

蝴蝶兰抽梗影响因素及调控方法研究进展

贺雅萍^{1,2}, 肖文芳², 陈和明², 吕复兵², 晏石娟³, 艾叶^{1*}, 李佐^{2*}

1. 福建农林大学风景园林与艺术学院, 福建福州 350002; 2. 广东省农业科学院环境园艺研究所/广东省花卉种质创新综合利用重点实验室, 广东广州 510640; 3. 广东省农业科学院农业生物基因研究中心, 广东广州 510640

摘要: 蝴蝶兰 (*Phalaenopsis*) 花色丰富, 花期持久, 花型独特, 具有很高的观赏价值, 是市场上最受欢迎和最具商业价值的兰花。蝴蝶兰花梗是由每片叶子基部的腋芽发育而来, 但在开花期多数腋芽处于休眠状态, 研究其潜伏腋芽萌发规律有助于通过促成栽培提高蝴蝶兰多花梗比率, 具有良好的应用前景。本文对影响蝴蝶兰花芽萌发的主要环境因素 (温度、植物激素、光环境、营养物质积累等) 及促进花芽萌发的调控方法进行综述, 以期为今后多花梗蝴蝶兰产品的生产调控提供参考依据。

关键词: 蝴蝶兰; 抽梗; 调控方法

中图分类号: S682.31 文献标识码: A

Research Progress on Influencing Factors and Regulatory Methods of *Phalaenopsis* Spiking

HE Yaping^{1,2}, XIAO Wenfang², CHEN Heming², LYU Fubing², YAN Shijuan³, AI Ye^{1*}, LI Zuo^{2*}

1. College of Landscape Architecture and Art, Fujian University of Agriculture & Forestry, Fuzhou, Fujian 350002, China; 2. Environmental Horticulture Research Institute, Guangdong Academy of Agricultural Sciences / Guangdong Key Laboratory of Ornamental Plant Germplasm Innovation and Utilization, Guangzhou, Guangdong 510640, China; 3. Agro-biological Gene Research Center, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou, Guangdong 510640, China

Abstract: *Phalaenopsis* has a rich variety of flower colors, a long-lasting flowering period, a unique flower type, and high ornamental value. It is considered the most popular and commercially valuable orchid in the market. The axillary buds at the base of each leaf of *Phalaenopsis* orchid can form pedicels, but most of the axillary buds are in a dormant state during the flowering period. Studying the germination law of latent axillary buds can help improving the proportion of multiple flower stalks in *Phalaenopsis*, and has good application prospects. The main environmental factors (temperature, plant hormones, light environment, nutrient accumulation, etc) affecting the germination of *Phalaenopsis* bud and the regulatory methods to promote flower bud germination will be reviewed, in order to provide a reference for the application of regulating more flower bud germination in *Phalaenopsis* industry in the future.

Keywords: *Phalaenopsis*; spike; regulatory method

DOI: 10.3969/j.issn.1000-2561.2023.11.002

植物的生命周期中会经历 2 个重要的阶段, 分别是营养生长和生殖生长阶段。在营养生长阶段积累了足够多的营养后, 会在内源信号和外部环境因子的共同调控下形成花器官, 从而进入生

殖生长阶段, 这一转换过程叫做成花诱导, 又称为开花转换。

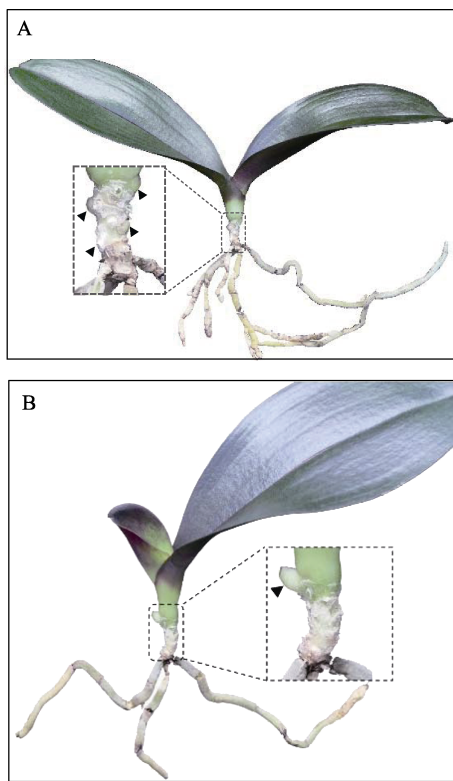
蝴蝶兰为兰科 (Orchidaceae) 蝴蝶兰属 (*Phalaenopsis* Blume) 植物, 素有“洋兰王后”

收稿日期 2023-07-25; 修回日期 2023-08-30

基金项目 广东省农业科学院协同创新中心项目 (No. XTXM202203); 广东省农业科学院学科团队建设项目 (No. 202127TD); 以农产品为单元的广东省现代农业产业技术体系创新团队建设项目 (花卉) (No. 2023KJ121)。

作者简介 贺雅萍 (1998—), 女, 硕士研究生, 研究方向: 园林植物与应用。*通信作者 (Corresponding author): 艾叶 (AI Ye), E-mail: aiyefafu@163.com; 李佐 (LI Zuo), E-mail: lizuo8375@126.com。

的美称。为单轴型附生兰，顶端分生组织能够持续分化出叶片，每片叶子基部的叶腋处都具有腋芽。在生产过程中，发现大多数蝴蝶兰品种在开花时期，每株仅有 1 个腋芽萌发形成花序（花梗），而其他腋芽均处于休眠状态（图 1）。迄今为止，关于蝴蝶兰花芽分化和发育规律等方面的研究取得了重要进展^[1-3]。然而，关于蝴蝶兰多个潜伏腋芽打破休眠同时抽梗的相关研究报道较少，对潜伏腋芽萌发调控机理认知的缺乏制约了多花梗蝴蝶兰的产率。因此，本文将着重综述温度、植物激素、光环境、营养物质积累对蝴蝶兰花芽萌发的影响，以期多花梗蝴蝶兰的培育提供参考。



A: 4 个潜伏腋芽在茎上的着生位置及休眠状态；
B: 萌发状态的腋芽。黑色三角指示腋芽。

A: The position of the four latent axillary buds on the stem and the dormant state; B: Developing axillary buds. Black triangles indicate axillary buds.

图 1 蝴蝶兰茎部腋芽着生位置及 2 种发育状态的形态特征

Fig. 1 Morphological characteristics of the emergence sites of axillary buds on the stem and the two developmental states of *Phalaenopsis*

1 温度对花芽萌发影响

蝴蝶兰（*Phalaenopsis*）的成花过程受温度影响，生产中主要通过改变环境温度来诱导其花芽萌发^[4]。在夏季，国内普遍利用高山上的凉爽气

候或通过配套设施降低温室温度至抽梗所需低温范围来促进蝴蝶兰抽梗^[5]。研究表明，蝴蝶兰从营养生长到生殖生长的过渡需要低温积累，最适低温为 15~25 °C。持续高于 28 °C 的温度虽然有助于促进蝴蝶兰叶片发育，但会抑制花芽抽梗；而低于 14 °C 则会引起寒害^[1, 6]，具体不同温度条件的处理效果有所差异（表 1）。KATAOKA 等^[7]的研究指出，在日平均温度为 23 °C 处理的蝴蝶兰植株，相较于 27 °C 处理的植株可提早 9 d 抽梗。BLANCHARD 等^[4]的研究表明，相比于高温（29 °C），低温（17、20、23 °C）显著提高了蝴蝶兰的抽梗率，并且高温会严重阻碍花梗的生成。此外，NEWTON 等^[8]补充指出，随着高温持续时间的延长，花芽萌发的比例降低，萌发时间会延迟，而营养生长会增加。为了获取高品质的蝴蝶兰，大多数种植者将温室的温度全天保持在 28 °C 以上，以促进幼苗营养生长，抑制植株过早产生花序^[9]。同时，为采取更节能的温室供暖策略，NEWTON 等^[8]的最佳高温时间试验表明，在白天加热至 29 °C，持续 12 h，并在其余时间恢复至 20 °C 的条件下，可以完全抑制花芽分化。因此，过高或过低的温度均不利于蝴蝶兰的花芽分化。综上，在蝴蝶兰的栽培过程中，应根据植株的成熟度变换温度条件，建议在白天加热至 29 °C 持续 12 h，促进蝴蝶兰幼苗的快速成熟，当植株进入生殖生长阶段后，给予适当的低温以促进抽梗。

蝴蝶兰生长发育的温度需求不仅局限于高温和低温值，适当的昼夜温差也能够起到调控植株生殖转变的作用。日温为 20~26 °C，夜温为 14~19 °C 的昼夜波动条件，能够诱导蝴蝶兰花梗出现。在 50 d 内，26/20、26/18 °C 的昼夜温度处理能够诱导蝴蝶兰 Big Chili 和 Sogo Yukidian 2 个品种的花序分生组织分化，而 29/21 °C 昼夜温度下的蝴蝶兰则无法抽梗^[10]。这与 BLANCHARD 等^[4]的研究结果一致，即使夜间气候凉爽，当白天温度过暖（高于 28 °C），也会导致蝴蝶兰抽梗失败。适宜的昼夜温差不仅促进抽梗进程，同时能够增加每株植株的花梗数量。如蝴蝶兰在 21/19 °C 昼夜温度下双梗率达到 25%^[11]。与传统的昼暖夜凉模式颠倒的情况也曾在蝴蝶兰研究中出现过。如蝴蝶兰杂交品种 Lava Glow 在 20/25 °C 处理下的抽梗率远高于 25/20 °C，且 25/20 °C 处理组的抽梗率极低。综上，不同品种的蝴蝶兰对诱导温度和反应时间的敏感性存在差异^[12]。

表 1 温度对蝴蝶兰抽梗的影响
Tab. 1 Effects of temperature on *Phalaenopsis* spiking

温度条件 Temperature condition	表型变化 Phenotypic change	参考文献 Reference
低温: 26/18 °C (昼夜)	植株抽梗	[1]
高温: 30/25、25/30 °C (昼夜); 低温: 25/20、20/25 °C (昼夜)	高温下均未抽梗; 低温下, 夜温高的抽梗率高于夜温低的抽梗率	[13]
高温: 29/21 °C (昼夜); 低温: 26/20、26/18 °C (昼夜)	高温下均未抽梗; 低温下均抽梗	[10]
高温: 32~35/26~28 °C (昼夜); 低温: 27/17 °C (昼夜)	低温处理抽梗率达 96.7%, 高温处理抽梗率为 0	[14]
高温: 30/25 °C (昼夜); 低温: 25/20 °C (昼夜)	高温组不抽梗, 低温组抽梗	[15]
实验 1: 分别在 20 °C 下处理 0、2、4、6、8 周, 之后转入 28 °C; 实验 2: 4 个不同的温度体系, 25/20、28/28 °C, 每隔 1 周高温, 每隔 2 周低温	实验 1: 低温持续越久, 抽梗率越高; 实验 2: 高温下抽梗率降低, 抽梗延迟	[16]
恒低温: 20、25 °C; 恒高温: 28 °C	20、25 °C 抽梗率为 100%; 28 °C 均未抽梗	[3]
恒温: 27、23 °C	27 °C 下抽梗时间晚于 23 °C	[7]
恒温: 14、17、20、23、26、29 °C; 昼夜温度: 20/14、23/17、26/14、26/20、29/17、29/23 °C	14、17 °C 的抽梗率最大; 白天高温抑制抽梗	[4]
恒温: 28 °C; 昼夜温度: 28/20 °C	恒温 28 °C 下不抽梗, 昼暖夜凉诱导抽梗	[17]
31、34 °C 下处理 15、30 d, 28 °C 下处理 30 d, 之后转入 20 °C	温度越高, 持续时间越久, 抽梗越延迟, 抽梗率越低	[18]
变温处理: 植株在 25/20、20/15 °C 下持续 1、2 或 3 周后, 转入 30 °C 持续 1 周, 最后转入初始温度下; 恒温处理: 植株置于 30 °C	植株初始温度为 25/20 °C 下的抽梗所需时间早于初始温度为 20/15 °C; 30 °C 下抑制抽梗	[19]
高温 29 °C, 分别持续 0、4、8、12、24 h, 其余时间为 20 °C	随着高温持续时间的增加, 植株抽梗率减少	[8]
高温: 30/25 °C (昼夜); 低温: 22/18 °C (昼夜)	高温下植株保持营养生长, 低温下抽梗	[20]
高温: 32/27 °C (昼夜); 低温: 14/18 °C (昼夜)	高温下植株保持营养生长, 低温下抽梗	[21]

2 植物激素影响花芽萌发

在蝴蝶兰的生长发育中, 低温是促进花芽萌发形成花梗的关键因素, 但植物激素也能在低温环境下发挥作用。喷施细胞分裂素 (6-BA) 能促进抽梗, 适宜浓度为 100~400 mg/L, 而赤霉素 (GA₃) 的效果微小, 与 6-BA 混合使用时甚至会降低其促进作用^[22]。BLANCHARD 等^[23]的研究表明, 经过高温 (29 °C) 和低温 (23 °C) 处理的蝴蝶兰, 分别喷施 6-BA 以及 6-BA 与 GA₃ 混合溶液, 结果表明, 花梗的萌发仅出现在诱导温度条件下; 进一步研究发现, 在喷施 400 mg/L 6-BA 后, 植株提前 3~9 d 抽梗, 且花梗数量增加, 其促进效果随着 6-BA 浓度的增高而增强; 混合溶液对诱导花序萌发的时间以及数量均无显著影响。随后, LEE 等^[22]进一步证实了 6-BA 对蝴蝶兰抽梗的促进作用, 并发现, 在低温诱导下, 单

独使用 GA₃ 以及与 6-BA 的混合溶液均抑制抽梗。在适宜温度下 (25/20 °C), 应用外源脱落酸 (ABA) 会延迟甚至抑制蝴蝶兰花梗生成, 浓度越高, 其抑制作用越显著。WANG 等^[24]研究发现, 休眠腋芽中的内源 ABA 含量远高于发育花芽中的含量。综上, 6-BA 对花芽形成的促进作用表明, 6-BA 至少在一定程度上调控了蝴蝶兰的花序生成。但其促进作用是有条件的, 因此 6-BA 的应用不能完全替代采用低温进行的诱导条件。在实际生产中, 由于蝴蝶兰较长的栽培周期及对低温的需求, 造成了高成本、高消耗的问题。植物激素作为影响植物发育过程中, 如种子萌发、植物器官发育的重要因素^[25], 外源喷施植物生长调节剂可部分取代温度环境因子的催梗效果 (表 2)。此外, 外源喷施植物生长调节剂具有易操作、成本低等特点, 因此在蝴蝶兰的生长发育中得到广泛应用。

表 2 植物激素对蝴蝶兰抽梗的影响
Tab. 2 Effects of exogenous hormones on *Phalaenopsis* spiking

处理条件 Treatment condition	表型变化 Phenotypic change	参考文献 Reference
实验 1: 6-BA 浓度分别为 100、200、400 mg/L; GA ₃ 、6-BA 不同浓度配比: GA ₃ (25、50、100 mg/L) +6-BA(25、50、100 mg/L); 实验 2: 6-BA 200 mg/L	实验 1: 单独使用 6-BA 提早 3~9 d 抽梗, 且提高花梗数量, 而 GA ₃ +6-BA 对抽梗率和抽梗数无任何效果; 实验 2: 29 °C 下, 外源激素处理无花梗生成; 转入 23 °C 后, 外源激素处理提早 10 d 抽梗且增加了花梗数	[23]
6-BA 浓度分别为 0、100、200、300、400 mg/L	6-BA 显著增加了抽梗数	[26]
6-BA 浓度为 100 mg/L, GA ₃ 别为 100、200 mg/L; 激素配比: 100 mg/L GA ₃ +100 mg/L 6-BA	28 °C 下, 所有处理均未能诱导花梗形成; 20 °C 下, 6-BA 加速了抽梗且显著增加了花梗数, 而 GA ₃ 和 GA ₃ +6-BA 则略有延迟花梗的生成	[22]

3 光环境影响花芽萌发

光照不仅是植物进行光合作用的能量来源, 同时也是植物感知外界环境的信号之一。通过光感受器, 植物能够感知环境中的光信号, 并调节生理反应以适应环境的变化。光环境信号主要包括光周期、光强度和光质量, 而不同的光环境会影响蝴蝶兰的生长和发育, 具体不同光环境条件的处理效果有所差异(表 3)。

在诱导低温环境下, 花梗形成前的光照强度显著影响抽梗速率和花梗数量。蝴蝶兰成花诱导的适宜光照强度为 60~500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, 低光照或黑暗处理均会抑制蝴蝶兰花芽发育^[27], 而高光照会导致光抑制, 严重阻碍光合作用的进行, 影响蝴蝶兰的生长发育^[28-29]。WANG^[30]通过研究证实, 处理蝴蝶兰时, 低光照强度[8 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$]或黑暗条件下, 植株无法完成花芽分化。随着光照环境的变化, 蝴蝶兰植株恢复抽梗。在 60、160 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 光强下, 蝴蝶兰在 30 d 内成功抽梗, 且光照强度的增加使植株抽梗时间提前。研究表明, 在持续高温环境中, 即使给予植株适宜的光强度[270 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$], 仍无法完成抽梗。因此, 温度和光照之间的相互作用可用于控制蝴蝶兰花序发育的时间。低温是花芽分化所必需的, 同时植株也需要足够的光强来快速响应低温以诱导抽梗。对蝴蝶兰进行遮荫处理会导致花芽分化推迟, 而推迟天数则随着遮荫程度的提高而增加。每株的花梗数量以及后续的花丰度指标则与之相反^[31-32]。适宜的光照强度有利于增强蝴蝶兰的光合性能, 促进形成花梗所需的碳水化合物, 如淀粉、葡萄糖、苹果酸等的合成, 并加快花梗的诱导^[31, 33]。黄丽娜^[34]以 3 个黄花品种的蝴蝶兰(小天鹅、皇后、KV642)为试验材料, 研究不同光照强度对植

株开花指标的影响时发现, 在 300 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 光照强度下, 小天鹅和 KV642 品种的抽梗率和抽梗数达到最大值, 完成抽梗所需时间也最短。而皇后品种则需要更强的光照, 需达到 500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 。研究结果说明不同品种蝴蝶兰所适应的光照强度存在差异。为更精确地获得植株所需的光照量, 植物生长发育模型常使用日累计光照量(DLI)代替光强作为光参数^[35]。适宜的 DLI 值能够改善蝴蝶兰植株的生长和发育, 缩短抽梗时间。KATAOKA 等^[7]分别给予蝴蝶兰 DLI 为 0.6、4.3 $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 的光照, 当 DLI 为 0.6 $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 时, 由于蝴蝶兰的光能供给不足, 与 4.3 $\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 的高光照水平相比, 植株抽梗延迟 47 d。这与 LEE 等^[36]的研究结果一致, 蝴蝶兰的生长和成花均受 DLI 水平的影响, 提高 DLI 水平有助于蝴蝶兰营养期生物量的积累, 从而加速打破腋芽休眠, 提高抽梗率和花梗数量。综上, 诱导低温和适宜的光照强度可以使蝴蝶兰的光合性能增加, 有利于花梗生成。

CHORY^[37]通过研究表明, 蓝光和红光被认为是促进大多数植物生长的最佳光源, 并且是光合碳同化的基本能量来源。在蝴蝶兰的生产中, 为了促进植株的生长发育, 人们通常使用不同的光源进行补充。研究表明, 红光有利于蝴蝶兰花梗的形成, 而蓝光则促进叶片发育(表 3)。MAGAR 等^[38]研究发现, 暖光 LED 灯具中含有较多的红光, 对蝴蝶兰的成花转换起到积极的作用, 花梗的形成时间显著早于冷光 LED 灯具以及自然光下的处理组。LEITE 等^[39]测试了 3 种可以改变太阳辐射光谱的遮阳网对蝴蝶兰生长发育的影响, 在红色遮阳网下, 花梗已经形成并开花, 而在蓝色和黑色遮阳网下, 花梗仍在形成中; 此外, 在红色遮阳网下, 每株花梗数量普遍高于其他遮阳网下的植株。这表明, 红色遮阳网对红光的吸收

表 3 光环境对蝴蝶兰抽梗的影响
Tab. 3 Effects of light-environment on *Phalaenopsis* spiking

影响因素 Influence factor	处理条件 Treatment condition	表型变化 Phenotypic change	参考文献 Reference
光强度	强光组：150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；弱光组：置于尼龙布下，光照强度约为强光组的 15%	强光组抽梗，而弱光组不抽梗	[32]
	20、150 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$	低光照下的植株的抽梗率、花梗数均低于高光照强度	[33]
	100、40、15 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$	光照强度越高，越早抽梗	[7]
	光照条件分别为强光照、中度光照、弱光照	低温下（23/18、28/23 $^{\circ}\text{C}$ ），强光区植株提早抽梗且抽梗率增加	[27]
	光照条件分别为强光照、中度光照、弱光照，强、中、弱光照强度分别为全日光的 12.0%、5.4%、2.6%	相比于中、低光照强度，高强度光照提高了花梗数	[31]
光质	实验 1：0、8、60、160 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ；实验 2：先在 0 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 条件下分别持续 2、4、6 周，之后转入 160 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 光照条件	实验 1：植株仅在光照强度为 160、60 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 下抽梗，且光照越强，抽梗越早；实验 2：黑暗条件下持续越久，抽梗越延迟	[30]
	分别置于蓝色、黑色、红色遮光网下	红色遮光网下植株的花梗生成时间早于其他遮光网条件下的植株	[39]
光周期	分别置于暖白 LED 灯、冷白 LED 灯条件下	LED 条件下的植株花梗数量均高于无 LED 灯条件；暖白 LED 灯比冷白 LED 灯更有利于花梗的生成	[38]
	昼夜光照时间：8/16、12/12 h	23 $^{\circ}\text{C}$ 下，8 h 光照比自然昼长提早开花 5~7 d	[43]
	昼夜光照时间：9/15、12/12、16/8 h	短日照更有利于抽梗	[44]
	昼夜光照时间：9/15、16/8 h	短日照更有利于抽梗	[42]

能够加速植株抽梗进程以及增加植株的花梗数。在蓝色或黑色遮荫网下的植株叶片生长情况最佳。因此，对蝴蝶兰进行光谱管理可以改善其商业性状。在实际生产中，可以使用红色光源作为补充光来促进蝴蝶兰的抽梗。

由于大多数蝴蝶兰品种原产于赤道附近的地区，光周期变化不明显，被认为是一种日中性植物，因此它们不需要特定的光周期来诱导成花转换^[40]。仅有少数的蝴蝶兰品种的成花转换受光周期调控^[41]。如在朵丽蝶兰（*P. pulcherrima*）催花调控研究中发现，其抽梗时间明显受到光照时间的影响，且短日照条件更有利于其抽梗以及生长^[42]。

4 营养物质积累影响花芽萌发

虽然低温能够诱导未成熟的植株抽梗，但是相比成熟植株，蝴蝶兰幼苗需要更长的持续低温时间才能诱导花芽分化^[45]；此外，未成熟植株进行催花调控，容易出现花梗数量减少、长度不一等不良现象的发生，从而直接导致整体花丰度降低^[9, 46]。因此，蝴蝶兰植株必须在营养生长期达到成熟状态，才能保证抽梗达到正常水平。成熟程度可以根据叶片指标来判断。一般而言，当蝴蝶兰幼苗移出培养瓶生长培养 13~15 个月，在 4~5 片发育完全的叶子、双叶展开达 30~40 cm、叶面

积达 500~800 cm^2 时即为成熟状态^[47-48]。在商业蝴蝶兰栽培中，提高温度对于防止幼苗花芽提前分化是必不可少的。研究发现，经过高温处理后，蝴蝶兰植株在营养生长期间的生物量累积量的增加有助于提高单株的花梗数量^[44, 49]。

肥料的应用可以调控蝴蝶兰的生长和发育。通常氮（N）肥有利于蝴蝶兰的营养生长，但浓度过高则会抑制抽梗，而磷（P）肥和钾（K）肥则有助于花梗生成和发育。N 浓度高于 200 mg/L 时，处理时间越长，植株叶片状态越旺盛，如叶片数量和叶面积显著上升^[50]。研究还发现，即使在冷诱导环境下，持续施用高浓度 N 肥也会推迟蝴蝶兰花梗的生成时间，同时抽梗率降低^[51]。但随着 N 水平的降低，蝴蝶兰花芽分化时间提前，且植株双梗率显著提高^[52-53]。在 N 的应用研究中，WANG^[54]研究发现蝴蝶兰对 N 源的反应和 N 浓度同样敏感。蝴蝶兰根系可以直接吸收硝酸盐（ $\text{NO}_3\text{-N}$ ）、铵（ $\text{NH}_4\text{-N}$ ）和尿素这 3 种形式中的 N。因此，提高 $\text{NO}_3\text{-N}$ 和 $\text{NH}_4\text{-N}$ 比值有利于提高抽梗率以及缩短抽梗时间。不同肥料的配比调和施用也对蝴蝶兰花梗的生成产生影响。在探讨不同的 N、P、K 配比对蝴蝶兰抽梗的促进效果时，研究发现，喷施含 P、K 水平较高，N 水平较低的 NPK 配比肥更有利于花芽分化^[13, 55]。综上，

通过调节肥料配比和施肥时间,可以综合改善蝴蝶兰的生长和开花品质,如在植株营养生长阶段,可以增加N肥比例以加速植株成熟,从而缩短幼年期,以降低生产时间和经济成本;而在生殖生长阶段,则应降低N肥比例,同时增加P和K的比例以促进花芽发育,缩短花梗形成时间。

5 展望

5.1 探索有效调控蝴蝶兰多花梗形成的方法

蝴蝶兰属于腋生多花序原基类兰科植物^[56],顶端分生组织能够持续分化出叶片,每片叶子基部的叶腋处均具有腋芽。然而在开花期,大多品种每株仅有一个腋芽萌发形成花梗,其他腋芽均处于休眠状态^[41],这严重降低了花的丰度。此外,在当前市场上,多花梗发育通常只出现于蝴蝶兰的小花品种中,而在蝴蝶兰大花品种中较少见。因此,需要研究者持续探索有效提高蝴蝶兰双花梗率甚至多花梗率的调控方法。

5.2 开展多组学联合解析蝴蝶兰花梗形成的分子机制

多组学方法的联合可以揭示生理和环境压力条件下的基因功能和网络^[57]。在过去的几十年里,多组学技术已广泛用于研究植物的生长发育。通过多组学技术筛选出导致多花梗形成的关键基因,这也是蝴蝶兰产值提升方面的一个热点问题,如降低催梗过程的能耗。蝴蝶兰腋芽从萌发、伸长到形成花梗是一个精细调控的过程。与拟南芥等模式植物已经呈现出深入全面的开花调控网络途径不同,目前蝴蝶兰只能通过过表达或基因沉默等技术研究与成花转换相关的基因及其内在调控通路,迄今仅通过基因沉默鉴定出调控抽梗相关的关键基因,如 *SVP*、*SPIK1*、*FTs* 等,而缺乏采用多组学技术策略进行蝴蝶兰抽梗的分子遗传机制分析。

参考文献

[1] LI Z, XIAO W F, CHEN H M, ZHU G F, LYU F B. Transcriptome analysis reveals endogenous hormone changes during spike development in *Phalaenopsis*[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(18): 10461.

[2] XU S P, ZHANG Y, LIANG F, YUAN X Y, JIANG S H, NIU S Y, CUI B. Transcriptome analysis provides insights into the role of phytohormones in regulating axillary bud

development of flower stalk in *Phalaenopsis*[J]. Scientia Horticulturae, 2022, 306.

[3] SAKANISHI Y, IMANISHI H, ISHIDA G. Effect of temperature on growth and flowering of *Phalaenopsis amabilis*[J]. Bulletin of the University of Osaka Prefecture, Series B: Agriculture and Biology, 1980, 32: 1-9.

[4] BLANCHARD M G, RUNKLE E S. Temperature during the day, but not during the night, controls flowering of *Phalaenopsis* orchids[J]. Journal of Experimental Botany, 2006, 57(15): 4043-4049.

[5] 刘晓荣, 王碧青, 朱根发, 陈智慧. 高山低温诱导蝴蝶兰花芽分化过程中的生理变化[J]. 中国农学通报, 2006(4): 310-313.

LIU X R, WANG B Q, ZHU G F, CHEN Z H. Changes of physiology during the cool temperature inducement on bud differentiation of *Phalaenopsis* orchid[J]. Chinese Agricultural Science Bulletin, 2006(4): 310-313. (in Chinese)

[6] 唐芸妃, 徐旭华, 丰锋, 赖思婷, 杨世茵, 区健晴, 廖菲. 温度对蝴蝶兰成花诱导的影响[J]. 广东农业科学, 2020, 47(9): 47-52.

TANG Y F, XU X H, FENG F, LAI S T, YANG S Y, OU J Q, LIAO F. Effect of temperature on flower induction of *Phalaenopsis amabilis*[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2020, 47(9): 47-52. (in Chinese)

[7] KATAOKA K, SUMITOMO K, FUDANO T, KAWASE K. Changes in sugar content of *Phalaenopsis* leaves before floral transition[J]. Scientia Horticulturae, 2004, 102(1): 121-132.

[8] NEWTON L A, RUNKLE E S. High-temperature inhibition of flowering of *Phalaenopsis* and *Doritaenopsis* orchids[J]. HortScience, 2009, 44(5): 1271-1276.

[9] LOPEZ R, RUNKLE E, WANGY T. Growing the best *Phalaenopsis* - Part 3: temperature and light requirements, height, insect and disease control[J]. Orchids, 2007(3):76.

[10] ZHANG Y J, SUN J X, PAN X J, GUO W J, ZHANG J W, SUN N N, DING P S, LIU C L, LIU S H, LIU X Q, LYU Y M. The effect of low temperature on growth and development of *Phalaenopsis*[J]. Pakistan Journal of Botany, 2020, 52(4): 1197-1203.

[11] PARADISO R, MAGGIO A, PASCALE S D. Moderate variations of day / night temperatures affect flower induction and inflorescence development in *Phalaenopsis*[J]. Scientia Horticulturae, 2012, 139: 102-107.

[12] POLLET B, KROMWIJK A, VANHAECKE L, DAMBRE P, VAN L M C, MARCELIS L F M, STEPPE K. A new method to determine the energy saving night temperature for vegetative growth of *Phalaenopsis*[J]. Annals of Applied Biology, 2011, 158(3): 331-345.

- [13] WANG Y T. Average daily temperature and reversed day / night temperature regulate vegetative and reproductive responses of a *Doritis pulcherrima* Lindley hybrid[J]. HortScience, 2007, 42(1): 68-70.
- [14] 曾新萍, 刘志成, 苏明华, 陈淳. 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.
ZENG X P, LIU Z C, SU M H, CHEN C. Dynamic changes of endogenous hormones and polyamine in *Phalaenopsis* leaves during floral bud formation[J]. Subtropical Plant Science, 2008, 37(3): 1-5. (in Chinese)
- [15] CHOU C C, CHEN W S, HUANG K L, YU H C, LIAO L J. Changes in cytokinin levels of *Phalaenopsis* leaves at high temperature[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2000, 38(4): 309-314.
- [16] LEE H B, LEE J H, JEONG S J, AN S K, KANG B C, KIM K S. Intermittent high temperature reduces leaf sugar content and inhibits inflorescence initiation in *Phalaenopsis* hybrid[J]. Environmental and Experimental Botany, 2021, 189: 104562.
- [17] CHEN W H, TSENG Y C, LIU Y C, CHUO C M, CHEN P T, TSENG K M, YEH Y C, GER M J, WANG H L. Cool-night temperature induces spike emergence and affects photosynthetic efficiency and metabolizable carbohydrate and organic acid pools in *Phalaenopsis aphrodite*[J]. Plant Cell Reports, 2008, 27: 1667-1675.
- [18] JEONG S J, LEE H B, AN S K, KIM K S. High temperature stress prior to induction phase delays flowering initiation and inflorescence development in *Phalaenopsis* queen beer 'Mantefon'[J]. Scientia Horticulturae, 2020, 263: 109092.
- [19] TSAI W T, WANG Y T, LIN H L. Alternating temperature affects spiking of a hybrid *Phalaenopsis*[J]. Acta Horticulturae, 2008, 766: 307-314.
- [20] QIN Q P, KAAS Q, ZHANG C, ZHOU L, LUO X Y, ZHOU M B, SUN X M, ZHANG L L, PEAK K Y, CUI Y Y. The cold awakening of *Doritaenopsis* 'Tinny Tender' orchid flowers: the role of leaves in cold-induced bud dormancy release[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2012, 31: 139-155.
- [21] KOH K W, LEE S H, CHEN H K, CHANG C Y, CHAN M T. *Phalaenopsis* flowering locus VE regulates floral organ maturation[J]. Plant Cell Reports, 2018, 37: 467-482.
- [22] LEE H B, IM N H, AN S K, KIM K S. Changes of growth and inflorescence initiation by exogenous gibberellic acid 3 and 6-benzylaminopurine application in *Phalaenopsis* orchids[J]. Agronomy, 2021, 11(2): 196.
- [23] BLANCHARD M G, RUNKLE E S. Benzyladenine promotes flowering in *Doritaenopsis* and *Phalaenopsis* orchids[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2008, 27(2): 141-150.
- [24] WANG W Y, CHEN W S, CHEN W H, HUANG L S, CHANG P S. Influence of abscisic acid on flowering in *Phalaenopsis* hybrida[J]. Plant Physiology and Biochemistry, 2002, 40(1): 97-100.
- [25] GOTTGENS M E, HEDDEN P. Gibberellin as a factor in floral regulatory networks[J]. Journal of Experimental Botany, 2009, 60(7): 1979-1989.
- [26] 吕秉韬, 吴静雪, 马关喜, 金蓉, 孙德利, 胡卫珍, 陈利萍, 齐振宇. 6-BA 对不同品种蝴蝶兰开花性状的影响[J]. 浙江农业科学, 2020, 61(6): 1115.
LYU B T, WU J X, MA G X, JIN R, SUN D L, HU W Z, CHEN L P, QI Z Y. Effect of 6-BA on flowering traits of different species of *Phalaenopsis* orchid[J]. Journal of Zhejiang Agricultural Science, 2020, 61(6): 1115. (in Chinese)
- [27] KUBOTA S, YONEDA K. Effect of light intensity preceding day / night temperatures on the sensitivity of *Phalaenopsis* to flower[J]. Engei Gakkai Zasshi, 1993, 62(3): 595-600.
- [28] GUO W J, LIN Y Z, LEE N. Photosynthetic light requirements and effects of low irradiance and daylength on *Phalaenopsis amabilis*[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2012, 137(6): 465-472.
- [29] 吴根良, 何勇, 王永传, 孙瑶, 朱祝军. 不同光照强度下卡特兰和蝴蝶兰光合作用和叶绿素荧光参数日变化[J]. 浙江林学院学报, 2008, 25(6): 733-788.
WU G L, HE Y, WANG Y C, SUN Y, ZHU Z J. Diurnal changes of photosynthesis and chlorophyll fluorescence in *Cattleya × hybrida* and *Phalaenopsis amabilis* with different light intensities[J]. Journal of Zhejiang Forestry College, 2008, 25(6): 733-788. (in Chinese)
- [30] WANG Y T. *Phalaenopsis* orchid light requirement during the induction of spiking[J]. HortScience, 1995, 30(1): 59-61.
- [31] KONOW E A, WANG Y T. Irradiance levels affect *in vitro* and greenhouse growth, flowering, and photosynthetic behavior of a hybrid *Phalaenopsis* orchid[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 2001, 126(5): 531-536.
- [32] WU P H, LIU C H, TSENG K M, LIU Y C, CHEN C C, YANG P P, HUANG Y X, CHEN W H, WANG H L. Low irradiance alters carbon metabolism and delays flower stalk development in two orchids[J]. Biologia Plantarum, 2013, 57(4): 764-768.
- [33] LIU Y C, LIU C H, LIN Y C, LU C H, CHEN W H, WANG H L. Effect of low irradiance on the photosynthetic performance and spiking of *Phalaenopsis*[J]. Photosynthetica, 2016, 54(2): 259-266.

- [34] 黄丽娜. 不同光强下蝴蝶兰的若干生理响应[D]. 福州: 福建农林大学, 2014.
HUANG L N. The physiological responses of different light intensity to *Phalaenopsis* growth and flowering[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2014. (in Chinese)
- [35] BLANCHARD M G, RUNKLE E S, FISHER P R. Modeling plant morphology and development of petunia in response to temperature and photosynthetic daily light integral[J]. *Scientia Horticulturae*, 2011, 129: 313-320.
- [36] LEE H B, LEE J H, AN S K, PARK J H, KIM K S. Growth characteristics and flowering initiation of *Phalaenopsis* Queen Beer 'Mantefon' as affected by the daily light integral[J]. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 2019, 60(5): 637-645.
- [37] CHORY J. Light signal transduction: an infinite spectrum of possibilities[J]. *The Plant Journal*, 2010, 61(6): 982-991.
- [38] MAGAR Y G, NOGUCHI A, FURUFUJI S, KATO H, AMAKI W. Effects of light quality during supplemental lighting on *Phalaenopsis* flowering[J]. *Acta Horticulturae*, 2019(1262): 75-80.
- [39] LEITE C A, ITO R M, LEE G T S, GANELEVIN M A, FAGNANI M A. Light spectrum management using colored nets to control the growth and blooming of *Phalaenopsis*[J]. *Acta Horticulturae*, 2008(770): 177-184.
- [40] JANG S, CHOI S C, LI H Y, AN G, SCHMELZER E, SCHMELZER E. Functional characterization of *Phalaenopsis aphrodite* flowering genes *PaFTI* and *PaFD*[J]. *PLoS One*, 2015, 10(8): e0134987.
- [41] WANG S L, AN H R, TONG C G, JANG S. Flowering and flowering genes: from model plants to orchids[J]. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 2021, 62:135-148.
- [42] WANG W Y, CHEN W S, HUANG K L, HUANG L S, CHEN W H, SU W R. The effects of day length on protein synthesis and flowering in *Doritis pulcherrima*[J]. *Scientia Horticulturae*, 2003, 97(1): 49-56.
- [43] YONEDA K, MOMOSE H, KUBOTA S. Effects of daylength and temperature on flowering in juvenile and adult *Phalaenopsis* plants[J]. *Engei Gakkai Zasshi*, 1991, 60(3): 651-657.
- [44] AN S K, KIM Y J, KIM K S. Optimum heating hour to maintain vegetative growth and inhibit premature inflorescence initiation of six-month and one-year-old *Phalaenopsis* hybrids[J]. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 2013, 54(2): 91-96.
- [45] LEE H B, AN S K, KIM K S. Inhibition of premature flowering by intermittent high temperature treatment to young *Phalaenopsis* plants[J]. *Horticulture, Environment and Biotechnology*, 2015, 56(5): 618-625.
- [46] PARADISO R, DE P S. Effects of plant size, temperature, and light intensity on flowering of *Phalaenopsis* hybrids in mediterranean greenhouses[J]. *The Scientific World Journal*, 2014, 2014: 1-9.
- [47] JIANG L, JIANG X X, LI Y N, GAO Y X, WANG S Y, MA Y H, WANG G D. FT-like paralogs are repressed by an SVP protein during the floral transition in *Phalaenopsis* orchid[J]. *Plant Cell Reports*, 2022, 41(1): 233-248.
- [48] 刘添锋. 闽西地区蝴蝶兰花期调控技术研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2010.
LIU T F. Study on the flowering regulation technology of the *Phalaenopsis* in West Fujian[D]. Fuzhou: Fujian Agriculture and Forestry University, 2010. (in Chinese)
- [49] TONGERLO E, IEPEREN W, DIELEMAN J A, MARCEILS L M. Vegetative traits can predict flowering quality in *Phalaenopsis* orchids despite large genotypic variation in response to light and temperature[J]. *PLoS One*, 2021, 16(5): e0251405.
- [50] WANG Y T, CHANG Y C A. Effects of nitrogen and the various forms of nitrogen on *Phalaenopsis* orchid—a review[J]. *HortTechnology*, 2017, 27(2): 144-149.
- [51] ICHIHASHI S. Effects of nitrogen application on leaf growth, inflorescence development, and flowering in *Phalaenopsis*[J]. *Department of Science (Biology), Aichi University of Education*, 2003, 52: 35-42.
- [52] LIN J A, SUSILO H, LEI J Y, CHANG Y C A. Effects of fertilizer nitrogen shortly before forcing through flowering on carbon-nitrogen composition and flowering of *Phalaenopsis*[J]. *Scientia Horticulturae*, 2019, 252: 61-70
- [53] VAN N F, DUECK T. Influence of fertilization and a high daily light integral on the growth and flowering of *Phalaenopsis* [J]. *Acta Horticulturae*, 2015(1078): 93-98.
- [54] WANG Y T. High NO₃-N to NH₄-N ratios promote growth and flowering of a hybrid *Phalaenopsis* grown in two root substrates[J]. *HortScience*, 2008, 43(2): 350-353.
- [55] 李金雨, 苏明华, 林丽仙. 蝴蝶兰花芽分化控制技术研究[J]. *福建农业学报*, 2008, 23(4): 466-468.
LI J Y, SU M H, LIN L X. Floral induction conditions for *Phalaenopsis*[J]. *Fujian Journal of Agricultural Science*, 2008, 23(4): 466-468. (in Chinese)
- [56] ROTOR G, WITHNER C. The photoperiodic and temperature responses of orchids[M]. New York: Ronald Press, 1959: 397-419.
- [57] SINGH U M, SAREEN P, SENGAR R S, ANIL K. Plant ionomics: a newer approach to study mineral transport and its regulation[J]. *Acta Physiologiae Plantarum*, 2013, 35(9): 2641-2653.