



## 蝴蝶兰成花过程内源激素含量的变化和植物生长调节剂的作用

张英杰, 李奥, 吕云飞, 孙纪霞, 刘民晓, 张京伟, 刘学庆, 刘晓华, 郭文姣, 郭对田

引用本文:

张英杰, 李奥, 吕云飞, 等. 蝴蝶兰成花过程内源激素含量的变化和植物生长调节剂的作用[J]. 热带亚热带植物学报, 2022, 30(1): 104–110.

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11926/jtsb.4409>

---

### 您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

#### 安祖花胚性愈伤组织诱导及植株再生研究

Studies on Embryogenic Callus Induction and Plant Regeneration of *Anthurium andreaeanum*  
热带亚热带植物学报. 2018, 26(4): 407–414 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3835>

#### 油莎豆快速繁殖体系的研究

Studies on Rapid Propagation System of Yellow Nutsedge (*Cyperus esculentus* L.) in vitro  
热带亚热带植物学报. 2019, 27(4): 446–451 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4024>

#### 催吐萝芙木离体培养和植株再生体系的建立

In vitro Culture and Establishment of Rapid Regeneration System of *Rauvolfia vomitoria*  
热带亚热带植物学报. 2019, 27(1): 60–64 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3935>

#### 龙珠果茎段离体培养和组培苗耐盐性分析

Stem Culture *in vitro* of *Passiflora foetida* and Salt Tolerance of Seedlings  
热带亚热带植物学报. 2021, 29(4): 360–366 <https://doi.org/10.11926/jtsb.4323>

#### GA3和Spd对杜鹃开花期光合特性和抗氧化系统的影响

Effects of GA3 and Spd on Photosynthetic Characteristics and Antioxidant System during Florescence in *Rhododendron simsii*  
热带亚热带植物学报. 2019, 27(4): 439–445 <https://doi.org/10.11926/jtsb.3989>

向下翻页, 浏览PDF全文

# 蝴蝶兰成花过程内源激素含量的变化和植物生长调节剂的作用

张英杰<sup>1,2</sup>, 李奥<sup>1</sup>, 吕云飞<sup>3</sup>, 孙纪霞<sup>1</sup>, 刘民晓<sup>1</sup>, 张京伟<sup>1</sup>, 刘学庆<sup>1</sup>,  
刘晓华<sup>4</sup>, 郭文姣<sup>1\*</sup>, 郭对田<sup>1\*</sup>

(1. 山东省烟台市农业科学研究院, 山东 烟台 265500; 2. 北京林业大学园林学院, 北京 100083; 3. 烟台市农业综合执法大队, 山东 烟台 264000;  
4. 鲁东大学, 山东 烟台 264025)

**摘要:** 为了解植物生长调节剂对蝴蝶兰(*Phalaenopsis*)成花的作用, 对‘大辣椒’和‘富乐夕阳’2个品种成花过程中的内源激素含量变化和生长调节剂的影响进行了研究。结果表明, 蝴蝶兰花芽分化进程包括花序原基分化、小花原基分化、花萼分化、花瓣分化和合蕊柱(雄蕊和心皮)与唇瓣分化等时期。在花序原基分化期, 高水平的 ABA 和 IAA 抑制营养生长, 成花后水平下降, 花发育结束后, 水平再次升高; GA<sub>3</sub> 和 ZR 可促进细胞分化与分裂。外施 GA<sub>3</sub> 可提前花期, 显著增加花梗长度; 外施 6-BA 可显著提高‘富乐夕阳’的双梗率。因此, 在蝴蝶兰花期可适当喷施生长调节剂, 调控花期和花量。

**关键词:** 蝴蝶兰; 内源激素; 生长调节剂; 成花

doi: 10.11926/jtsb.4409

## Changes in Endogenous Hormones Content and Effect of Plant Growth Regulators of *Phalaenopsis* during Flowering Period

ZHANG Yingjie<sup>1,2</sup>, LI Ao<sup>1</sup>, LÜ Yunfei<sup>3</sup>, SUN Jixia<sup>1</sup>, LIU Minxiao<sup>1</sup>, ZHANG Jingwei<sup>1</sup>, LIU Xueqing<sup>1</sup>,  
LIU Xiaohua<sup>4</sup>, GUO Wenjiao<sup>1\*</sup>, GUO Duitian<sup>1\*</sup>

(1. Yantai Academy of Agricultural Sciences, Yantai 265500, Shandong, China; 2. College of Landscape Architecture, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 3. Yantai Agricultural Comprehensive Law Enforcement Brigade, Yantai 264000, Shandong, China; 4. Ludong University, Yantai 264025, Shandong, China)

**Abstract:** In order to understand the effect of plant growth regulators on flowering of *Phalaenopsis*, the changes in endogenous hormone contents and influence of growth regulators in ‘Big Chilli’ and ‘Fullers Sunset’ were studied during flowering. The results showed that the flower bud differentiation process of *Phalaenopsis* included inflorescence primordium differentiation, floret primordium differentiation, calyx differentiation, petal differentiation, stamen column (stamen and carpels) and labellum differentiation. During the inflorescence primordium differentiation stage, ABA and IAA with high level inhibited vegetative growth, and the level dropped after flowering and rose again after flower development. GA<sub>3</sub> and ZR could promote cell differentiation and division. Spraying GA<sub>3</sub> could advance flowering and significantly increase stalk length, while spraying 6-BA could significantly improve the double stem rate of ‘Fullers Sunset’. Therefore, at the flowering stage, *Phalaenopsis* could be properly sprayed with growth regulators to regulate the flowering stage and the amount of

收稿日期: 2021-03-11 接受日期: 2021-05-26

基金项目: 山东省重点研发计划项目; 烟台市科技发展和横向委托课题共同资助

This work was supported by the Project for Key Research and Plan of Shandong; and the Co-project for Yantai Science and Technology Development Plan and Horizontal Commissioned Task.

作者简介: 张英杰, 女, 博士研究生, 从事花卉遗传育种与栽培研究。E-mail: 447477668@qq.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: guowenjiao@yt.shandong.cn; 12690946@qq.com

flowers.

**Key words:** *Phalaenopsis*; Endogenous hormone; Plant growth regulator; Flowering

蝴蝶兰是兰科(Orchidaceae)蝴蝶兰属(*Phalaenopsis*)植物的统称, 也是我国销售量最大的年宵盆花花卉, 是国际畅销的盆花种类<sup>[1-2]</sup>。我国蝴蝶兰市场一些主流品种如‘大辣椒’(‘Big Chilli’), 存在花期相对较晚的缺点。此外, 每年春节的时间不同, 有些年份相差约 20 d, 各品种花期不一致和上市时间的浮动要求在生产栽培中对蝴蝶兰花期进行精准调控。蝴蝶兰对外界催花因子的响应, 不仅影响开花质量, 也是决定开花时间的关键因子, 直接决定了蝴蝶兰年宵花上市时间和成品花的开花等级与质量。目前, 低温<sup>[3]</sup>、强光调控和外施赤霉素是蝴蝶兰生产栽培中的重要催花技术, 28 °C 以上高温抑制开花并维持营养生长<sup>[4]</sup>; 经夏季 8—9 月夜间 18 °C ~ 20 °C、白天 23 °C ~ 26 °C 的低温处理 40~50 d, 蝴蝶兰的自然花期可提前以供应我国年宵用花。光照对蝴蝶兰花芽分化也起到了重要调控作用, 在花发育过程中, 温度、光照强度对开花进度影响显著, 高温、强光下 30 d 可比低温、弱光照下多开 2~4 朵花<sup>[5]</sup>。生产中对部分晚花品种可以喷施生长调节剂使花期提前, 赤霉素被认为是促进花芽分化与花期提前最重要的生长调节剂<sup>[6-8]</sup>。笔者前期试验表明 6-BA 可明显提高蝴蝶兰的双梗率, GA<sub>3</sub> 可使花梗长度增加<sup>[9]</sup>。可见, 蝴蝶兰的成花调控受多条途径综合作用, 而赤霉素参与了花梗芽诱导和开花时间的调控。

在花芽分化与花发育过程中, 蝴蝶兰叶片中内源激素的变化规律表明, 低水平的 IAA、GA 和高水平的 ABA、ZR 有促进花芽分化的作用, 高水平的 IAA、GA 和 ZR 有利于花梗的伸长<sup>[10]</sup>。曾新萍等<sup>[11]</sup>测定了蝴蝶兰低温处理过程(抽梗前)第 3 片叶的腋芽(入茎约 2 mm)内源激素含量, 结果表明低温催花 29 d 内, 较低含量的 GA<sub>3</sub>、ABA 和高含量 ZR 均有利于成花。一般认为低温胁迫下, 蝴蝶兰叶片内的 ABA、IAA 和 GA 含量随胁迫温度降低有显著增加的趋势<sup>[12]</sup>。因此, 内源激素 GA 和 ABA 对蝴蝶兰花芽分化的作用目前尚存在争议, 可能与取材部位单一有关。本文以 2 个主流蝴蝶兰品种为试材, 对根、叶和花芽中 4 种内源激素含量在成花过程中的变化进行研究, 并探讨外源生长调节剂的作用, 为蝴蝶兰花期调控技术及成花机制研究提供理论基础和指导依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

以国内蝴蝶兰市场主流品种单梗红花品种‘大辣椒’(‘Big Chilli’)和双梗黄花品种‘富乐夕阳’(‘Fullers Sunset’)为试验材料, 均引自厦门和鸣花卉科技有限公司, 在山东省烟台市农业科学研究院(地理位置 37°29'2" N, 121°16'26" E, 海拔 6 m)的连栋温室内栽培 2 a, 基质为智利进口水苔, 精细肥水管理, 期间换盆 2 次。选用健康、无病虫害、长势基本一致的 4 叶 1 心的 2 a 生成熟苗进行试验。

### 1.2 方法

**花芽分化形态学观察** 取‘大辣椒’不同分化时期(花梗长 1、5、10、15、20 和 30 cm)的花梗顶端生长点, 用 50% FAA (50% 乙醇 450 mL+冰醋酸 25 mL+40% 甲醛 25 mL)固定, 采用常规石蜡制片法制片<sup>[13]</sup>, 在显微镜(日本尼康 Nikon Ci-S、DS-U3)下观察并拍照。

**内源激素含量测定** 分别于低温(日夜 25 °C / 18 °C)催花处理前(NTT)、低温处理 1 d 后(LTT), 花梗长 1 (1P)、5 (5P)、10 (10P)和 25 cm (25P)、现蕾期(FB)、开花早期(EA)及开花中期(MA)共 9 个生长发育时期采集 2 个品种的叶、根和花梗的顶端生长点。采用酶联免疫吸附法(ELISA)<sup>[14]</sup>测定内源激素 ABA、IAA、ZR 和 GA<sub>3</sub> 含量。

**植物生长调节剂试验** 于低温处理(昼/夜温度: 25 °C / 18 °C, 2018 年 8 月 21 日)后, 对 2 品种外施植物生长调节剂, 所有处理均添加 2 g/L 药肥增效剂不怕雨(上海永通生态工程股份有限公司)。用喷壶喷雾茎部和叶片, 每 10 d 喷施 1 次, 共处理 4 次。植物生长调节剂共设置 8 个处理, 分别为: GA<sub>3</sub> (100、200、300 mg/L)、6-BA (100、200、300 mg/L)、100 mg/L GA<sub>3</sub>+100 mg/L 6-BA 和 300 mg/L GA<sub>3</sub>+300 mg/L 6-BA, 对照组喷清水, 每处理 15 株, 平均每株喷施 5 mL, 均设 3 次重复。喷施后第 5 天统计测量双梗率和花芽长度, 此后每 15 d 统计 1 次, 共统计 4 次。植株开花后, 记录第 1 朵花的开放和凋谢日期, 用直尺测定基直径, 并统计花朵数。

### 1.3 数据分析

用 Microsoft Excel 2010 处理数据及制图, 用 SPSS 19.0 对数据进行统计分析。采用 One-Way ANOVA 对处理间进行方差分析, 并利用 LSD 法在  $\alpha=0.05$  水平进行多重比较。

## 2 结果和分析

### 2.1 花芽分化的形态学观察

蝴蝶兰花芽分化可分为花序原基分化、小花原基分化、萼片分化、花瓣分化、合蕊柱和唇瓣分化等时期。当花梗长 5 cm 时开始花芽分化(图 1: B), 顶端生长点被苞片原基包围, 芽点以圆顶形分化为 3 个圆顶形并呈三角形排列, 标志着生殖生长的开始, 花器官发生始于萼片(外花瓣)的分化。花梗长 10 cm 时, 花瓣分化阶段开始(图 1: C)。花梗长 15 cm 时, 蕊柱原基和唇瓣开始分化(图 1: D)。花梗 30 cm 时, 已完成 4 个小花花芽分化。小花花芽分化先是形成 3 个花萼片, 然后形成 2 个花瓣, 最后为唇瓣和合蕊柱(雄蕊和心皮)。

### 2.2 内源激素含量的变化

在花芽发育阶段, 各组织中 ABA 和 IAA 含量远高于 ZR 和  $GA_3$  含量(图 2)。2 个品种的根系和花梗顶端生长点的 ABA 含量变化(70~200 ng/g FW)较大, 而叶片的含量较低(30~110 ng/g FW)且稳定, 推测根系和花梗顶端生长点是合成 ABA 的主要部

位。随花芽发育, 根系中 ABA 含量先增加, 花序原基开始分化后下降; 花梗顶端生长点的 ABA 含量最初时较高, 当花梗长度为 1~5 cm 时降低, 在花梗长度为 5~10 cm 后显著增加。IAA 在根系和花梗顶端生长点中的含量比叶片高, 与 ABA 相同, 当花梗刚抽出, 即花序原基分化期, 花梗顶端生长点中的 IAA 含量高, 约为 100 ng/g FW, 高含量的 IAA 可能抑制花梗生长, 在顶端生长点中储存能量用于花芽萌发; 花序原基开始分化后, IAA 含量下降, 产生顶端优势, 促进花梗生长。 $GA_3$  有打破休眠的作用, 在花梗开始伸长后, 其顶端生长点的  $GA_3$  水平降低, ‘大辣椒’低于‘富乐夕阳’; ‘大辣椒’完成花芽分化花费的时间要长得多, 花期比‘富乐夕阳’晚得多, 这表明  $GA_3$  可能参与自主花诱导。花梗顶端生长点的 ZR 含量高于叶片, 表明顶端生长点的细胞分裂比叶片多。

### 2.3 生长调节剂对花发育的影响

$GA_3$  能显著增加花梗长度(表 1), 喷施 100 mg/L  $GA_3$  后‘富乐夕阳’花梗的平均长度最大, ‘大辣椒’花梗最长为 200 mg/L  $GA_3$ , 但不同质量浓度处理的花梗长度增加的差异不显著; 6-BA 对花梗作用不显著, 甚至有抑制作用。6-BA 可提高‘富乐夕阳’的双梗率, 200 mg/L 6-BA 喷施后的双梗率为对照的 2.55 倍; 但 6-BA 对‘大辣椒’的双梗率无影响。 $GA_3$  对双梗率无显著影响, 但对 2 个品种可提前花期, 300 mg/L  $GA_3$  处理的开花最早; 6-BA 对开花

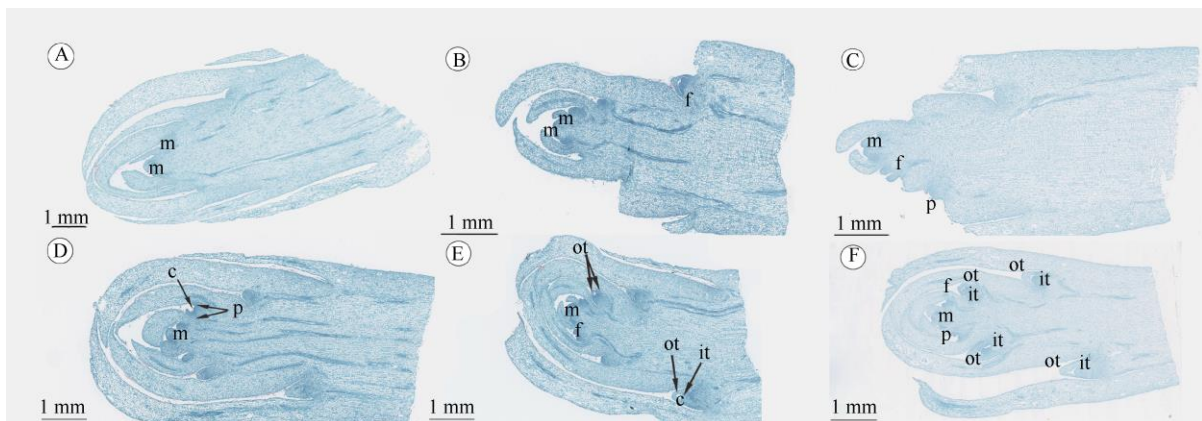


图 1 蝴蝶兰‘大辣椒’的花芽分化过程。A: 1 cm 花芽; B: 5 cm 花芽; C: 10 cm 花芽; D: 15 cm 花芽; E: 20 cm 花芽; F: 30 cm 花芽; m: 顶端生长点; f: 花芽原基; p: 花瓣原基; ot: 外层花瓣原基; it: 内花瓣原基; l: 唇瓣原基; c: 合蕊柱原基。

Fig. 1 Flower bud differentiation process of *Phalaenopsis* ‘Big Chili’. A: 1 cm Flower bud; B: 5 cm Flower bud; C: 10 cm Flower bud; D: 15 cm Flower bud; E: 20 cm Flower bud; F: 30 cm Flower bud; m: Meristem; f: Flower bud primordia; p: Petal primordia; ot: Outer petal primordia; it: Inner petal primordia; l: Lip primordia; c: Column (stamen and carpel) primordia.

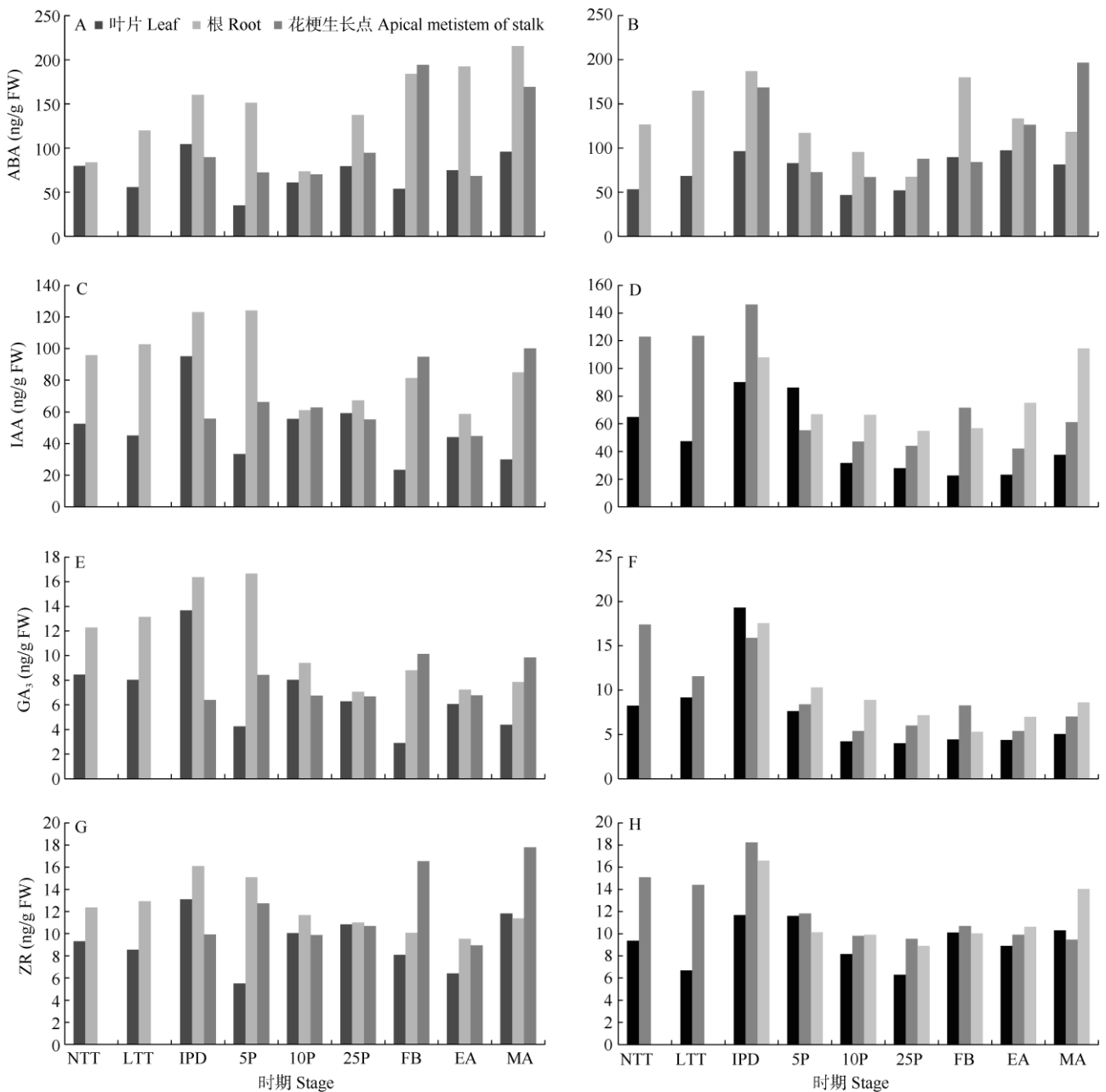


图 2 蝴蝶兰花芽分化过程中不同组织内源激素含量的变化。A, C, E, G: ‘大辣椒’; B, D, F, H: ‘富乐夕阳’; NTT: 常温; LTT: 低温; IPD: 花序原基分化; 5S: 5 cm 花梗; 10S: 10 cm 花梗; 25S: 25 cm 花梗; FB: 花芽; EA: 早花期; MA: 中花期。

Fig. 2 Changes in endogenous hormone contents in different tissues of *Phalaenopsis* cultivars during flower bud differentiation. A, C, E, G: ‘Big Chilli’; B, D, F, H: ‘Fullers Sunset’; NTT: Normal temperature; LTT: Low temperature; IPD: Inflorescence primordium differentiation; 5S: 5cm stalk; 10S: 10 cm stalk; 25S: 25 cm stalk; FB: Flower bud; EA: Early anthesis; MA: Middle anthesis.

时间无显著影响; GA<sub>3</sub> 和 6-BA 混合使用时, 对蝴蝶兰开花时间和花期的影响介于两者之间。

### 3 结论和讨论

蝴蝶兰花芽分化进程为花序原基分化、小花原基

分化、3 个花萼片分化、2 个花瓣分化、合蕊柱(雄蕊和心皮)和唇瓣分化, 这与寒兰(*Cymbidium kanran*)<sup>[15]</sup>、卡特兰(*Cattleya*)<sup>[16]</sup>、杂交兰(*C. Golden Elf ‘Sundust’*)<sup>[17]</sup>等其他兰科植物花芽分化进程一致。

蝴蝶兰花芽分化过程内源激素含量变化显著。有研究表明, ABA 可通过抑制荔枝(*Litchi chinensis*)<sup>[18]</sup>

表 1 植物生长调节剂对蝴蝶兰发育的影响

Table 1 Effect of plant growth regulators on flowering development of *Phalaenopsis*

植物生长调节剂 (mg/L) Plant growth regulator		花梗长度 (cm) Stalk length		双梗率 / % Double stalk rate		始花期 First-flowering date	
GA <sub>3</sub>	6-BA	‘富乐夕阳’ ‘Fullers Sunset’	‘大辣椒’ ‘Big Chili’	‘富乐夕阳’ ‘Fullers Sunset’	‘大辣椒’ ‘Big Chili’	‘富乐夕阳’ ‘Fullers Sunset’	‘大辣椒’ ‘Big Chili’
100	0	25.91 ± 1.08a	41.67 ± 6.86a	8.89 ± 3.85c	0	2019/1/14	2019/1/10
200	0	22.65 ± 0.21bc	42.05 ± 9.53a	11.59 ± 3.89c	0	2019/1/18	2019/1/10
300	0	24.71 ± 3.08ab	41.45 ± 5.64a	11.11 ± 3.84c	0	2019/1/10	2019/1/08
0	100	24.71 ± 1.67ab	31.25 ± 4.75b	9.20 ± 3.57c	0	2019/1/23	2019/1/18
0	200	19.37 ± 0.49d	28.02 ± 3.13b	35.56 ± 3.85a	0	2019/1/20	2019/1/20
0	300	20.85 ± 0.51cd	27.27 ± 4.54b	22.22 ± 3.85b	0	2019/1/21	2019/1/18
100	100	24.51 ± 1.43ab	36.24 ± 4.64ab	6.98 ± 0.27c	0	2019/1/27	2019/1/16
300	300	24.83 ± 2.33ab	35.17 ± 6.95ab	11.27 ± 3.57c	0	2019/1/20	2019/1/11
0	0	25.56 ± 0.54ab	32.07 ± 2.35b	13.96 ± 9.33c	0	2019/1/24	2019/1/19

同列数字后不同字母表示显著差异( $P < 0.05$ )。

Data followed different letters within column indicate significant differences at 0.05 level.

的营养生长或促进 CTK (细胞分裂素) 积累来促进花芽分化。Li 等<sup>[19]</sup>研究了番茄(*Lycopersicon esculentum*)茎尖内源激素含量在花芽发育过程中的变化, 推测 ABA 和 GA<sub>3</sub> 类似物加速了子房的形成, 这也在柑橘(*Citrus*)<sup>[20]</sup>中得到证实。在本研究的 4 种内源激素中, ABA 含量最高, 花梗抽出后顶端生长点的 ABA 含量减少, 并且在花梗长度超过 5 cm 后增加, 顶端的高水平 ABA 抑制了花梗的生长, 促进了花序原基的分化。当花梗长大于 5 cm 时, ABA 含量再次升高, 可能在花器官形成中起重要作用。

IAA 具有多种作用, 可诱导细胞伸长、细胞分裂及植物生长和发育。Xu 等<sup>[21]</sup>测定了郁金香(*Tulipa*)花梗快速伸长期的 IAA, 认为顶部节间可能是花梗快速伸长激素的主要来源。Žárský 等<sup>[22]</sup>报道较低的 IAA 和乙烯含量可能与较多的花蕾直接相关, 而较高的 IAA 含量通常被认为是开花的抑制剂。高 IAA 含量可控制花梗的伸长, 较低可能直接促进花的形成。本研究中, 蝴蝶兰花芽分化前 IAA 含量高抑制了花梗的伸长, 促进了小花原基分化, 成花后 IAA 含量降低, 促进了花梗的连续伸长。

GA<sub>3</sub> 有打破花芽休眠的作用, 其在蝴蝶兰花芽分化结束时升到最高, 这与杜鹃(*Rhododendron simsii*)<sup>[23]</sup>和樱桃(*Cerasus*)<sup>[24]</sup>的研究结果相同。赤霉素是促进花芽分化与花期提前的生长调节剂<sup>[6-8]</sup>。曾经在蝴蝶兰花芽分化前使用溶有生长调节剂的羊毛脂涂抹茎基部来调节花期, 操作繁琐, 在实际生产中无法应用。本研究在蝴蝶兰花序原基膨大期对花芽精准喷施 GA<sub>3</sub>, 可使开花提前 5~10 d, 显著

增加花梗长度, 且不同浓度对花梗长度增加的差异不显著。此操作简单易行, 且比整株喷雾节约药品用量。植物生长调节剂还具有促进植物分蘖和花芽分化、增加抗逆性、提高产量等作用<sup>[25]</sup>。拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)中 GA<sub>3</sub> 是开花控制中的重要物质之一, 赤霉素通过克服 DELLA 蛋白的抑制作用来促进多种植物发育过程<sup>[26]</sup>。本研究从内源激素和生长调节剂两方面证实 GA<sub>3</sub> 可促进成花转变。

ZR 是一种细胞分裂素, 顶端生长点的 ZR 含量高于叶片, 意味着顶端生长点的细胞分裂比叶片更多。Werner 等<sup>[27]</sup>提出细胞分裂素是维持细胞分裂和促进干细胞从未分化状态向分化状态转变所必需的, 花序原基分化开始时顶端的 ZR 含量较高。6-BA 是第一个人工合成的细胞分裂素, 主要作用是促进芽的形成, 也可以诱导愈伤组织发生。6-BA 可促进植株营养生长(提高株高和叶量)<sup>[28-29]</sup>、提高抗旱性<sup>[30]</sup>。本研究中, 6-BA 可显著提高双梗蝴蝶兰品种的双梗率, 但对单梗品种无影响。黄建等<sup>[31]</sup>的研究表明 300 mg/L 的 6-BA 能有效延长蝴蝶兰花期, 增加花量。因此, 细胞分裂素在蝴蝶兰成花过程中也发挥重要作用。

## 参考文献

- [1] LEE H B, LIM S H, LIM N H, et al. Growth and CO<sub>2</sub> exchange in young *Phalaenopsis* orchids grown under different levels of humidity during the vegetative period [J]. Hort Environ Biotechnol, 2018, 59(1): 37-43. doi: 10.1007/s13580-018-0005-3.
- [2] KWON Y E, YU H J, BAEK S, et al. Development of gene-based

- identification markers for *Phalaenopsis* 'KS Little Gem' based on comparative genome analysis [J]. Hort Environ Biotechnol, 2017, 58: 162–169. doi: 10.1007/s13580-017-0189-y.
- [3] ZHANG Y J, LI A, LIU X Q, et al. Changes in the morphology of the bud meristem and the levels of endogenous hormones after low temperature treatment of different *Phalaenopsis* cultivars [J]. S Afr J Bot, 2019, 125: 499–504. doi: 10.1016/j.sajb.2019.08.016.
- [4] JEONG S J, LEE H B, AN S K, et al. High temperature stress prior to induction phase delays flowering initiation and inflorescence development in *Phalaenopsis* queen beer 'Mantefon' [J]. Sci Hort, 2020, 263: 109092. doi: 10.1016/j.scienta.2019.109092.
- [5] LIU T F. Factors affecting blossom quality of *Phalaenopsis* after flower bud differentiation [J]. Fujian J Agric Sci, 2012, 27(9): 999–1003. doi: 10.3969/j.issn.1008-0384.2012.09.018.
- 刘添锋. 蝴蝶兰花芽分化后期影响开花品质的因素探析 [J]. 福建农业学报, 2012, 27(9): 999–1003. doi: 10.3969/j.issn.1008-0384.2012.09.018.
- [6] CHEN F L, TANG J S, HE X D, et al. Study on artificial hormone in *Phalaenopsis* hybrid flowering regulation [J]. Tianjin Agric Sci, 2012, 18(3): 110–112. doi: 10.3969/j.issn.1006-6500.2012.03.026.
- 陈凤玲, 汤久顺, 何小弟, 等. 蝴蝶兰花期调控技术中的外源激素应用 [J]. 天津农业科学, 2012, 18(3): 110–112. doi: 10.3969/j.issn.1006-6500.2012.03.026.
- [7] LIU X R. Study on bud differentiation and regulation of florescence of *Phalaenopsis* [D]. Yangling: Northwest Agriculture and Forestry University, 2006: 34–40.
- 刘晓荣. 蝴蝶兰花芽分化及花期调控研究 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2006: 34–40.
- [8] CHEN S P, TANG J P, SU J L, et al. The study of the regulation of flowering in *Phalaenopsis* [J]. Chin Agric Sci Bull, 2009, 25(21): 236–239.
- 陈尚平, 汤久顺, 苏家乐, 等. 蝴蝶兰花期控制技术研究 [J]. 中国农学通报, 2009, 25(21): 236–239.
- [9] LI A, GONG Z H, ZHANG Y J, et al. Effects of exogenous hormones on rate of double peduncle and peduncle development of *Phalaenopsis* [J]. Mol Plant Breed, 2020, 18(4): 1313–1318. doi: 10.13271/j.mpb.018.001313.
- 李奥, 宫子惠, 张英杰, 等. 外源激素对蝴蝶兰双梗率及花梗发育的影响 [J]. 分子植物育种, 2020, 18(4): 1313–1318. doi: 10.13271/j.mpb.018.001313.
- [10] MA X H, LIU H J, ZHANG Q L, et al. Dynamic changes of endogenous hormones in leaves of *Phalaenopsis amabilis* during flower forcing process [J]. J Agric, 2021, 11(1): 57–61.
- 马晓华, 刘洪见, 张庆良, 等. 蝴蝶兰催花过程中叶片内源激素含量的动态变化 [J]. 农学学报, 2021, 11(1): 57–61.
- [11] ZENG X P, LIU Z C, SU M H, et al. Dynamic changes of endogenous hormones and polyamine in *Phalaenopsis* leaves during floral bud formation [J]. Subtrop Plant Sci, 2008, 37(3): 1–5. doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2008.03.001.
- 曾新萍, 刘志成, 苏明华, 等. 蝴蝶兰成花过程中叶片内源激素与多胺含量的变化动态 [J]. 亚热带植物科学, 2008, 37(3): 1–5. doi: 10.3969/j.issn.1009-7791.2008.03.001.
- [12] GUO J J. Studies on physiological and biochemical mechanisms and gene differential expression of flowering induction of *Phalaenopsis* [D]. Guangzhou: South China Normal University, 2002: 4–5.
- 郭建军. 蝴蝶兰成花诱导的生理生化机理及基因差异表达的研究 [D]. 广州: 华南师范大学, 2002: 4–5.
- [13] XU S P, ZHANG Y, YUAN X Y, et al. Explore the key period of floral determination based on the microstructure and photosynthetic characteristics in *Phalaenopsis* [J]. Acta Hort Sin, 2020, 47(7): 1359–1368. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2019-0693.
- 许申平, 张燕, 袁秀云, 等. 依据显微结构及光合特性探讨蝴蝶兰花芽分化的时期 [J]. 园艺学报, 2020, 47(7): 1359–1368. doi: 10.16420/j.issn.0513-353x.2019-0693.
- [14] ZHANG H Y, DUAN W X, XIE B T, et al. Effects of drought stress at different growth stages on endogenous hormones and its relationship with storage root yield in sweetpotato [J]. Acta Agron Sin, 2018, 44(1): 126–136. doi: 10.3724/SP.J.1006.2018.00126.
- 张海燕, 段文学, 解备涛, 等. 不同时期干旱胁迫对甘薯内源激素的影响及其与块根产量的关系 [J]. 作物学报, 2018, 44(1): 126–136. doi: 10.3724/SP.J.1006.2018.00126.
- [15] GONG T. Mechanism of floral formation of *Cymbidium kanran* and flowering regulation [D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2015: 1–2.
- 龚浩. 寒兰成花机理及花期调控研究 [D]. 福州: 福建农林大学, 2015: 1–2.
- [16] WU G L, SUN Y, SHEN G Z, et al. Studies on anatomy of flower bud differentiation and development in *Cattleya* [J]. J Zhejiang Univ (Agric Life Sci), 2009, 35(2): 173–179. doi: 10.3785/j.issn.1008-9209.2009.02.009.
- 吴根良, 孙瑶, 沈国正, 等. 卡特兰花芽分化与发育的解剖学研究 [J]. 浙江大学学报(农业与生命科学版), 2009, 35(2): 173–179. doi: 10.3785/j.issn.1008-9209.2009.02.009.
- [17] LIN R Y, CHEN Y Q, LIN B, et al. Morphological and physiological changes during flower bud differentiation of cymbidium gold elf 'Sundust' [J]. Fujian J Agric Sci, 2019, 34(2): 170–175. doi: 10.19303/j.

- issn.1008-0384.2019.02.005.  
林榕燕, 陈艺荃, 林兵, 等. 杂交兰‘黄金小神童’花芽分化过程形态与生理变化 [J]. 福建农业学报, 2019, 34(2): 170–175. doi: 10.19303/j.issn.1008-0384.2019.02.005.
- [18] CHEN W S. Endogenous growth substances in xylem and shoot tip diffusate of lychee in relation to flowering [J]. HortScience, 1990, 25 (3): 314–315. doi: 10.21273/HORTSCI.25.3.314.
- [19] LI Y, LI T L, WANG D. Correlation between endogenous hormones of stem apices and fruit locule numbers in tomatoes during floral bud differentiation stages [J]. Agric Sci China, 2008, 7(4): 447–454. doi: 10.1016/S1671-2927(08)60088-7.
- [20] ZHANG S L, CHEN K S, YE Q F, et al. Changes of endogenous IAA, ABA and ZT in pollinated, non-pollinated and parthenocarpic ovary (fruitlet) of *Citrus* [J]. Acta Hort Sin, 1994, 21(2): 117–123.  
张上隆, 陈昆松, 叶庆富, 等. 柑桔授粉处理和单性结实子房(幼果)内源 IAA、ABA 和 ZT 含量的变化 [J]. 园艺学报, 1994, 21(2): 117–123.
- [21] XU R Y, NIIMI Y, OHTA Y, et al. Changes in diffusible indole-3-acetic acid from various parts of tulip plant during rapid elongation of the flower stalk [J]. Plant Growth Regul, 2008, 54(2): 81–88. doi: 10.1007/s10725-007-9230-y.
- [22] ŽÁRSKÝ V, PAVLOVÁ L, EDER J, et al. Higher flower bud formation in haploid tobacco is connected with higher peroxidase/IAA-oxidase activity, lower IAA content and ethylene production [J]. Biol Plant, 1990, 32(4): 288–293. doi: 10.1007/bf02886949.
- [23] XU Q, LI H X, WEN P, et al. Effects of GA<sub>3</sub> and Spd on photosynthetic characteristics and antioxidant system during florescence in *Rhododendron simsii* [J]. J Trop Subtrop Bot, 2019, 27(4): 439–445. doi: 10.11926/jtsb.3989.  
徐倩, 李华雄, 文沛, 等. GA<sub>3</sub> 和 Spd 对杜鹃开花期光合特性和抗氧化系统的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2019, 27(4): 439–445. doi: 10.11926/jtsb.3989.
- [24] WANG Y H, FAN C H, SHEN X, et al. Changes in endogenous hormones during the flower bud differentiation of sweet cherry [J]. Acta Agric Boreali-Occid Sin, 2002, 11(1): 64–67. doi: 10.3969/j.issn.1004-1389.2002.01.018.  
王玉华, 范崇辉, 沈向, 等. 大樱桃花芽分化期内源激素含量的变化 [J]. 西北农业学报, 2002, 11(1): 64–67. doi: 10.3969/j.issn.1004-1389.2002.01.018.
- [25] WEI S L, YANG P Y, LIANG H K, et al. Effects of paclobutrazol on growth and physiology characters of *Sorghum* [J]. J Trop Subtrop Bot, 2021, 29(2): 201–208. doi: 10.11926/jtsb.4279.  
魏世林, 杨溥原, 梁红凯, 等. 多效唑对高粱生长发育及生理的影响 [J]. 热带亚热带植物学报, 2021, 29(2): 201–208. doi: 10.11926/jtsb.4279.
- [26] ZHANG Y N, ZHOU Y P, CHEN Q H, et al. Molecular basis of flowering time regulation in *Arabidopsis* [J]. Chin Bull Bot, 2014, 49(4): 469–482. doi: 10.3724/SPJ.1259.2014.00469.  
张艺能, 周玉萍, 陈琼华, 等. 拟南芥开花时间调控的分子基础 [J]. 植物学报, 2014, 49(4): 469–482. doi: 10.3724/SPJ.1259.2014.00469.
- [27] WERNER T, MOTYKA V, STRNAD M, et al. Regulation of plant growth by cytokinin [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2001, 98(18): 10487–10492. doi: 10.1073/pnas.171304098.
- [28] JIN X, QI J, LIU W H, et al. Effect of exogenous hormone IAA or 6-BA combined with nitrogen on the above-ground growth and physiological characteristics of *Elymus sibiricus* [J]. Pratacult Sci, 2021, 38 (2): 277–287. doi: 10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0296.  
金鑫, 祁娟, 刘文辉, 等. 外源激素吲哚乙酸、6-苄基腺嘌呤与氮素配施对老芒麦幼苗地上部生长的影响 [J]. 草业科学, 2021, 38(2): 277–287. doi: 10.11829/j.issn.1001-0629.2020-0296.
- [29] YI K, ZHAO Y H, HU Y, et al. Effect of GA<sub>3</sub> and 6-BA on rhizome segment growth and endogenous hormone content of Caucasian clover [J]. Acta Pratacult Sin, 2020, 29(2): 22–30. doi: 10.11686/cyxb2019317.  
衣琨, 赵一航, 胡尧, 等. GA<sub>3</sub> 和 6-BA 对高加索三叶草根蘖芽生长及内源激素含量的影响 [J]. 草业学报, 2020, 29(2): 22–30. doi: 10.11686/cyxb2019317.
- [30] ZHANG X Y, LI L G, GUO J L, et al. Effects of 6-BA pretreatment on physiological characteristics of Mengyuan *Cerasus humilis* under drought stress [J]. J NW Agric For Univ (Nat Sci), 2021, 49(7): 105–113. doi: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2021.07.012.  
张晓艳, 李连国, 郭金丽, 等. 6-BA 预处理对干旱胁迫蒙原欧李生理响应特性的影响 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2021, 49(7): 105–113. doi: 10.13207/j.cnki.jnwafu.2021.07.012.
- [31] HUANG J, QIAN R J, ZHANG X L, et al. Effect of different kinds of exogenous hormones on the flowering of *Phalaenopsis amabilis* [J]. J Zhejiang Agric Sci, 2009(3): 493–494. doi: 10.3969/j.issn.0528-9017.2009.03.021.  
黄建, 钱仁卷, 张旭乐, 等. 不同激素处理对蝴蝶兰开花的影响 [J]. 浙江农业科学, 2009(3): 493–494. doi: 10.3969/j.issn.0528-9017.2009.03.021.