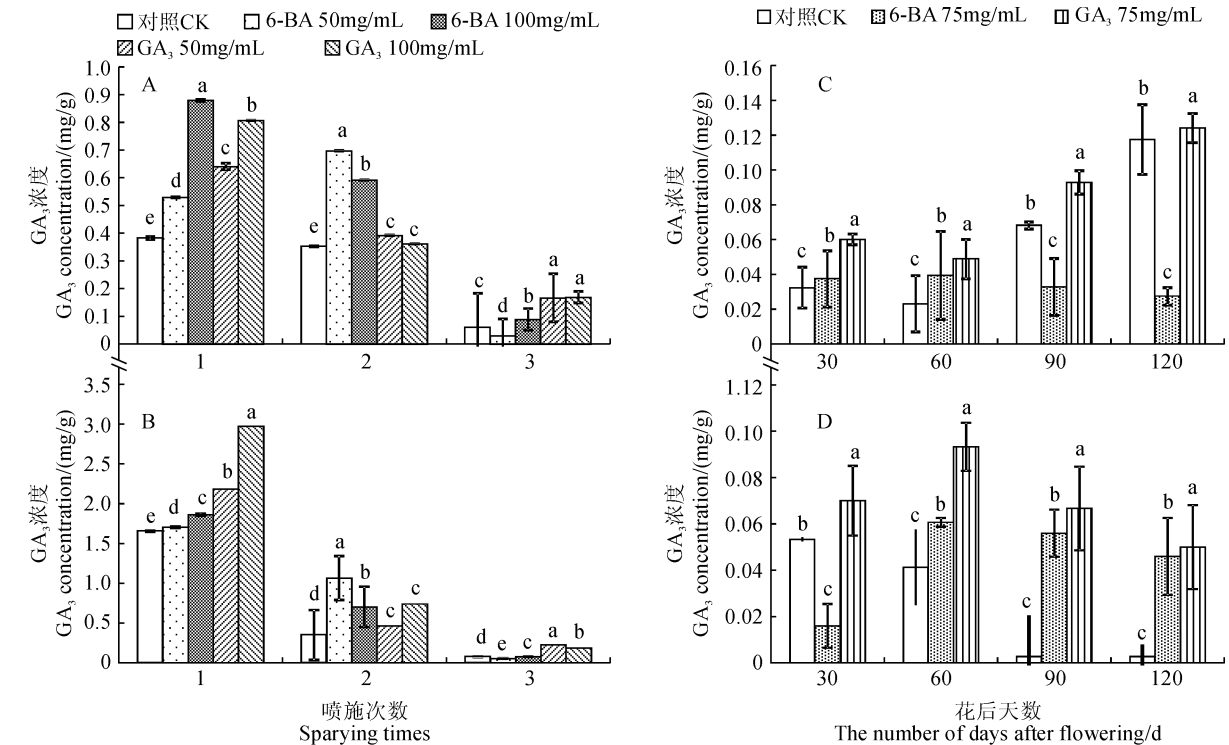
趋势与CK组基本保持一致,但是含量显著大于CK组($P<0.05$)。单次喷施后,不同处理组短枝顶芽中GA₃含量均较CK组增加,且GA₃处理增加的幅度更大,50和100 mg/mL GA₃处理分别比CK组增加了32.25%和44.38%。与单次喷施相似,多次喷施GA₃、6-BA(2次、3次)处理组短枝顶芽中GA₃含量也较CK组高,但是GA₃含量增幅与喷施次数变化呈相反趋势。同样,单次喷施GA₃和6-BA后,中长枝顶芽中GA₃含量显著高于CK组,50和100 mg/mL GA₃处理分别高于CK组67.54%和111.17%。多次喷施处理组含量也显著高于CK组,但增加幅度较单次喷施低。可见,不论在短枝还是中长枝中,GA₃和6-BA喷施次数与GA₃含量的增加幅度都呈反比关系。

在短枝中,随着“富士”发育时期的推进,GA₃和6-BA处理组顶芽中GA₃含量呈先上升后下降的趋势,而CK组GA₃含量呈一直降低的趋势(图1,C)。在整个观察时期,GA₃处理组含量始终显著高于对照组,而6-BA处理组在花后1个月时低于CK组,后期才增加至显著高于CK组的水平($P<$

0.05)。在中长枝中(图1,D),6-BA处理组顶芽GA₃含量呈在花后2个月内增加之后下降的趋势,且整体含量较对照组低;GA₃处理组顶芽中GA₃含量除在花后2个月略有降低外,整体增高,且含量始终高于CK组,之间差异显著($P<0.05$)。

2.2 激素喷施次数和时期对不同类型枝条顶芽内源 IAA 含量的影响

如图2,A所示,随着喷施次数的增加,GA₃和6-BA处理组短枝顶芽中内源IAA含量的变化趋势与CK组相同,都随着次数的增多含量逐渐增加,但处理组含量要显著小于CK组($P<0.05$)。单次喷施后,处理组短枝顶芽中IAA含量均较CK组小;多次喷施后,外源GA₃处理组顶芽中IAA含量仍较CK组小,但6-BA处理使得顶芽中IAA含量较CK组高。在中长枝中(图2,B),单次喷施GA₃和6-BA后,顶芽中IAA含量与CK组接近,无显著性关系($P<0.05$)。多次喷施后处理使顶芽IAA含量增加且显著高于CK组($P<0.05$)。综上,无论枝条的类型,顶芽中IAA的含量与激素的喷施次数成正比关系,即随着喷施次数的增加含量的积累增



相同次数或者相同时间内不同字母表示处理间差异达到 0.05 显著水平;下同

图1 不同 GA₃ 和 6-BA 喷施次数和时期下“富士”短枝(A,C)和中长枝(B,D)顶芽的内源 GA₃ 含量

Different normal letters within same spraying times or spraying stage indicates significant difference between treatments at 0.05 level; The same as below

Fig.1 The endogenous GA₃ concentration in flowering buds of short branches(A,C) and long branches (B,D) of “Fuji” spraying with GA₃ and 6-BA at different times and stages

多,但 IAA 含量增加的幅度随着激素种类和浓度的不同而有所差异。

由图 2,C 可知,在短枝顶芽中,6-BA 处理组在花后 3 个月内基本保持稳定,第 4 个月时急剧增加,达到峰值。GA₃ 处理组呈先下降后上升再降低的趋势,而 CK 组随着时间的变化略有降低,在花后 4 个月增加至峰值。花后 1 个月 GA₃ 处理组 IAA 含量与 CK 组基本相同,但 6-BA 处理组显著低于 CK 组。之后随着处理天数的增加,在花后 2 个月时 6-BA 处理组和 GA₃ 处理组 IAA 含量呈相反的变化趋势,其后两个处理组含量均显著高于 CK 组,直至观察末期,CK 增加至一个显著高于处理组的水平 ($P<0.05$)。与短枝顶芽激素含量变化不同,除 GA₃ 处理在花后 4 个月略有增加外,处理组和 CK 组 IAA 含量随着发育时期的增加呈整体减小的趋势(图 2,D),且两个处理组 IAA 含量在花后 1 个月和 2 个月时显著低于 CK 组,但各处理组之间并无显著相关关系 ($P<0.05$)。之后,随着观察天数的增加,处理组 IAA 含量积累显著大于 CK 组,且两处理组之间差异显著 ($P<0.05$)。

2.3 激素喷施次数和时期对不同类型枝条顶芽内源 ABA 含量的影响

随着喷施次数的增加,处理组短枝顶芽中 ABA

含量与 CK 组的变化类似,呈先减小后增加的趋势(图 3,A)。单次喷施后处理组短枝顶芽中 ABA 含量较 CK 组增加,且 6-BA 处理增幅较 GA₃ 大,50 和 100 mg/mL 6-BA 分别高于 CK 组 35.94% 和 63.10%;多次喷施后处理组顶芽中 ABA 含量整体显著低于 CK 组 ($P<0.05$)。在中长枝中,随着喷施次数的增加,处理组和 CK 组顶芽中 ABA 含量呈逐渐上升的趋势(图 3,B)。单次喷施后,处理组中顶芽中 ABA 含量与 CK 组差异显著,且同激素不同浓度和同浓度不同激素处理之间差异也十分显著;多次喷施后处理组 ABA 含量较 CK 组显著增加,且增加幅度与喷施次数呈正比 ($P<0.05$)。可见,不同喷施次数对顶芽中 ABA 含量均有明显的增加。

随着果树发育时期的推进,6-BA 处理组短枝顶芽中 ABA 含量与 CK 组变化趋势相同,先增加后减小,而 GA₃ 处理组 ABA 含量逐渐减小(图 3,C)。中长枝顶芽中(图 3,D),6-BA 处理对顶芽中 ABA 含量在整个观察时期都无明显的改变作用,而 GA₃ 处理组 ABA 的含量与 CK 组保持一致,呈逐渐增加的趋势,且在花后 4 个月时达到峰值。由此可知,外源激素的喷施对于不同类型枝条顶芽中 ABA 含量的积累整体呈促进作用。

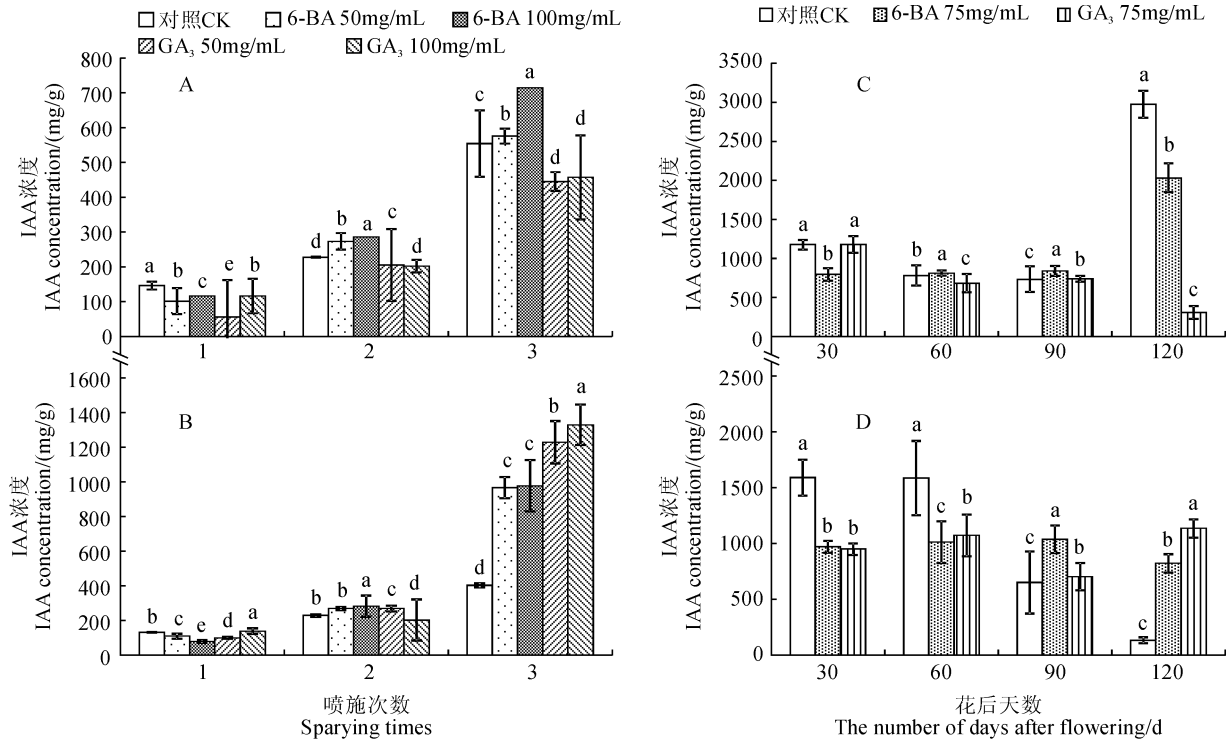


图 2 不同 GA₃ 和 6-BA 喷施次数和时期下“富士”短枝(A,C)和中长枝(B,D)顶芽的内源 IAA 含量

Fig. 2 The endogenous IAA concentration in flowering buds of short branches(A,C) and long branches (B,D) of “Fuji” spraying with GA₃ and 6-BA at different times and stages

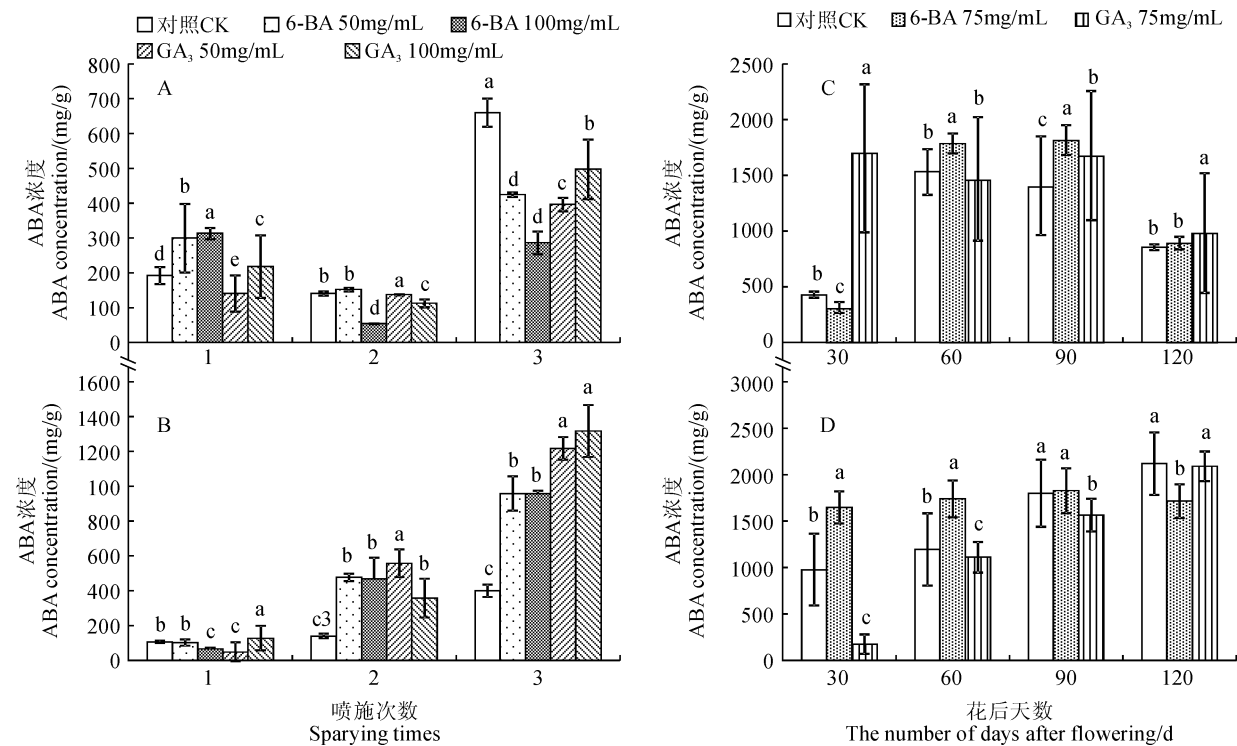


图 3 不同 GA₃ 和 6-BA 喷施次数和时期下“富士”(A,C)和中长枝(B,D)顶芽的内源 ABA 含量

Fig. 3 The endogenous ABA concentration in flowering buds of short branches(A,C) and long branches (B,D) of “Fuji” spraying with GA₃ and 6-BA at different times and stages

2.4 激素喷施次数和时期对不同类型枝条顶芽内源 ZT 含量的影响

随着喷施次数的增加,处理组短枝顶芽中 ZT 含量先减小后增加,CK 组与其变化趋势相同(图 4, A)。单次喷施后,处理组短枝顶芽中 ZT 含量显著高于 CK 组,且 GA₃ 处理组增幅更大,分别高于对照组 30.60%和 81.55%;多次喷施后,短枝顶芽 ZT 含量均不同程度显著高于 CK 组($P<0.05$)。随着喷施次数的增加,GA₃ 和 6-BA 处理组中长枝顶芽 ZT 含量变化趋势与短枝相同(图 4, B)。单次喷施后,高浓度使 ZT 含量增加而低浓度使之减小。GA₃ 处理组表现与 6-BA 处理组相反,高浓度使 ZT 含量降低,低浓度使之增加。多次喷施后,除 2 次喷施中 50 mg/mL GA₃ 处理组略高于 CK 组外,其余处理组顶芽中 ZT 含量整体显著小于 CK 组($P<0.05$)。

处理组短枝顶芽中 ZT 含量在花后 2 个月内显著高于 CK 组,之后则表现相反,显著低于 CK 组($P<0.05$)。在中长枝顶芽中(图 4, D),随着树体的发育,GA₃ 处理组顶芽中 ZT 含量先降低最后增加,CK 组变化趋势与之相反。6-BA 处理组在花后 3 个月内基本无变化,观察末期,有所增加,但始终低

于 CK 组。由此可知,在同一发育时期,同处理的 ZT 在短枝顶芽中的含量要明显低于中长枝。

2.5 激素喷施次数和时期对不同类型枝条成花率、成枝率及枝条长度的影响

2.5.1 成花率 随着喷施次数的增加,处理组短枝顶芽的成花率均不同程度地低于 CK 组(图 5, A)。单次喷施 GA₃ 和 6-BA 后,短枝顶芽成花率均不同程度的减小,且外源 GA₃ 处理的减幅更大;多次喷施后,GA₃ 处理组短枝顶芽的成花率接近 30%,相比 CK 组降低了 54%。随着激素喷施次数的增加,中长枝顶芽的成花率逐渐增加(图 5, B)。单次喷施后,GA₃ 处理组中长枝顶芽成花率分别比 CK 组减小了 19.71%和 28.81%。多次喷施后 GA₃ 处理组的减幅依旧大于外源 6-BA 处理,GA₃ 处理的成花率接近 40%,而 6-BA 处理组成花率高于 50%,但显著低于 CK 组($P<0.05$)。可见,在相同喷施次数下同一处理下短枝中成花率要高于中长枝。

随着果树的发育,GA₃ 处理组短枝顶芽的成花率逐渐减小,比率始终低于 CK 组;6-BA 处理呈减小增加的波动变化趋势,且比率始终高于 CK 组;而 CK 组在花后 2 个月内基本无变化,之后略有降低再增加(图 5, C)。中长枝顶芽的成花率在外源激素

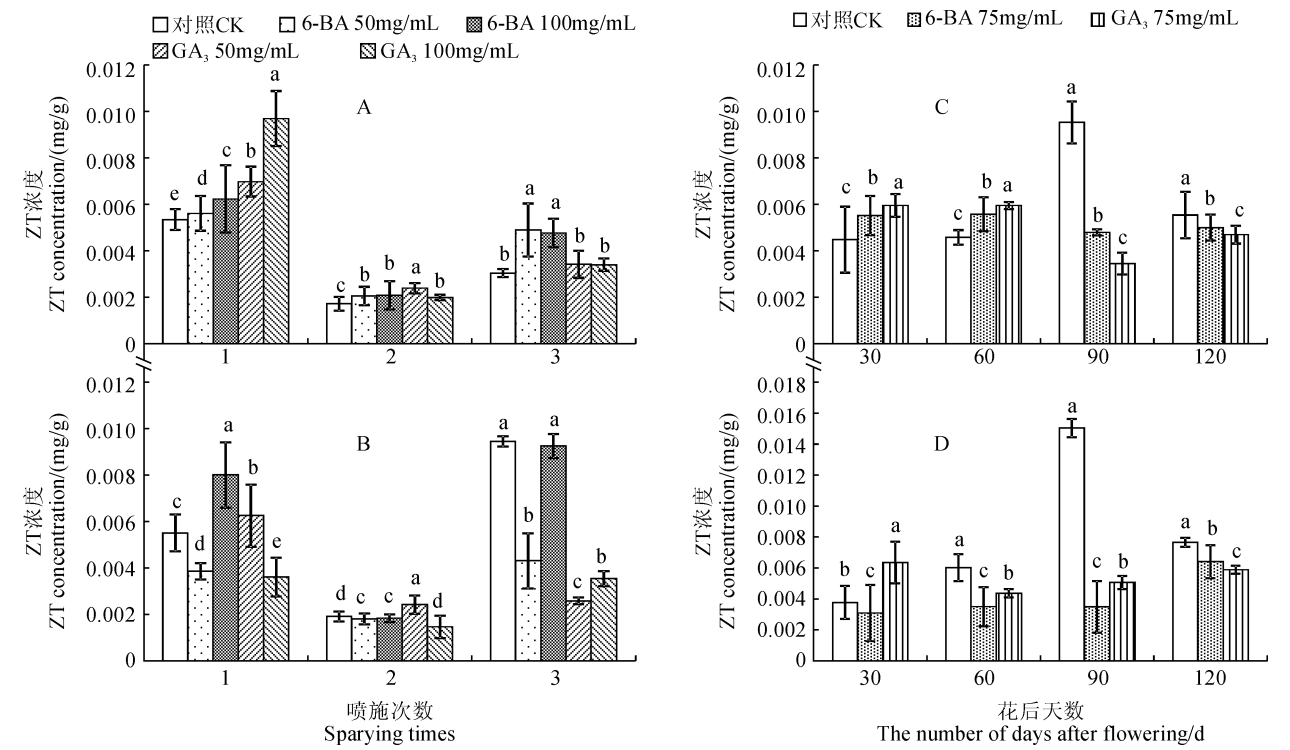


图 4 不同 6-BA 和 GA₃ 喷施次数和时期下“富士”短枝(A,C)和中长枝(B,D)顶芽的内源 ZT 含量

Fig. 4 The endogenous ZT concentration in flowering buds of short branches(A,C) and long branches (B,D) of “Fuji” spraying with GA₃ and 6-BA at different times and stages

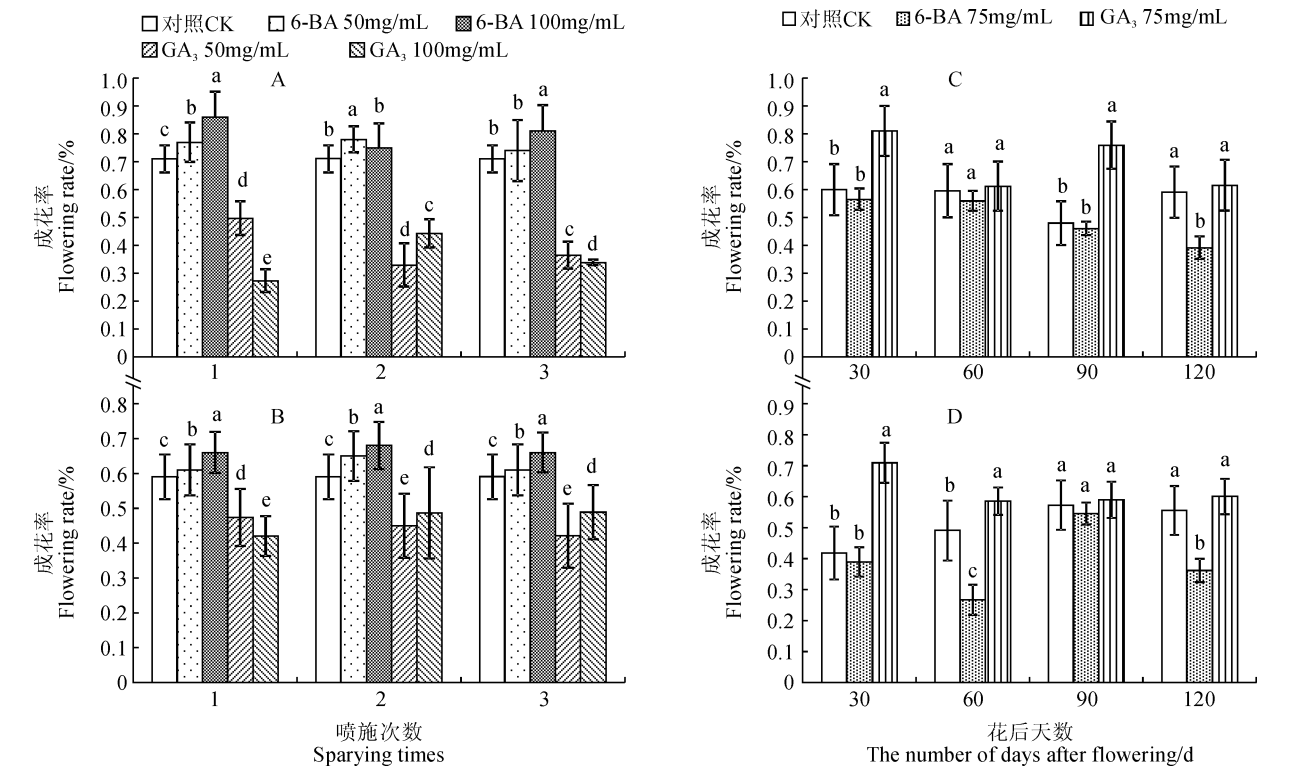


图 5 不同 GA₃ 和 6-BA 喷施次数和时期下“富士”树体短枝(A,C)和中长枝(B,D)的成花率

Fig. 5 The flowering rate of short branches(A,C) and long branches(B,D) of “Fuji” tree spraying with GA₃ and 6-BA at different times and stages

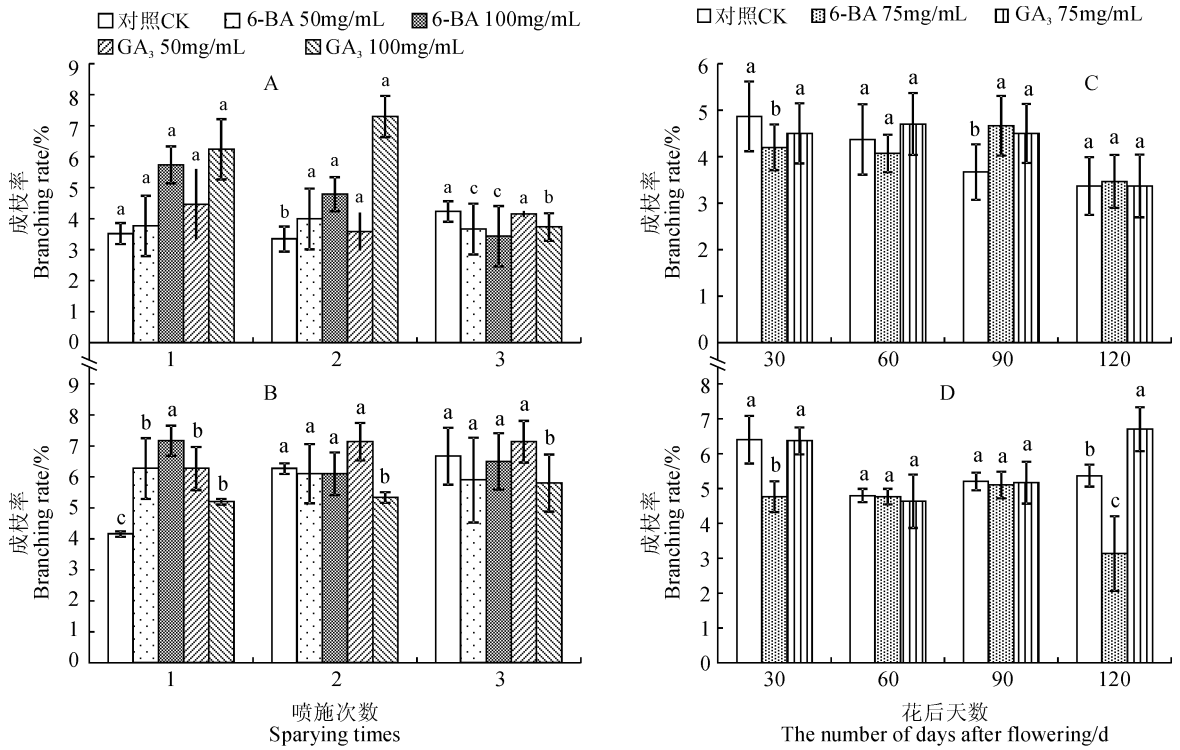


图 6 不同 GA₃ 和 6-BA 喷施次数和时期下“富士”树体短枝(A、C)和中长枝(B、D)的成枝率

Fig. 6 The branching rate of short branches(A,C) and long branches(B,D) of “Fuji” tree spraying with GA₃ and 6-BA at different times and stages

处理下的表现与短枝不同(图 5,D),GA₃ 处理组成花率先呈抑制后促进最后抑制的趋势,其成花率始终显著低于 CK 组($P<0.05$);6-BA 处理组随树体发育的推进,呈抑制成花率的作用,其成花率在花后 3 个月内高于 CK 组,观察末期降低至低于 CK 组的水平。可见,短枝成花率在同一发育时期高于中长枝,并且外源激素对于不同类型的枝条上成花率的作用不同。

2.5.2 成枝率 如图所示 6,A,随着喷施次数的增加,外施激素对于短枝成枝率的影响整体呈现先促进然后抑制的作用。单次喷施后,处理组中的成枝率整体高于 CK 组,且 100 mg/mL 的 GA₃ 对成枝率的促进作用最显著短枝数占总体枝数的比例达 6.5%以上;2 次喷施后,除 100 mg/mL GA₃ 显著高于单次处理外,其余均无明显变化,但 3 次喷施处理均不同程度地抑制了短枝的形成,即成枝率降低,且整体显著小于对照组($P<0.05$)。随着喷施次数的增加,外源激素对于中长枝成枝率的作用不同于短枝(图 6,B)。单次喷施后,处理组中的成枝率均要不同程度的高于 CK 组;多次喷施处理组的成枝率逐渐减小并在观察末期整体小于 CK 组。综上所述,在相同激素、喷施次数处理下中长枝的成枝率要高于短枝,并且外施激素对不同类型枝条的作用效

果相同。

如图 6,C 所示,随着发育时期的推进,GA₃ 处理组的短枝成枝率在花后 2 个月内基本无变化,之后略有增加再迅速减小,其值在花后 1 个月内显著低于 CK 组,之后与 CK 组无显著差异($P<0.05$);6-BA 处理组表现出在花后三个月内略有上升的趋势,而之后迅速降低,其值与 CK 组无显著差异($P<0.05$)。在中长枝中(图 6,D),GA₃ 处理组在花后三个月内无明显变化,之后迅速减小,且其值始终显著低于 CK 组($P<0.05$);6-BA 处理组的成枝率呈先减小后增加的趋势,其值在花后三个月内与 CK 组无显著差异,之后显著高于 CK 组($P<0.05$)。

2.5.3 枝条长度 在短枝中(图 7,A),无论喷施次数多少,处理组枝条长度均要低于 CK 组,但每个处理之间差异不显著($P<0.05$)。在中长枝中(图 7,B),单次喷施后,GA₃ 处理组与 CK 组间无显著差异($P<0.05$);6-BA 处理组促进枝条伸长,分别高于 CK 组 72.01%和 19.76%;多次喷施后,处理组枝条长度减小并与 CK 组接近。如图 7,C 所示,随着果树生育期的变化,GA₃ 处理对于短枝枝条长度无明显作用;而 6-BA 处理使枝条长度减小并显著小于 CK 组($P<0.05$)。在中长枝中(图 7,D),GA₃ 处理组与 CK 组无显著差异;6-BA 处理组显著高于

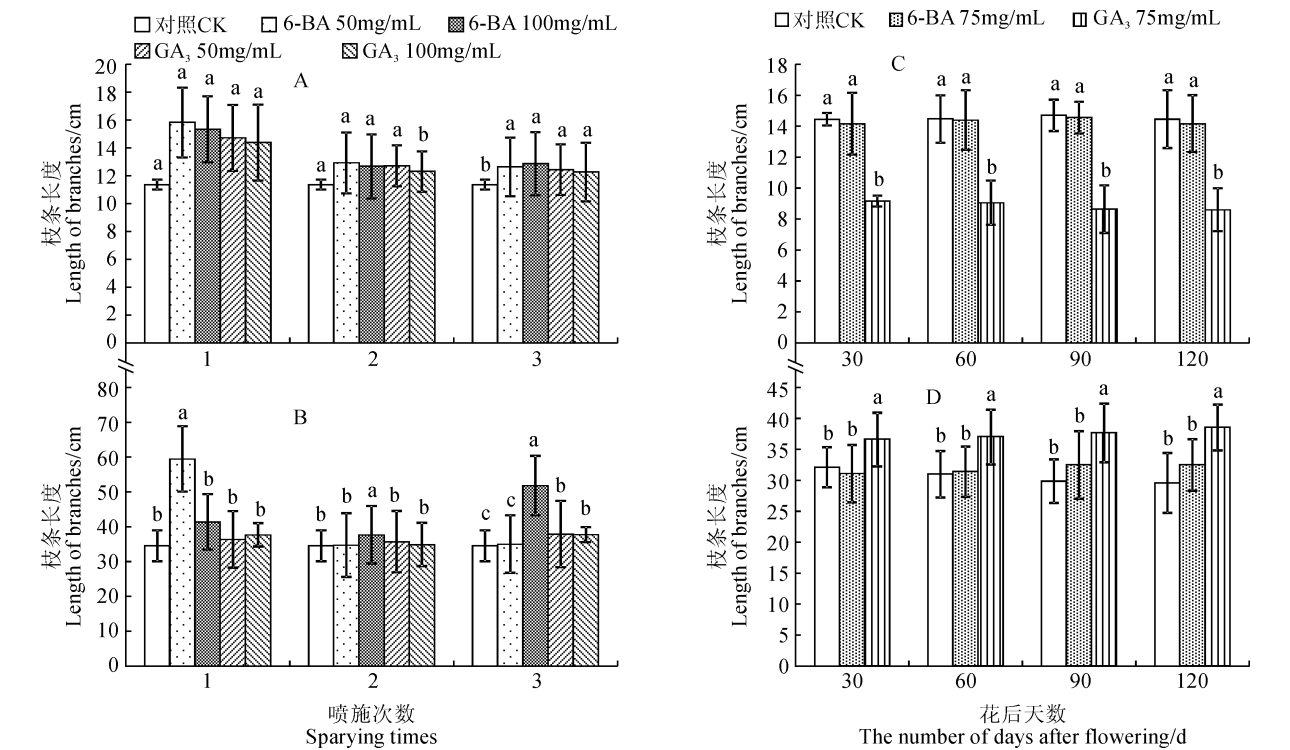


图 7 不同 GA₃ 和 6-BA 喷施次数和时期下“富士”树体短枝(A、C)和中长枝(B、D)的枝条长度
Fig. 7 The branch length of short branches(A、C) and long branches(B、D) of “Fuji” tree spraying GA₃ and 6-BA with different times and stages

CK 组($P<0.05$)。可见,GA₃ 和 6-BA 对于不同类型枝条的伸长有抑制的作用。

3 讨 论

多项研究表明植物成花受内源激素调控^[18-20],而内源激素水平可以通过外源激素的使用来调节。魏钰等^[21]研究发现:外源 GA₃ 和 6-BA 作用于郁金香鳞茎可导致内源 GA₃ 和 IAA 的含量明显升高,说明外施 GA₃ 和 6-BA 可影响内源 IAA 和 GA₃ 等激素水平。在柑桔的生理分化前喷施 6-BA 显著促进了内源 GA₃ 与 ZR 的积累而明显抑制了 ABA 的合成^[22]。高红兵等人^[23]研究发现樱桃苗组培中 6-BA 的使用使得内源 IAA 和 ZR 含量增加,GA₃ 和 CTK 含量下降。在本研究中,喷施外源 GA₃ 和 6-BA 对苹果顶芽中内源激素(GA₃、IAA、ABA、ZT)含量有明显的调控作用。主要表现在:内源 GA₃ 整体增加、IAA 呈增加趋势、ABA 含量整体逐渐增加而 ZT 总体呈减小趋势。此外,还有研究报道外施 6-BA 会对植物体内 CTK 水平产生影响^[24],但在“富士”苹果中是否有变化,还有待进一步研究。

植物激素对成花有着至关重要的作用^[25-28]。多项研究证实外施 GA₃ 对大部分果树成花均有显著的抑制作用^[29-30],例如在枣、荔枝、苹果、芒果等

树种的花芽分化期间,GA₃ 都发挥了显著的抑制作用^[31-32]。有研究表明:GA₃ 可通过促进营养梢的伸长来影响果树花芽分化,从而促进枝条的营养生长,抑制其生殖生长^[33]。IAA 对于植物成花的作用众说纷纭,有学者认为生长素可以促进成花,但 Owens^[34]的试验表明生长素抑制剂的使用可促进成花,Lewis 也认为生长素不能促花。然而关于生长素在花芽分化中的作用机理,人们更倾向于认为它的存在可能与营养的输入有关。ABA 对成花作用的研究目前还不完善,Rakngan 认为 ABA 可促进成花,而 Hoad 则认为其在成花中起负调节作用。在对“苹果梨”的研究中发现,在生理分化期间,低浓度的 ABA 有利于花芽分化,而高水平的 ABA 含量有利于形态学分化,针对不同植物探索有效的浓度阈值并调节 ABA 至适宜浓度对其调控花芽分化具有重要意义^[35]。ZT 属于细胞分裂素的一种,在苹果、梨的生理分化期、花蕾分化期、花萼分化期都需要大量的细胞分裂素去促进花原基的形成和发育。研究表明高水平的细胞分裂素有利于花芽分化,而低浓度的细胞分裂素则不利于花芽分化。但也有研究表明,喷施细胞分裂素吡效隆会抑制苹果的花芽分化过程。在花芽分化期中,大多数的学者认为细胞分裂素有促进作用。在本研究中不同发育时期

(花后 1、2、3、4 个月)喷施 GA_3 , 对不同类型枝条顶芽的成花均存在抑制作用, 且抑制作用和施用时期的早晚呈正相关关系。这是由于喷施外源 GA_3 可促进内源 GA_3 含量的迅速增加, 从而强烈的抑制了成花, 这与前人的研究成果一致, 同时, GA_3 也会影响内源 IAA、ABA、ZT 含量的变化, 进一步加强对成花的抑制作用。6-BA 作为第一代人工合成的细胞分裂素, 其对果树成花发育有不同程度的促进效果^[36], 也被证实可用于促进果树花芽形成^[37]。在本研究中, 对“富士”使用外源 6-BA 可对果树的短枝成花产生显著的促进作用 ($P<0.05$), 这是因为外源 6-BA 的使用调节了顶芽中内源激素水平, 促进短枝顶芽中 GA_3 、IAA 的积累。本研究结果显示连续多次喷施 6-AB 对于枝条的成花率有着明显的抑制作用, 但曾有试验表明了连续喷施 5 次 50 mg/L 和 2 000 mg/L 的 6-BA 可以增加“Baldwin”苹果复花率^[38], 这与本研究的结论相悖, 可能是因为随着喷施次数的增加, 反转了 6-BA 对于成花的作用, 并且 6-BA 的浓度对成花有重要的影响, 浓度较小时对成花具有抑制作用, 当浓度增加到一个界限时, 6-BA 对于成花的作用会从抑制转变为促进, 而这个浓度值目前尚未明确, 需要进一步的研究。

果树的萌芽成枝也与内源激素的变化有着密切的关系。曾有报道显示 6-BA 和 GA_3 均可促进油茶穗条的营养生长, 但其效果随着激素浓度的升高而减小^[39]。本研究的结果与其相似, 在“富士”树体上使用外源 GA_3 和 6-BA 整体上促进了枝条成枝

率。潘根生等人^[40]的研究表明经过外源 GA_3 处理后, 茶树新梢内源 ABA 含量下降, GA_3 和 ZT 含量增加, ABA/ GA_3 比值减小。研究认为 GA_3 有利于 ZT 的生物合成, 从而加速新梢生长。在本试验中, 喷施外源 GA_3 对 ZT 的合成也有促进作用, 但效果并不显著。内源激素突然急速的变化是成枝率提高的内在诱因, 而在本试验中内源 GA_3 的增加和 ABA 含量的减小也是导致成枝率改变的一个原因, 这与牛自勉等^[41-42]的研究一致。本试验还发现 6-BA 的使用对成枝率有显著的促进作用, 这与姚春潮等^[43]的研究结果一致, 经 6-BA 处理后, 枝条伸长受到抑制并不是因为节间数减少, 而是因为节间变短造成的。

综上所述, 不同喷施次数时, 外源激素对于不同类型枝条顶芽中内源激素的调节有着不同的作用, 但 GA_3 和 6-BA 始终抑制枝条成花, 与枝条类型无关; GA_3 和 6-BA 在单次喷施时都会促进枝条的成枝率, 而随着喷施次数的增加成枝率呈降低趋势; GA_3 和 6-BA 抑制短枝的伸长, 但是随着喷施次数的增加, 二者对于中长枝的伸长也表现出抑制作用。对于不同时期喷施外源激素, GA_3 处理对枝条的成花率、成枝率有明显抑制作用, 而对枝条的伸长无明显作用; 6-BA 在生理分化期前对成花、成枝以及枝条伸长起到了促进作用。所以, 若是在生产实践中使用外源激素来进行疏花疏果, 可以选择 GA_3 , 其抑制成花的效果明显, 且随着喷施次数和浓度的增加, 抑制作用也更加显著。

参考文献:

[1] 翟衡, 史大川, 束怀瑞. 我国苹果产业发展现状与趋势[J]. 果树学报, 2007, 24(3): 355-360.
ZHAI H, SHI D C, SHU H R. History of the mountains the status and development trend of apple industry in China[J]. *Journal of Fruit Science*, 2007, 24(3): 355-360.

[2] 尚志华, 魏钦平, 孙丽珠, 等. 乔砧“富士”苹果改良高干开心形树冠郁闭的评判参数[J]. 中国农业科学, 2010, 43(1): 132-139.
SHANG Z H, WEI Q P, SUN L Z, et al. Joe “Fuji” Apple modified high anvil shaped canopy happy evaluation parameters [J]. *Scientia Agriculture Sinica*, 2010, 43(1): 132-139.

[3] 李慧峰, 吕德国, 秦嗣军, 等. 我国苹果产业发展及其可持续发展对策[J]. 沈阳农业大学学报(社会科学版) 2005, 7(2): 203-204.
LI H F, LV D G, QIN S J, et al. The current situation of apple industry in China and the countermeasures for sustainable development[J]. *Journal of Shenyang Agricultural Unversity: Social Science Edition*, 2005, 7(2): 203-204.

[4] KOUTINAS N, PEPELYANKOV G, LICHEV V. Flower induction and flower bud development in apple and sweet cherry [J]. *Biotechnology&Biotechnological Equipment*, 2010, 24(1): 1549-1558.

[5] 李天红, 黄卫东, 孟昭清. 苹果花芽孕育机理的探讨[J]. 植物生理学报, 1996, 22(3): 251- 257.
LI T H, HUANG W D, MENG Z H. Discussion on the mechanism of flower bud inoculation in apple [J]. *Plant Physiology Journal*, 1996, 22(3): 251- 257.

[6] BANGERTEH P K. Can regulatory mechanism in growth and development be elucidated through the study of endogenous hormone concentration [J]. *Acta Gort*, 1989, 463: 77-78

[7] 刘丙花, 姜远茂, 彭福田, 等. 花期喷激素对红灯樱桃坐果率的影响[J]. 落叶果树, 2007, 2: 10-11.
LIU B H, JIANG M Y, PENG F T, et al. Effect of blooming

- hormone on fruit setting rate of red cherry [J]. *Deciduous Fruit*, 2007, 02: 10-11.
- [8] 杨文莉,周伟权,赵世荣,等. GA₃ 对轮台白杏坐果及果实品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2017, 4: 597-604.
YANG W L, ZHOU W Q, ZHAO S R, *et al.* Effects of GA₃ on fruit setting and fruit quality of Luntai white apricot [J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*, 2017, 4: 597-604.
- [9] 王中原,朱学俭,张永祥. 赤霉素、2,4-D 对金水一号梨推迟物候期、提高座果率的试验[J]. 落叶果树, 1990, 2: 29.
WANG Z Y, ZHU X J, ZHANG Y X. Tests of gibberellins 2,4-D on delaying phenology and increasing fruit setting reat of Jinshui No. 1 pear[J]. *Deciduous Fruit*, 1990, 2: 29.
- [10] 陈 梅,李培旺,蒋丽娟. 外源激素对蓖麻营养生长及花芽分化的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2011, 7: 86-90-114.
CHEN M, LEI P W, JIANG L J. Effects of exogenous hormones on vegetative growth and flower bud differentiation of castor [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2011, 7: 86-90-114.
- [11] SUN D, ZHANG H. Voltammetric determination of 6-benzylaminopurine (6-BAP) using an acetylene black-dihexadecyl hydrogen phosphate composite film coated glassy carbon electrode[J]. *An al Chim Acta*, 2006, 557, 64-9.
- [12] OHASHI F, UEDA S, TAGURI T, *et al.* Antimicrobial activity and their most ability of silver 6-benzylaminopurine montmorillonite[J]. *Appl Clay Sci*, 2009, 46, 296-9.
- [13] 钱 桦,刘 燕,郑勇平,等. 施用 6-BA 对春石斛花芽分化及内源激素的影响[J]. 北京林业大学学报, 2009, 6: 27-31.
QIAN Y, LIU Y, ZHENG Y P, *et al.* Application of 6-BA effect on Dendrobium flower bud differentiation and endogenous hormones [J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2009, 6: 27-31.
- [14] 里程辉,刘 志,王宏,等. 不同化学疏花剂对岳帅苹果疏花疏果及果实品质的影响[J]. 江苏农业科学, 2014, 11: 180-182.
LI C H, LIU Z, WANG H, *et al.* The effects of additives on different chemical thinning Yueshuai Apple thinning and fruit quality [J]. *JiangSu Agricultural Sciences*, 2014, 11: 180-182.
- [15] 赵 莉,潘远智,朱 娟. GA₃、IBA 和 6-BA 对香水百合开花特性及内源激素的影响[J]. 湖北农业科学, 2012, 51(7): 1 385-1 389.
ZHAO L, PAN Y Z, ZHU A. Effects of GA₃, IBA and 6-BA on flowering characteristics and Endogenous hormones of Perfume Lily [J]. *HuBei Agricultural Science*: 2012, 51(7): 1 385-1 389.
- [16] 黄岛平,徐 慧,蒋艳芳. 超高效液相色谱法测定广西蜜梨花芽中 4 种植物激素[J]. 大众科技, 2011, (10): 184-185+195.
HUANG D P, XU H, JIANG Y F. Determination of 4 plant hormones in flower bud of Guangxi honey pear by ultra high performance liquid chromatography [J]. *Popular science & technology*, 2011, (10): 184-185+195.
- [17] 贾鹏禹,曾明飞,冯乃杰,等. 在线固相萃取-高效液相色谱-串联质谱法同时检测大豆不同部位的 4 种植物激素[J]. 分析化学, 2014, 42(12): 1 743-1 749.
JIA P Y, ZENG M F, FENG N J, *et al.* Online solid-phase extraction, high performance liquid chromatography tandem mass spectrometry simultaneous detection of 4 plant hormones in different parts of soybean[J]. *Analysis Chemistry*, 2014, 42(12): 1 743-1 749.
- [18] 曹尚银,汤一卒,张俊昌. GA₃ 和 PP333 对苹果花芽形态建成及其内源激素比例变化的影响[J]. 果树学报, 2001, 6: 313-316.
CAO S Y, TANG Y C, ZHANG J C. GA₃ and PP₃₃₃ on apple flower bud morphogenesis and the changes of endogenous hormone ratio [J]. *Journal of Fruit Science*, 2001, 6: 313-316.
- [19] 杜 研,李建贵,侍 瑞,等. BA、GA₃ 和 IAA 对“富士”苹果果形形成的影响 [J]. 植物生理学报, 2013, 9: 895-901.
DU Y, LI J G, SHI R, *et al.* BA, GA₃ and IAA on the formation of fruit shape of “Fuji” apple [J]. *Plant Physiology Journal*, 2013, 9: 895-901.
- [20] 吴 俊,钟家煌,徐 凯,等. 外源 GA₃ 对藤稔葡萄果实生长发育及内源激素水平的影响 [J]. 果树学报, 2001, 4: 209-212.
WU J, ZHONG J H, XU K, *et al.* Effects of exogenous GA₃ on growth and endogenous hormone levels of Fujiminori grape fruit [J]. *Journal of Fruit Science*, 2001, 4: 209-212.
- [21] 魏钰,张辉,孟昕,等. 外源 GA₃ 和 6-BA 对郁金香鳞茎内 3 种激素含量变化的影响[J]. 植物生理学报, 2013, 49(2): 161-166.
WEI Y, ZHANG H, MENG X, *et al.* Effects of exogenous GA₃ and 6-BA on the contents of three hormones in tulip bulb [J]. *Acta Gort.* 2013, 49(2): 161-166.
- [22] 李学柱,邓 烈. 喷布 BA 对柑桔内源激素及花芽分化的调控[J]. 园艺学报, 1992, (4): 314-318.
LI X Z, DENG L. BA regulation of endogenous hormones and flower bud differentiation in citrus [J]. *Acta Horticulturae Sinica*, 1992, (4): 314-318.
- [23] 高红兵,王朋飞,刁绍启,等. 6-BA 对酸樱桃组培苗 4 种内源激素质量分数动态变化的影响[J]. 东北林业大学学报, 2007, (7): 46-48.
GAO H B, WANG P F, DIAO S Q, *et al.* Effect of 6-BA on dynamic changes of four 4 endogenous hormones in tissue culture seedlings of sour cherry [J]. *Journal of Northeast Forestry University*. 2007, (7): 46-48.
- [24] 王云莉,王成荣,王 然,等. 细胞分裂素类生长调节剂对青花菜采后衰老的影响[J]. 园艺学报, 2009, 36(11): 1 619-1 626.
WANG Y L, WANG C R, WANG R, *et al.* Effects of cytokinin growth regulators on postharvest senescence of broccoli [J]. *Acta Horticulturae Sinica*. 2009, 36(11): 1 619-1 626.
- [25] 邱学思,刘国成,吕德国,等杏花芽分化期叶片内源激素含量

的变化[J]. 安徽农业科学, 2006, **34**(9): 1 798-1 800.

QIU X S, LIU G C, LV D G, *et al.* Changes of endogenous hormones in leaves of apricot during flower bud differentiation [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2006, **34**(9): 1 798-1 800.

[26] 苏明华, 刘志成, 庄伊美. 椭圆龙眼结果母枝内源激素含量变化对花芽分化的影响[J]. 热带作物学报, 1998, (2): 66-77.

SU M H, LIU Z C, ZHUANG Y M. The changes of maternal branch elliptic longan endogenous hormone content influence on flower bud differentiation [J]. *Chinese Journal of Tropical Crops*, 1998, (2): 66-77.

[27] 曹尚银, 张俊昌, 江爱华, 等. 苹果花芽孕育调控的最佳时期的研究[J]. 中国果树, 2000, (1): 14-17.

CAO S Y, ZHANG J C, JIANG A H, *et al.* Study on the optimum period of flower bud regulation in Apple [J]. *Chinese Fruit*, 2000, (1): 14-17.

[28] 李秉真, 孙庆林, 张建华, 等. ‘苹果梨’花芽分化期叶片激素及核酸含量变化[J]. 园艺学报, 1999, **26**(3): 188-190.

LI B Z, SUN Q L, ZHANG J H, *et al.* Changes of leaf hormones and nucleic acid contents during flower bud differentiation of “apple pear” [J]. *Acta Horticulture Sinica*, 1999, **26**(3): 188-190.

[29] TROMP J. Flower-bud formation in pome fruits as affected by fruit thinning [J]. *Plant Growth Regul*, 1998, 31, 27-34.

[30] SOUTHWICK S M, FRITTS R. Commercial chemical thinning of stone fruit in California by gibberellins to reduce flowering [J]. *Acta Horti*, 2001, 394, 135-147.

[31] 王学军, 郝宝锋. 赤霉素对枣树花芽分化和采前落果的影响 [J]. 河北果树, 2005, **13**(1): 13.

WANG X J, HAO B F. Effects of gibberellin on flower bud differentiation and pre-harvest fruit drop of jujube [J]. *He-Bei Fruit*, 2005, **13**(1): 13.

[32] 吴志祥, 周兆德, 陶忠良, 等. 妃子笑与鹅蛋荔枝花芽分化期间内源激素的变化[J]. 热带作物学报, 2005, **26**(4): 42-45.

WU Z X, ZHOU Z D, TAO Z L, *et al.* Changes of ehormones during flower bud differentiation between Feizixiao and Goose Egg Litchi [J]. *Journal of Tropical crops*. 2005, **26**(4): 42-45.

[33] CLINE MG. The role of hormones in apical dominance; New approaches to an old problem in plant development [J]. *Physiol Plant*, 1994, 90: 230-237.

[34] OWENS J N. Flowering and seed set. In: A. S. Rahavenmendra (ed.) [M]. *Physiology of trees*. Wiley: New York, 1991: 247-271.

[35] 李秉真, 孙庆林, 张建华, 等. 苹果梨花芽分化期内源激素含量的变化(简报) [J]. 植物生理学通讯, 2000, (1): 27-29.

LI B Z, SUN Q G, ZANG J H, *et al.* Changes of endogenous hormones in apple pear during flower bud differentiation (brief) [J]. *Plant Physiology*, 2000, (1): 27-29.

[36] HOAD G V. Hormonal regulation of fruit-bud formation in fruit trees [J]. *Flower Fruit Set Fruit Trees*, 1984, 149: 13-24.

[37] KRASNIQI A L, DAMEROW L, KUNZ A, BLANKE M M. Quantifying key parameters as elicitors for alternate fruit bearing in cv. ‘Elstar’ apple trees [J]. *Plant Sci*, 2007, 212: 10-14.

[38] MCLAUGHLIN J M, GREENE D W. Fruit and hormones influence on flowering of apple. I. Effect of cultivar [J]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1991, **116**(3): 446-449.

[39] 陈国臣, 曾雯珺, 金颐熙, 等. 6-BA 和赤霉素对油茶穗条生长发育及内源激素的影响 [J]. 广西林业科学, 2014, **43**(1): 5-9.

CHEN G C, ZENG W J, JIN Y X, *et al.* Effects of 6-BA and gibberellin on growth and Endogenous hormones of Camellia oleifera [J]. *GuangXi Forestry Science*: 2014, **43**(1): 5-9.

[40] 潘根生, 钱利生, 吴伯千, 等. 茶树新梢生育的内源激素水平及其调控机理(第四报) 外源激素对茶树内源激素的影响及其与新梢生长的关系 [J]. 茶叶, 2001, (2): 25-29.

PAN G S, QIAN L S, WU B Q, *et al.* The effects of exogenous hormones on the growth of new shoots of tea plants and the relationship between endogenous hormones and shoot growth [J]. *Journal of Tea*, 2001, (2): 25-29.

[41] 牛自勉, 李 全, 部晓梦. 苹果短枝形品种树形结构对果实质量的影响 [J]. 山西果树, 1994, (2): 4-5.

NIU Z M, LI Q, BU X M. Effects of Apple spur type varieties of tree structure on fruit quality [J]. *Shanxi Fruits*, 1994, (2): 4-5.

[42] 牛自勉, 房姐仁, 许月明. 包膜对越冬期苹果枝条脱落酸和赤霉素含量变化的影响 [J]. 华北农学报, 1993, **8**(3): 38-43.

NIU Z M, FANG J R, XU Y M. Effects of abscisic acid and gibberellin change Capsule on the content of winter apple branches [J]. *Acta Agricultural Boreali-Sinica*, 1993, **8**(3): 38-43.

[43] 姚春潮, 王西芳, 张有平. BA 不同浓度和喷布次数对新红星一年生苗木侧枝形成的影响 [J]. 西北农业学报, 1998, (3): 82-84.

YAO CC, WANG XF, ZHANG YP. Effects of different concentration of BA and times of spraying on lateral branch formation of annual seedlings of Xinghongxing [J]. *Acta Agriculture Boreal-occidentalis Sinica*, 1998, 3: 82-84.

(编辑: 裴阿卫)