

雷竹花芽形态分化过程中内源激素的变化规律

鲁亚婷, 袁晓亮, 林新春, 方 伟

(浙江农林大学 亚热带森林培育国家重点实验室培育基地, 浙江 临安 311300)

摘要: 采用间接酶联免疫吸附分析法(ELISA)测定了雷竹 *Phyllostachys violascens* 花芽形态分化过程中的内源激素变化规律。结果表明: 随着花芽形态分化程度的增加, 吲哚乙酸(IAA)和异戊烯基腺苷(iPA)质量摩尔浓度表现为先迅速下降后又逐步回升到一稳定值; 脱落酸(ABA)与赤霉素(GA)质量分数有一定波动, 但大体上表现为先上升再下降再上升的趋势; ABA/IAA, GA/IAA 和 iPA/IAA 均表现为先上升后下降的趋势, 而且峰值均出现在花芽长度为 12~14 mm 的时期。此外, 开花植株的 iPA 和 ABA 水平, ABA/IAA 和 iPA/IAA 基本上高于未开花植株, 而 IAA 和 GA 水平低于未开花植株, 表明上述内源激素水平及比值对雷竹花芽形态分化有相应的促进与抑制作用。图 6 参 15

关键词: 植物学; 雷竹; 内源激素; 花芽形态分化; 花芽长度

中图分类号: S718.3; Q945.4 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2012)02-0161-05

Endogenous hormone changes during floral bud morphological differentiation of *Phyllostachys violascens*

LU Ya-ting, YUAN Xiao-liang, LIN Xin-chun, FANG Wei

(The Nurturing Station for the State Key Laboratory of Subtropical Silviculture, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Endogenous hormones that occurred during flower bud morphological differentiation of the bamboo *Phyllostachys violascens* were determined by indirect enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA). Results showed that with development of flower bud morphological differentiation, the concentration of indoleacetic acid (IAA) and isopentenyladenosine (iPA) initially declined rapidly and then recovered gradually to a relatively stable value. Meanwhile, the concentration of abscisic acid (ABA) and gibberellin (GA) fluctuated but overall showed an up—down—up curve. The ABA/IAA, GA/IAA, and iPA/IAA values increased then decreased. In addition, the concentrations of iPA and ABA, as well as the ABA/IAA and iPA/IAA values for flowering bamboo were higher than vegetative bamboo with the concentrations of IAA and GA for flowering bamboo being lower than vegetative bamboo. Thus, flower bud morphological differentiation of *Ph. violascens* could be accelerated or inhibited by appropriate hormones. [Ch, 6 fig. 15 ref.]

Key words: botany; *Phyllostachys violascens*; endogenous hormones; floral bud morphological differentiation; flower bud length

花芽分化指植物茎生长点由分生出叶片、腋芽转变为分化出花序或花朵的过程, 是营养生长向生殖生长转变的生理和形态标志。花芽分化与植物的激素水平密切相关^[1-4], 果树成花受激素调控已经得到了广泛的认可^[5]。Hoad^[6]通过研究认为: 内源激素对果树花芽分化的作用远超过树体的同化物。竹类植物开花周期长, 且开花后通常成片死亡, 其成花机制极为独特^[7]。乔士义等^[8]观察了毛竹 *Phyllostachys edulis* 的花芽分化过程, 何奇江等^[9]发现开花雷竹 *Ph. violascens* 的脱落酸(ABA), 赤霉素 3(GA₃), 细胞分裂素

收稿日期: 2011-06-13; 修回日期: 2011-07-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31000295); 国家重点基础研究发展计划(“973”计划)项目(2012CB723008)

作者简介: 鲁亚婷, 硕士, 从事植物生物技术研究。E-mail: yating20082004@163.com。通信作者: 林新春, 教授, 博士, 从事植物学研究。E-mail: lxc@zafu.edu.cn

(CTK)含量都比未开花雷竹高,但有关竹子花芽分化过程中的激素变化尚未见报道。本研究测定了雷竹花芽形态分化过程中的吲哚乙酸(IAA),异戊烯基腺苷(iPA),ABA,赤霉素(GA)等内源激素,为了解竹子的花芽分化规律打下了一定的基础。

1 材料与方法

1.1 试验样地自然概况

试验雷竹林位于浙江省临安市锦城镇的崇阳村, $29^{\circ}56' \sim 30^{\circ}23'N$, $118^{\circ}51' \sim 119^{\circ}52'E$,海拔为100~150 m,属亚热带季风气候区,年平均降水量为1 628 mm,年平均蒸发量为1 000 mm,全年平均日照时数为1 847 h,年平均气温16.4 $^{\circ}C$,无霜期230 d。试验雷竹林面积约为3.5 hm^2 ,1988年栽植,竹林每年均有不同程度的零星开花。

1.2 试验材料

于3月12日选择开花雷竹,花芽按0~2,2~4,4~6,6~8,8~10,10~12,12~14,14~16,16~18,18~20,20~25 mm长度大小各采集0.5~1.0 g;顺着开花植株的竹鞭寻找来源于同一竹鞭的未开花雷竹(从芽的形态可以判断该竹株不会开花,采样后继续观察,确定当年该竹株未开花),于未开花雷竹采集大小混合芽0.5~1.0 g(此时叶芽很少且小);将芽取下,迅速置于冰浴中,然后置于预先装有3 mL体积分数为80%的甲醇的离心管中,用于激素测定。

1.3 试验方法

激素测定采用间接酶联免疫吸附分析法(ELISA)^[10],试剂盒购自南京农业大学。测定IAA,iPA,ABA,GA等4种主要内源激素的水平,按花芽不同长度的内源激素水平的变化绘成曲线并与未开花植株叶芽进行比较,分析花芽形态分化过程与内源激素的变化规律。

2 结果与分析

2.1 花芽形态分化过程中 IAA 质量摩尔浓度的动态变化

由图1可知:雷竹花芽开始形成(0~2 mm)时,IAA质量摩尔浓度较高,达17.639 $nmol \cdot g^{-1}$,远远高于未开花植株(10.175 $nmol \cdot g^{-1}$);随着花芽进一步发育,IAA质量摩尔浓度迅速降低,到花芽长度为12~14 mm时达最低值(2.755 $nmol \cdot g^{-1}$);随后IAA质量摩尔浓度又开始回升,并维持在一个远低于未开花植株的水平(4.900~5.600 $nmol \cdot g^{-1}$)。

2.2 花芽形态分化过程中 iPA 质量摩尔浓度的动态变化

雷竹花芽形态分化过程中iPA质量摩尔浓度的动态变化见图2。与IAA变化规律相似,雷竹花芽形成(0~2 mm)时,iPA质量摩尔浓度较高,达874 $pmol \cdot g^{-1}$;随着花芽的进一步发育,iPA质量摩尔浓度迅速下降到低点(150~190 $pmol \cdot g^{-1}$),以后又开始回升且维持在一定水平(350~430 $pmol \cdot g^{-1}$)。值得注意的是,未开花植株iPA质量摩尔浓度极低(8 $pmol \cdot g^{-1}$),远远低于开花植株各大小级别花芽iPA的质量摩尔浓度。

2.3 花芽形态分化过程中 ABA 质量分数的动态变化

从图3中可以看出:雷竹花芽形态分化过程中ABA质量分数有一定的波动,开始从一个高于未开花植株的水平(10.408 $\mu g \cdot g^{-1}$)上升,到达较高值(12.275 $\mu g \cdot g^{-1}$)后下降,在花芽长度为10~12 mm时出现了最低峰值(5.114 $\mu g \cdot g^{-1}$),以后逐渐上升,但在花芽长16~18 mm时又有所下降,接着又上升,到花芽长度为18~20 mm时达到最高峰值(13.179 $\mu g \cdot g^{-1}$)。除了花芽长度为10~12 mm时的最低峰值(5.114 $\mu g \cdot g^{-1}$)外,其余各长度花芽的ABA质量分数都比未开花植株(5.800 $\mu g \cdot g^{-1}$)峰值高。

2.4 花芽形态分化过程中 GA 质量分数的动态变化

由图4可知:雷竹花芽形态分化过程中GA质量分数有一定的波动,总体上呈现先上升后下降再上升的趋势(花芽长0~2 mm时测量数据丢失),从花芽长2~4 mm时的较低水平(8.245 $\mu g \cdot g^{-1}$)上升到一定高度(10.000~11.000 $\mu g \cdot g^{-1}$),并维持到花芽生长到长度为8~10 mm时,然后迅速下降(花芽长度为10~16 mm),但到花芽长度为16~18 mm时又开始回升,并稳定在一定的水平(8.500~9.700 $\mu g \cdot g^{-1}$)。

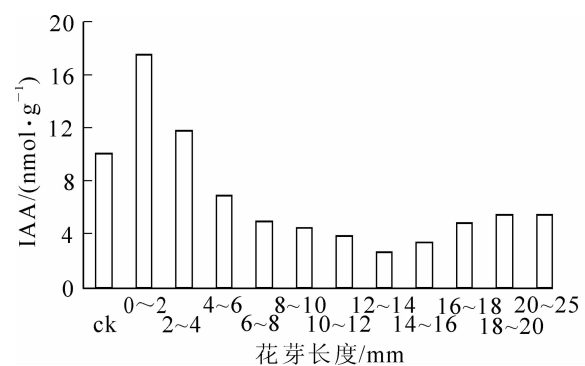


图 1 花芽形态分化期间 IAA 质量摩尔浓度变化
Figure 1 IAA concentration during flower bud morphology differentiation

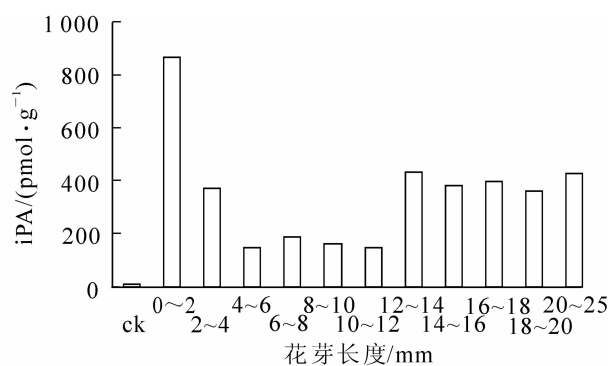


图 2 花芽形态分化期间 iPA 质量摩尔浓度变化
Figure 2 iPA concentration during flower bud morphology differentiation

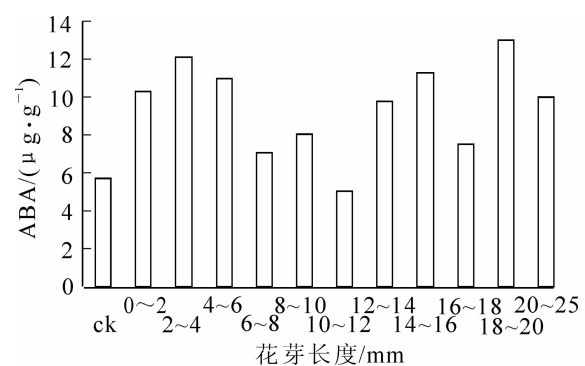


图 3 花芽形态分化期间 ABA 质量分数变化
Figure 3 ABA concentration during flower bud morphology differentiation

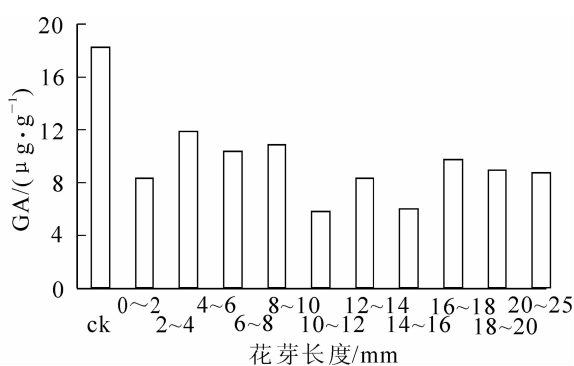


图 4 花芽形态分化期间 GA 质量分数变化
Figure 4 GA concentration during flower bud morphology differentiation

2.5 花芽形态分化过程中 iPA/IAA，ABA/IAA 和 GA/IAA 比值的动态变化

结果见图 5~6。由图可知：在雷竹花芽形态分化过程中 iPA/IAA，ABA/IAA 和 GA/IAA 比值都呈现出先上升后下降的趋势，峰值均出现在花芽长 12~14 mm 时期，并且在这一时期之后，比值均高于花芽形态分化刚开始的时期。此外，未开花植株的 ABA/IAA 和 iPA/IAA 均低于开花植株，尤其是 iPA/IAA；而未开花植株的 GA/IAA 高于花芽形态分化的起始时期(指花芽长 2~4 mm，花芽长 0~2 mm 的 GA 测量数据丢失)，低于该曲线的最高点(花芽长 12~14 mm)，而与开花植株的各时期花芽相差不大。

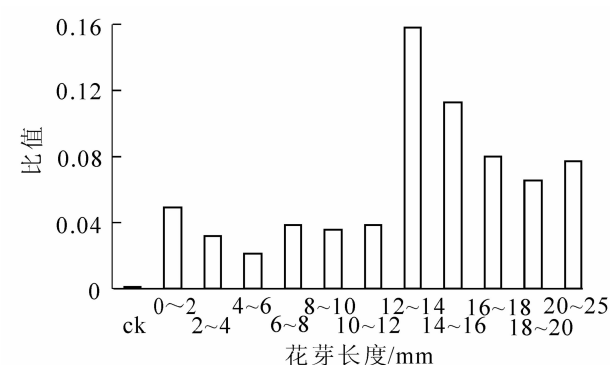


图 5 花芽形态分化期间 iPA/IAA 比值变化
Figure 5 iPA/IAA value during flower bud morphology differentiation

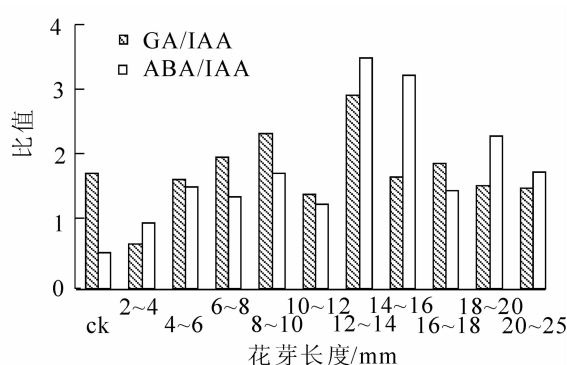


图 6 花芽形态分化期间 ABA/IAA 比值变化
Figure 6 ABA/IAA and GA/IAA value during flower bud morphology differentiation

3 小结与讨论

大多数植物花芽分化的实验取材通常选择在植物开花前后按一定的时间间隔定期取样。雷竹为零星开花竹种^[11],不同植株的花芽分化时间并不一致,即使是同一植株的不同部位的花芽发育也不同步。雷竹花芽的长度与分化程度密切相关(另文发表),乔士义^[8]关于毛竹的花芽分化的研究也有类似的结果,因此,本研究采集不同长度的花芽来研究花芽形态分化过程中内源激素的变化。

雷竹花芽形态分化起始期 IAA 质量摩尔浓度较高,之后随着花芽的分化急剧下降,并保持在相对稳定的低水平,说明低水平的 IAA 有利于雷竹花芽形态分化。这与前人的研究结果一致。盛婧等^[12]研究发现在小麦 *Triticum aestivum* 中低水平的 IAA 有利于增加小花分化数。这些结果都表明:IAA 抑制花芽的分化。

雷竹花芽形态分化过程的 iPA 与 ABA 水平基本高于未开花植株,而花芽形态分化过程中的 GA 质量分数低于未开花植株,表明高水平的 iPA 与 ABA 有利于花芽的分化,而 GA 起抑制作用。盛婧等^[12]认为较高水平的 iPA 有利于小麦的小花分化。邱学思等^[13]在杏 *Prunus armeriaca* 花中发现高水平的 ABA 有利于花芽的分化。杨传平等^[14]发现高水平的 GA 不利于白桦 *Betula platyphylla* 雄花芽的发育。任佳杰等^[15]发现在棉花 *Gossypium hirsutum* 中低水平的 GA 有利于花芽的分化,与我们的试验结果一致。

雷竹花芽形态分化过程中的 ABA/IAA 和 iPA/IAA 均高于未开花植株,表明较高的 ABA/IAA 和 iPA/IAA 有利于雷竹花芽形态分化。随着雷竹的花芽形态分化进程,ABA/IAA, GA/IAA 和 iPA/IAA 均呈现出先上升后下降的趋势,与棉花^[15]花芽分化过程中的相应的内源激素的比值变化规律基本一致。值得一提的是,三者比值的峰值均出现在雷竹花芽长度为 12~14 mm 的时期。解剖学研究表明:雷竹花芽长度小于 4 mm 时,处于花序主轴分化期;花芽长度为 4~8 mm 时,处于第一级侧生假小穗及顶端小穗分化期;花芽长度为 8~12 mm 时,处于颖花原基分化期;花芽长度>12 mm 时,进入雌雄蕊形成期(另文发表)。ABA/IAA, GA/IAA 和 iPA/IAA 的峰值正好出现在颖花原基分化期向雌雄蕊形成期转变的时期(12 mm),其相关性有待于进一步研究。

总之,植物花芽分化是一个复杂的过程,各种激素在花芽分化过程中起着非常重要的作用。实验结果表明,在雷竹的花芽形态分化过程中各种激素相辅相成,相互制约又相互促进,不同含量、不同比例的激素处于一种动态的平衡状态,共同调节雷竹的花芽形态分化过程。

参考文献:

- [1] 曹卫星,王兆龙,戴廷波.不同穗型小麦小花发育过程中幼穗和叶片内源激素水平的动态变化[J].植物学报,2000,42(10):1026-1032.
CAO Weixing, WANG Zhaolong, DAI Tingbo. Changes in levels of endogenous plant hormones during floret development in wheat genotypes of different spike sizes [J]. *Acta Bot Sin*, 2000, 42(10): 1026-1032.
- [2] 曹尚银,张俊昌,魏立华.苹果花芽孕育过程中内源激素的变化[J].果树科学,2000,17(4):244-248.
CAO Shangyin, ZHANG Junchang, WEI Lihua. Studies on the changes of endogenous hormones in the differentiation period of flower bud in apple trees [J]. *J Fruit Sci*, 2000, 17(4): 244-248.
- [3] 黄羌维.龙眼内源激素变化和花芽分化及大小年结果的关系[J].热带亚热带植物学报,1996,4(2):58-62.
HUANG Qiangwei. Changes in endogenous hormone contents in relation to flower bud differentiation and on-year or off-year fruiting of longan [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 1996, 4(2): 58-62.
- [4] 黄迪辉,黄辉白.柑橘成花机理的研究(I)与内源激素的关系[J].果树科学,1992,9(1):13-18.
HUANG Dihui, HUANG Huibai. Studies on the mechanism of citrus flower bud formation [J]. *J Fruit Sci*, 1992, 9(1): 13-18.
- [5] MONSELISE S P, GOLDSCHMIDT E E. Alternate bearing in fruit tree [J]. *Hortic Rev*, 1982, 4: 128-173.
- [6] HOAD G V. Hormonal regulation of fruit-bud formation in fruit tree [J]. *Acta Hort*, 1984, 49: 13-23.
- [7] LIN X C, CHOW T Y, CHEN H H, et al. Understanding bamboo flowering based on large-scale analysis of expressed sequence tags [J]. *Genet Mol Res*, 2010, 9(2): 1085-1093.
- [8] 乔士义.毛竹开花生物学特性的观察[J].竹类研究,1984(2):20-24.

- QIAO Shiyi. Observations on the biological characteristics of flowering hairy bamboo [J]. *Bamboo Res*, 1984 (2): 20 – 24.
- [9] 何奇江, 汪奎宏, 华锡奇, 等. 雷竹开花期内源激素、氨基酸和营养成分含量变化[J]. 林业科学, 2005, **41** (2): 169 – 173.
- HE Qijiang, WANG Kuihong, HUA Xiqi, *et al.* Change of endogenous hormones, amino-acid and nutrition in flowering stage of *Phyllostachys praecox* f. *prevernalis* [J]. *Sci Silv Sin*, 2005, **41** (2): 169 – 173.
- [10] 李宗霆, 周夔. 植物激素及其免疫检测技术[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1996: 80 – 298.
- [11] 林新春, 袁晓亮, 林绕, 等. 雷竹开花生物学特性研究[J]. 福建林学院学报, 2010, **30** (4): 333 – 337.
- LIN Xinchun, YUAN Xiaoliang, LIN Rao, *et al.* Studies on floral biology of *Phyllostachys praecox* [J]. *J Fujian Coll For*, 2010, **30** (4): 333 – 337.
- [12] 盛婧, 封超年, 郭文善, 等. 小麦幼穗内源激素含量与小花发育的关系[J]. 江苏农业研究, 2001, **22** (4): 5 – 8.
- SHENG Jing, FENG Chaonian, GUO Wenshan, *et al.* Relation of endogenous hormone contents in spikes to floret development of wheat [J]. *Jiangsu Agric Res*, 2001, **22** (4): 5 – 8.
- [13] 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): 1798 – 1800.
- QIU Xuesi, LIU Guocheng, LÜ Deguo, *et al.* Dynamic changes of endogenous hormone in leaf during the period of flower bud differentiation of apricot [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2006, **34** (9): 1798 – 1800.
- [14] 杨传平, 刘桂丰, 姜静. 白桦雄花发育过程中内源激素含量的变化[J]. 东北林业大学学报, 2002, **30** (4): 1 – 4.
- YANG Chuanping, LIU Guifeng, JIANG jing. Changes of endogenous hormones in *Betula platyphylla* during the male flower development [J]. *J Northeast For Univ*, 2002, **30** (4): 1 – 4.
- [15] 任桂杰, 陈永哲, 董合忠, 等. 棉花花芽分化及部分内源激素变化规律的研究[J]. 西北植物学报, 2000, **20** (5): 847 – 851.
- REN Guijie, CHEN Yongzhe, DONG Hezhong, *et al.* Studies on endogenous hormone changes in the stem terminal of *Gossypium hirsutum* during flower bud differentiation [J]. *Acta Bot Boreali-Occident Sin*, 2000, **20** (5): 847 – 851.