

# 芍药花芽分化及花期调控研究进展

潘艳花, 王卫成, 汤玲, 唐小刚, 任家玄  
(甘肃省农业科学院林果花卉研究所, 甘肃 兰州 730070)

**摘要:** 芍药(*Paeonia lactiflora* Pall.)是芍药科芍药属多年生草本花卉, 具有重要的观赏和药用价值, 但芍药的花期短而集中, 易枯萎导致花的质量降低。适宜的温度、光照、水分、营养和植物激素有助于促进芍药花芽分化和打破休眠。在促成和抑制栽培中, 选用早、晚花品种, 温度调控和外源物质也可控制芍药的花期。为有效延长芍药的供花时间, 通过对近年来国内外相关文献的梳理归纳, 阐述了芍药花芽分化发育和休眠的生理学机制、促成和抑制栽培等方面的研究进展, 以期为芍药花期调控研究提供理论依据。

**关键词:** 芍药; 花期调控; 促成栽培; 抑制栽培

中图分类号: S682.1

文献标志码: A

文章编号: 2097-2172(2024)02-0109-08

doi:10.3969/j.issn.2097-2172.2024.02.002

## Research Advances on Flower Bud Differentiation and Flowering Regulation of *Paeonia lactiflora*

PAN Yanhua, WANG Weicheng, TANG Ling, TANG Xiaogang, REN Jiakuan

(Institute of Fruit and Floriculture Research, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou Gansu 730070, China)

**Abstract:** *Paeonia lactiflora* Pall. is a perennial herbaceous flower belonging to the goldenseal family. It is famous for high ornamental and medicinal value. However, its utilization is limited by its short and concentrated flowering period, easiness to wilt which leads to reduced flower quality. Studies have shown that suitable temperature, light, water, nutrition, and plant hormones help promote flower bud differentiation and break dormancy. In terms of forcing and retarding cultivation, the flowering period of herbaceous peony can be controlled by choosing early and late flowering varieties, temperature regulation and exogenous substances. The paper reviews the physiological mechanism of flower bud differentiation and dormancy of herbaceous peony, and the ways of flower regulation such as forcing and retarding cultivation, aiming at improving the cultivation technology and providing theory basis for the regulation of flowering in herbaceous peony.

**Key words:** *Paeonia lactiflora* Pall.; Flowering regulation; Forcing culture; Retarding culture

芍药(*Paeonia lactiflora* Pall.)是芍药科芍药属的多年生宿根草本花卉, 其花朵硕大、香气浓郁、色彩鲜艳、姿态优美, 有“五月花神”“花仙”“花相”的美誉。在世界范围内大约有 30 个芍药品种, 主要分布于欧亚大陆以及美洲温带地区, 我国的芍药主要种植于华北、东北、陕西、山东以及甘肃南部等地。芍药根部发达、叶片形状多变、花瓣繁多、花色丰富、花型多变、品种繁多、抗性强, 被广泛地用于布置花坛、散植于庭院中作观赏性植物, 也可用于单株盆栽和切花<sup>[1]</sup>。其次, 芍药

具有食用价值, 如用于制酱或与蛋白粉炸薄饼食用<sup>[2]</sup>。芍药根可入药, 主要成分为安息香酸, 能有效地缓解人体疼痛<sup>[3-5]</sup>。芍药花中含有花药昔, 有助于散瘀活血、养肝护肝<sup>[6-8]</sup>。此外, 芍药还具有净化空气和防治病虫害的作用, 花和根用于提炼作栲胶, 通过喷洒可杀死病虫害。因此, 芍药具有广阔的开发利用前景。

芍药的花瓣为单瓣、半重瓣和重瓣, 共有单瓣型、荷花型、菊花型、蔷薇型、金蕊型、托桂型、金环型、皇冠型、绣球型等 9 种类型<sup>[9]</sup>。花

收稿日期: 2023-09-11

基金项目: 甘肃省农业科学院博士基金(2023GAAS39); 酒泉市科技计划项目(2023CA2003); 嘉峪关市科技计划项目(23-20)。

作者简介: 潘艳花(1985—), 女, 甘肃金昌人, 正高级农艺师, 硕士, 主要从事观赏型中药材品种选育及栽培等研究工作。Email: panyh2006@163.com。

通信作者: 王卫成(1968—), 男, 甘肃白银人, 副研究员, 主要从事林果花卉及园林绿化工作。Email: wang216630@sohu.com。

色主要以白和红为主,不同颜色带来不同的视觉感受和情感表达,花色在芍药栽培和市场中显得尤为重要。芍药的花径通常为 10~20 cm,常位于茎顶端或顶部 2~3 叶腋处,花期为 4—6 月,单株花期 6~10 d,通常较短的花期不能满足人们的期望。不同区域气候类型和自然环境的差异导致了芍药的花期不统一。如山东省芍药花期通常为 4 月下旬至 5 月上旬<sup>[10]</sup>,而甘肃省芍药观赏期较长,花期较中原地区晚,为 5 月 31 日至 6 月 28 日<sup>[11]</sup>。同时,芍药切花寿命短,限制了芍药产业化发展,因此延长芍药切花的寿命对提高其质量和市场竞争力具有很好的价值。促成和抑制栽培使花期提前或延迟,可使芍药在预期的时间开放,是控制花期的重要措施。据前人研究认为,冬季催花、夏季抑制可使芍药提前或延迟 1~2 月开花<sup>[12]</sup>。

芍药是中国的传统名花,也是栽培最早的花卉之一,象征着幸福和富贵,广受人们的喜爱。但芍药存在花期短、市场竞争力差的缺点。花期调控的基础是对花芽分化及发育的深入了解,为此,我们通过查阅汇总近年来国内外相关文献资料,从芍药花芽特性、促成和抑制栽培等方面进行了详细论述,以期为芍药花期调控研究提供理论依据。

## 1 芍药花期调控的机理

### 1.1 花芽分化及其影响因素

植物茎生长点分生出叶片、腋芽转变分化出花序或花朵的过程称为花芽分化,是营养生长向生殖生长转变的生理和形态标志。花芽分化是芍药生长发育过程中的一个重要阶段,也是芍药能够开花的关键步骤之一。当芍药进行一定营养生长进入生殖阶段后,营养生长逐渐缓慢或停止,花芽开始分化,芽内生长点向花芽方向行程,直至雌雄蕊完全形成为止。芍药花芽的多少和质量直接影响观赏效果。因此,了解花芽分化机理,确保花芽分化的顺利进行,是芍药优质栽培的基础。

1.1.1 花芽分化过程 芍药芽位于肉质根顶端,是组成茎、叶和花的混合芽,萌发后会抽枝、长叶,进而出现花蕾。成熟芽是花器官原基和芽鳞及叶腋内的侧芽原基多种原基的复合体,而成熟

后的花器官原基又分为苞片、萼片、花瓣、雄蕊和雌蕊原基等 5 种类型<sup>[13]</sup>。侧芽根据有无芽鳞分为鳞芽和裸芽,鳞芽存在于鳞片腋内,裸芽在叶原基腋内,是形成叶的原始体<sup>[14]</sup>。春季温度升高后,芍药裸芽会重新形成主干分枝或花枝,2 a 更新 1 次,而鳞芽生长 3 a 才可成为母代<sup>[15]</sup>。芍药花芽分化通常分为以下 3 个阶段。首先,芽尖生长点由尖变平,生长点边缘凸起,形成苞片原基,内侧凸起产生萼片原基<sup>[16]</sup>。此时,芍药的芽从休眠状态中苏醒,开始进入花芽分化诱导期。其次,萼片原基内侧凸起形成花瓣原基,顶端分生组织因花瓣原基的分化逐渐下凹。同时在下凹的花托盘内侧有颗粒状凸起产生,呈同心圆分布,并通过伸长发育逐渐形成雄蕊,最终发育为花药和花丝。雄蕊原基产生几天后,雌蕊原基的分化表现为 5 个圆形的凸起,此过程花瓣和花蕊的组织逐渐分化完全,花蕾逐渐成形。最后,花瓣和花蕊的组织不断发育壮大,花蕾完全发育成熟,以待开放<sup>[14-15]</sup>。

1.1.2 影响花芽分化的因素 芍药的花芽分化受多种因素的影响。温度是影响芍药花芽分化最重要的因素之一,温度过高或过低会抑制芽的分化,严重时引起芽的死亡。光照有利于芍药芽内激素的传输与合成,缺乏光照则导致芽的分化进程减缓。营养物质如氮、磷、钾等及微量元素铁、锌等也参与了芽的分化和发育。此外,适宜的生长素也会促进芽的形成<sup>[17]</sup>。总之,通过对环境条件进行调控,有助于促进芍药花芽的分化和发育,提高芍药的开花质量和产量。花芽分化时间在不同地区存在差异。对各地种植芍药的自然花期统计显示,花期多集中在 4 月中下旬至 5 月上旬<sup>[14-15, 18-21]</sup>,甘肃省因其高寒的自然环境条件,芍药自然花期为 5 月下旬至 6 月下旬,延长了芍药的供货期<sup>[11]</sup>。

### 1.2 花芽休眠及其调控

芍药在冬季低温条件下具有深休眠的特性,期间花的生长和发育停滞。休眠增强了芍药对环境的适应性,使其不断的生存、发展和进化,并使芍药积累一定的低温,进而打破休眠,保证来年的正常开花,低温积累不足会影响花芽休眠及休眠解除。

1.2.1 花芽休眠特性 休眠是芍药必须经历的过

程, 其花瓣原基分化会持续一个漫长的历程(10月中旬到翌年1月下旬), 而种子和芽必须经过低温作用才能破除休眠, 使胚轴和芽破土萌发, 正常生长开花<sup>[13]</sup>。Evans等<sup>[22]</sup>使用一定量的赤霉素A3(GA3)来代替低温促使花芽萌发, 虽然芍药花芽正常萌发, 但在生长发育过程中全部败育。同样的, 有研究发现GA3只能促进芍药萌发和现蕾, 而不能促进正常开花<sup>[23]</sup>, 即GA3对芍药开花具有部分作用, 只有通过低温作用才能打破休眠, 正常开花<sup>[14, 24-26]</sup>。

**1.2.2 影响花芽休眠的因素** 芍药芽的休眠和解除主要与温度、光照、水分、营养和植物激素有关。适宜的低温积累(5~10℃)有助于促进芽萌发, 温度低于一定界限, 生长和开花受阻。长期暗处理会促进芽体进入休眠。充足的光照利于植物激素的合成和转运, 对解除芽休眠有促进作用。例如, 赤霉素和乙烯分别是解除和促进芽休眠的植物激素。此外, 适宜的水分供应和营养水平能维持芽体的生理活性, 提供所需的能量和营养来促进芽休眠的发生和解除。目前关于低温打破芍药休眠的研究主要集中于低温温度和低温时间方面。Byrne等<sup>[27]</sup>最早指出芍药需在0℃冷藏60~90d才能打破休眠, 后来的研究者发现1℃或5℃也能打破休眠。此外, 2℃低温处理60d或6℃处理70d也可打破‘Sarah Bernhardt’芍药的休眠, 大量研究发现4.0℃和5.5℃均可作为打破芍药休眠的温度<sup>[20, 22, 26-28]</sup>, 因此, 0~5.5℃是解除芍药芽休眠的阈值<sup>[20, 28-29]</sup>, 而生产实际常以4℃冷藏处理为宜<sup>[14]</sup>。芍药花芽休眠的解除通常在低温温度与低温时间之间存在关联, 适宜的冷藏时间和温度利于芍药萌发和开花<sup>[12]</sup>。Byrne等<sup>[27]</sup>研究发现, 1℃和4℃下同时处理28d后, 处理温度越低, 芍药萌芽越多, 4℃处理42d与1℃冷藏28d效果一致。此外, 艾云蕊<sup>[14]</sup>对12个芍药品种最适冷藏温度和冷藏时间统计显示, 芍药品种大富贵、莲台、杨妃出浴在0~4℃分别冷藏28、42d, 结果发现芍药芽萌发存在时间差异, 表明芍药休眠的打破存在一个低温量最适值, 且在不同品种间存在差异<sup>[30]</sup>。对芍药早花和晚花品种低温量的研究有助于促成和抑制栽培。有研究发现, 品种花期与处理时间没有直接的联系<sup>[30]</sup>, 而秦魁杰<sup>[13]</sup>和

邹正祥<sup>[31]</sup>却认为早花品种比晚花品种需要更少的低温量。提前预冷及低温冷藏开始时间的把控对花芽分化具有重要影响。例如, Park等<sup>[32]</sup>在10℃下提前处理芍药14d, 成花率大幅度提高, 有效地减少了花芽的败育, 使植株提早开花。芍药花芽的最适开始冷藏的温度为自然温度达到低温阈值, 此时冷藏会使开花效率最大。在中国, 一般在10月下旬或11月开始冷藏催花, 此时温度已经开始降低, 无需提前预冷适应<sup>[20, 28]</sup>。

芍药打破自然休眠所需要的低温总量称为需冷量, 通过需冷量的估算对芍药的生产具有重要意义。目前, 已采用7.2℃模型、犹他模型、低需冷量模型、“北卡罗来纳”模型和动态模型来预测植物需冷量。周逸龄<sup>[20]</sup>对芍药品种大富贵、东方红、晴雯在(2±1)℃下通过冷藏处理49~70d就能打破休眠, 而芍药品种紫凤羽、桃花飞雪在(2±1)℃下冷藏处理70d才能打破休眠。以上研究表明需冷量因品种的不同会产生差异。

## 2 花期调控技术措施

### 2.1 促成栽培

芍药的开花时间为4—5月, 花期为5~7d, 短而集中, 而芍药的需求量日益增大, 无法适应市场鲜切花供应的需求。促成栽培可使花期提前, 进而尽早上市, 但传统的促成栽培技术仍然存在开花效率低、花蕾败育的问题。目前常用的促成栽培措施主要是冷库处理后转入温室处理<sup>[20, 33-34]</sup>。促成栽培措施主要有3种方式, 低温处理、外源赤霉素处理和低温+赤霉素处理<sup>[24]</sup>, 以上措施可使芍药开花提前30~60d。延长花期也是芍药促成栽培的另一面<sup>[35]</sup>。现结合近期大量相关的报道, 对影响芍药促成栽培的品种、栽培基质、上盆时间、温湿度、光照以及激素等因素进行了系统阐述。

**2.1.1 品种** 芍药不同品种在栽培中会在生育期和所需生物积温中表现出差异, 影响植株的成花率。朱旭云等<sup>[36]</sup>对13个芍药品种进行促成栽培试验, 发现芍药品种大富贵具有最早的物候期和最少的积温, 是盆花促成栽培的适宜品种。此外, 芍药鲜切花及盆栽花的开放寿命与积温也有关。有研究者对24个芍药品种切花低温贮藏后发现, 芍药品种玲珑玉、桃花飞雪的贮藏时间分别为

130、120 d, 而芍药品种巧玲只有 40 d<sup>[26]</sup>, 表明芍药切花耐贮藏性与品种有相关性。芍药的促成栽培品种要满足市场的需要, 在形态、花色、成花率、抗病虫害等方面应综合考虑。吴婷<sup>[28]</sup>通过层次分析法对 14 个芍药品种从商品特性、光能利用和抗病性指标等方面筛选, 认为蓝田飘香、莲台、巧玲、蓝海碧波、粉玉奴等 5 个品种可用于促成栽培。洛阳地区筛选出桃花飞雪、紫菱、蒙斯朱丽尔、红色魅力、公爵夫人、珊瑚魅力等早花品种和晚花品种莎拉·伯恩哈特用于春季芍药切花促成栽培<sup>[37]</sup>。综上, 根据芍药促成栽培的选育标准, 常用的品种为大富贵、莲台、朱砂判、西施粉、白玉冰、沙巾贯顶、铁杆紫、金带围、紫凤朝阳<sup>[38-39]</sup>。

**2.1.2 栽培基质** 芍药在萌芽和开花等生长过程中需要消耗营养维持自身的形态, 优质的培养基质和外源营养物质对芍药的促成栽培和生长发育起到促进作用。朱旭云等<sup>[36]</sup>以不同基质栽培芍药品种大富贵, 认为草炭土 + 珍珠岩组合为其生长提供了充足的养分和良好的透气性, 是最适宜的栽培基质; 同时, 还筛选出促成栽培最优的容器为窗纱网袋 + 周转箱。费菲<sup>[40]</sup>提出了芍药一般品种的上盆基质为腐熟的腐叶: 园土: 沙土按体积比为 2:3:1 的比例配制, 还需添加一定量的饼肥、磷肥、钾肥, 并以氮肥作为追肥施用。矿质元素会影响花芽分化, 调节植物的营养生长。前人的研究发现, 在花蕾败育的大富贵芍药中磷、钾元素低于正常值, 缺磷会抑制细胞分裂素的产生, 不利于花芽的形成<sup>[41]</sup>, 钾元素可以有助于增强丙酮酸激酶及淀粉合成酶的活性, 促进淀粉与糖等的合成、运输<sup>[42-43]</sup>。因此, 在芍药萌芽后喷施磷酸二氢钾叶面肥利于降低芍药花蕾败育率<sup>[44]</sup>。

植物根系具有吸收营养供给自身发育的作用, 芍药须根的吸收能力严重的影响花蕾的败育<sup>[45]</sup>, 提高成花率的研究也是芍药促成栽培的关键。有研究表明, 未经生根培养的芍药切花品种莎拉·伯恩哈特、堪萨斯、朱尔斯·埃利先生在生长状态、成花率和成花质量弱于生根培养<sup>[46]</sup>, 这表明生根培养对芍药促成栽培具有重要作用。相似的, 朱旭云等<sup>[36]</sup>认为浓度为 0.05 g/kg 的生根粉溶液对大富贵生根效果最好, 利于生长。最近有研究显示,

土壤微生物印度梨形孢可与芍药当年新生的毛细根结合, 通过刺激毛细根生长及增强光合速率, 促进了栽培芍药的生长<sup>[47]</sup>。此外, 印度梨形孢可分泌酶, 引起寄主根际土壤磷素增多, 使芍药根系吸收更多的有效磷, 进而提高了地上部的磷含量来降低花蕾败育率<sup>[47]</sup>。

芍药的采后保鲜对切花行业显得尤为重要, 延长鲜切花的寿命和保持花采后阶段的质量已成为最重要的问题之一。研究发现, 对两种芍药 Taebaek 和 Euseong 于采前或采后施用“Keunson”硅后, 生长属性均显著增加。采后贮藏时, 在花瓶保存溶液中添加硅可提高抗氧化酶活性和机械茎强度来显著延长花的寿命<sup>[48]</sup>。此外, 硅和防腐剂同时使用可减轻活性氧(ROS)的积累, 减少了水分的散失, 延长了采后芍药的寿命<sup>[49]</sup>。另一项研究显示, 红艳争辉芍药在 30 mg/L 的纳米银(nano-silver, NS)溶液处理下, 相对电导率(relative conductivity, REC)、丙二醛(malondialdehyde, MDA)、超氧阴离子自由基(O<sub>2</sub><sup>-</sup>)、过氧化氢(H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)和游离脯氨酸含量(proline, Pro)、超氧化物歧化酶(superoxide dismutase, SOD)、过氧化物酶(peroxidase, POD)、过氧化氢酶(catalase, CAT)、抗坏血酸过氧化物酶(ascorbateperoxidase, APX)等保护酶活性均增加, 延长了鲜切花的寿命<sup>[50]</sup>。

**2.1.3 上盆时间** 芍药的花期一般集中于 4—5 月, 促成栽培可使花期提前 60 d, 时期在“春节”开花。对一般品种来说, 芍药需要 50 d 才能自然开花。因此, 可将芍药在室外经历自然低温处理后于农历十月下旬上盆并进入温室管理, 每 2 d 浇透水 1 次, 利于植株“返水”及早进入生长状态<sup>[35]</sup>。早花品种通常需要 30 d 左右进行低温冷藏处理, 转入温室培养 60 d 开花, 中晚花品种则需要 50 d 左右去打破休眠, 并于温室中栽培 70 ~ 80 d 方可开花<sup>[40]</sup>, 可按以上时间对“春节”所需芍药上盆栽培。

**2.1.4 温、湿度管理** 温度管理是芍药促成栽培中最重要的影响因素之一。首先, 温度影响着打破休眠所需冷量。前人研究发现, 在 0 ~ 4 °C 冷库中冷藏大富贵芍药 28 d, 可满足其打破休眠的所需低温要求<sup>[51]</sup>。费菲<sup>[26]</sup>的研究中指出, 桃花飞雪芍药 4 °C 下冷藏 42 ~ 49 d 能解除休眠, 且在冷藏 49

d时花期提前,冷藏42d时有最高的成花率。不同品种对需冷量的要求有差异,蓝田飘香、莲台、巧玲、蓝海碧波、粉玉奴芍药在低温冷藏处理下较露地低温处理具有更高的成花率,但在冷库处理后,蓝田飘香、蓝海碧波中进入花瓣原基的比例最大,莲台和巧玲最少<sup>[26]</sup>。其次,对温度的研究主要在于打破休眠后的温室温度环境控制。对芍药来说,环境温度越高开放寿命会缩短,温度越低开放时间有所延长。促成栽培品种转入温室后应逐渐加温,温度控制为20~25℃。加温方式如下:前10天,昼/夜=(17~18)℃/(5~6)℃;中15天,昼/夜=(15~20)℃/(10~12)℃;后25天,昼/夜=(20~25)℃/(14~15)℃;空气湿度以60%~80%为宜,湿度过高会使芍药枝叶徒长、茎秆纤弱、花蕾发育减缓,且易引起病害的发生<sup>[40]</sup>。刘燕等<sup>[52]</sup>提出了详细的控制方法:芍药转入温室后第1~7天,昼/夜=(10~15)℃/(5~10)℃;第8~17天,昼/夜=(15~20)℃/(10~15)℃;第18~35天,昼/夜=(20~25)℃/(10~15)℃;第36~45天,昼/夜=(25~28)℃/15℃;第46~60天,昼/夜=25℃/(15~18)℃。25℃时芍药萌芽和开花速率最快<sup>[53]</sup>,但促成栽培时温度不宜过高。

**2.1.5 光照管理** 光对植物生长具有调节作用,促进植株的根、茎和叶片的生长。李玉敏<sup>[54]</sup>发现,500~1000 Lux光照可促进芍药的生长发育并提升花的色彩和质量。芍药是长日照还是日中性植物,存在很大的争议。一方面,芍药属于长日照植物,其花蕾发育和开花均需长日照下进行,对光周期和光照强度的研究至关重要。芍药温室管理中光照时数应为13~15 h/d。韩婧等<sup>[55]</sup>对大富贵和桃花飞雪通过不同光照周期处理后发现,14 h/d为以上2个芍药品种的最佳光周期,且与芍药露地栽培的春季自然光周期一致。叶露莹<sup>[56]</sup>指出,芍药转入温室后于8:00~17:00时可使用自然光照[光照强度为31~1000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ],于每天7:00~8:00时和17:00~20:00时补光[光照强度为2~3  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ],之后使用高压钠灯补光[光照强度为10~200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ];周逸龄<sup>[20]</sup>也采用了相似的光照环境管理补光,于8:00~16:30时采用自然光照[光照强度为31~1000  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ],在6:00~8:00时和16:30~20:00时采用400 W高

压钠灯补光[光照强度为10~200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ ],光照时长为14 h。相似的,许文营等<sup>[37]</sup>认为在芍药的温室管理中,每天光照时长应为8~12 h,宜采用光照强度为10~200  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 的高压钠灯进行补光。此外,在芍药促成栽培温室的管理中,需每天转动花盆方向来使其均匀受光,防止茎秆因向光性而弯曲而影响花的美观和质量<sup>[26]</sup>。

**2.1.6 激素调控** 赤霉素(gibberellins, GAs)能促进植物茎的伸长、萌芽、开花、结果,在芍药促成栽培中起重要作用。例如,以浓度100 mg/L的GA<sub>3</sub>水溶液处理大富贵芍药可有效地促进芽的萌发和开花,达到最优的催花效果<sup>[24]</sup>。成仿云等<sup>[51]</sup>发现浓度为100~250 mg/L的赤霉素水溶液具有减少展叶期和显蕾期的低温积累、提高成花率及延长花期的作用,但浓度不宜过高或过低。此外,芍药促成栽培进入温室管理时,以2000 mg/L的赤霉素水溶液浇灌可解除休眠。另有研究显示,大富贵芍药浇灌浓度为100 mg/L的赤霉素水溶液450 mL时花期最早<sup>[44]</sup>。随着对低温和赤霉素在促成栽培中的作用增多,许多学者将关注点转向低温和赤霉素的共同作用是如何促进芍药提早开花的。姜楠南等<sup>[44]</sup>发现大富贵芍药在0~4℃下低温处理35 d后,转入温室以100 mg/L的赤霉素水溶液浇灌获得了最高的成花率。王小雷等<sup>[57]</sup>通过对雪源红花芍药进行赤霉素处理的试验,提出的促成栽培方案为低温(0~4℃)冷藏处理后,温室培养时施加赤霉素溶液,并在萌芽后追加液肥以获得最大的效益。生长抑制剂可阻碍植物自身或特定器官的生长,而对盆栽芍药来说,生长抑制剂可使植株紧凑和矮化,提升了整体的质量。例如,在大富贵苞片与花蕾分化之前每株根施2 g多效唑,后期喷施浓度为0.15 g/kg的缩节胺溶液,对控制株型的效果最好<sup>[36]</sup>。

**2.1.7 病害** 病害会造成芍药的生长衰弱,影响花的质量,严重时引起植株死亡。芍药促成栽培时在温室中一直处于高温高湿的环境,极易发生病害。常见的病害主要有根腐病、灰霉病和炭疽病等。为预防灰霉病和炭疽病,可在芍药进入温室管理前对整个温室环境用45%百菌清烟剂封闭熏蒸。同时,每7 d用75%百菌清可湿性粉剂600倍液,或70%甲基托布津可湿性粉剂1000~1500

倍液, 或 65%代森锌可湿性粉剂 600 倍液对环境喷雾<sup>[38, 43]</sup>。根腐病的防治可在芍药上盆后于水中加入 50%代森铵可湿性粉剂 200 倍液, 或 70%甲基托布津可湿性粉剂 800 倍液浇灌, 之后在生长过程中再灌根 2~3 次。此外, 在上盆前应对种苗浸泡消毒处理<sup>[58]</sup>。当芍药植株发病时, 应及时清除病株, 避免大规模的传染, 并对环境尤其是病株周围植株喷药防治<sup>[45]</sup>。

## 2.2 抑制栽培

抑制栽培可使花卉在自然花期之外按照人们的意愿开花。芍药的花期较短, 抑制开花可调整其花期, 提高芍药的市场竞争力。抑制开花还可延长芍药植株的生命周期, 从而延长芍药的观赏期和市场销售期, 进而满足其观赏价值和市场需求, 增加种植者的收入。

**2.2.1 品种选择** 根据芍药花芽分化和休眠的原理, 要使芍药晚开花, 应选用晚花品种, 例如冰青、杨妃出浴、红雁飞箱、玲珑玉、赵园粉、花红重楼、砚池漾波、银针绣红袍等。

**2.2.2 温度控制** 通过对温度的控制可延长芍药花期。休眠期冷藏有助于控制花开放的日期, 具体做法: 于早春将尚未萌芽的芍药转移至 0℃冷库, 期间保持植株湿润, 按所需的开花时间提前 30~45 d 出库栽培<sup>[59]</sup>。若 4—8 月出库定植, 需 30~35 d 开花; 3 月或 9 月定植, 则需 45 d 左右开花。宋碧琰<sup>[60]</sup>采用 0~2℃冷藏未萌芽芍药, 并逐步升高冷藏温度, 在 6 月底 7 月初出库移至高山栽培, 延长了芍药的花期, 但出库后外界高温导致花蕾全部出现了败育。对生长期冷藏可延长花期的长度来抑制芍药开花, 将带花蕾芍药于 3~5℃冷藏, 用花前 2~3 d 正常出库栽培即可, 但此方法只适用于短期冷藏<sup>[13]</sup>。芍药与牡丹同属芍药科芍药属花卉, 对于牡丹抑制栽培的研究相对较多, 可为芍药的抑制栽培提供思路。研究发现, 将未萌发花芽的牡丹在 -2~1℃低温冷藏, 可实现花芽 300 d 不萌发<sup>[61]</sup>。同样的, 在牡丹生根上盆后于 1~5℃处理 7 d, 之后设置温度为 -6~0℃, 可保存 30~300 d<sup>[62]</sup>。叶子易等<sup>[63]</sup>发现, 牡丹植株在 -4~0℃低温环境中贮藏到一定时间可实现周年的供应。

**2.2.3 化控** 以往对芍药栽培的研究集中于盆栽

苗木。露地栽培条件难以控制温度, 有关花期调控的报道较少。有研究显示, 对红艳争辉芍药从展叶期开始喷雾对照离子水、2%纳米碳酸钙溶液和 4%纳米碳酸钙溶液 5 次, 结果发现, 使用 2%、4%纳米碳酸钙溶液处理的芍药盛花期均比对照离子水喷雾延长 7 d<sup>[64]</sup>。

## 3 小结与展望

芍药是重要的观赏和药用植物, 在世界各地广泛栽培。芍药的花期短而集中, 且需通过低温诱导打破芽的休眠, 难以实现全年开花栽培。芍药的切花存在花期短暂、花蕾易开放、花朵易掉落和保鲜困难等问题。总的来看, 适宜的温度、光照、水分、营养和植物激素均有助于促进花芽分化和打破休眠。促成栽培中, 选用早花品种在低温处理后进入温室管理, 用赤霉素溶液浇灌, 并施用外源物质如 Si、N、P、K 等叶面肥可使芍药尽早开花, 提高切花的质量。抑制栽培中, 可选用晚花品种通过控制温度来延迟花期。

有关芍药的促成和抑制栽培技术已有报道, 然而, 目前的研究大多集中在促成栽培中, 在抑制栽培中探究较少。此外, 对芍药的研究中存在以下问题仍待解决: 一是芍药是长日照还是日中性植物存在争议; 二是芍药抑制栽培技术不成熟, 植物激素和其他抑制剂对抑制栽培的研究未见报道; 三是芍药缺少基因组, 大大阻碍了芍药基因功能的探索; 四是对互作蛋白和启动子顺式作用元件的研究较少, 对分子作用机理研究较浅; 五是芍药的遗传转化体系尚不成熟, 基因功能探索准确性较低。

## 参考文献:

- [1] 李嘉珏. 中国牡丹与芍药[M]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [2] 于红卫. 芍药的历史文化及其价值[J]. 河南农业, 2020(25): 13.
- [3] 陈聪聪, 阴奇材, 田俊生, 等. 基于肝脏代谢组学的柴胡-白芍药对抗抑郁作用机制研究[J]. 药学学报, 2020, 55(5): 941-949.
- [4] ZHU X X, JING L L, CHEN C, et al. Danzhi xiaoyao San ameliorates depressive-like behavior by shifting toward serotonin via the downregulation of hippocampal indoleamine 2, 3-dioxygenase[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2015, 160: 86-93.

- [5] JIANG D X, CHEN Y S, HOU X T. Influence of *Paeonia lactiflora* roots extract on cAMP-phosphodiesterase activity and related anti-inflammatory action[J]. Journal of Ethnopharmacology, 2011, 137(1): 914-920.
- [6] SUGISHITA E, AMAGAYA S, OGIHARA Y. Studies on the combination of *Glycyrrhizae radix* in shakuyakusan-zo-to [J]. Journal of Pharmacobio-dynamics, 1984, 7(7): 427-435.
- [7] 毛霞, 陈文佳, 李鹰飞, 等. 基于网络药理学研究策略探究芍药苷对佐剂诱导型关节炎大鼠模型的治疗作用及其分子机制[J]. 药学学报, 2019, 54(11): 2000-2010.
- [8] YE J, DUAN H, YANG X, et al. Anti-thrombosis effect of paeoniflorin: Evaluated in a photochemical reaction thrombosis model in vivo[J]. Planta Medica, 2001, 67(8): 766-767.
- [9] 白振海, 禹明甫, 胡培月. 观赏芍药优质栽培技术[J]. 林业实用技术, 2006(10): 40-41.
- [10] 刘玉梅. 观赏芍药生态习性及其栽培技术研究进展[J]. 安徽农业科学, 2008(12): 4965-4967; 4969.
- [11] 赵亚兰, 代立兰, 徐琼, 等. 甘肃本地芍药资源分布与调查[J]. 中兽医医药杂志, 2022, 41(5): 26-31.
- [12] HALEVY A H, LEVI M, COHEN M, et al. Evaluation of methods for flowering advancement of herbaceous peonies[J]. HortScience, 2002, 37(6): 885-889.
- [13] 秦魁杰. 芍药[M]. 北京: 中国林业出版社, 2004.
- [14] 艾云蕊. 芍药感受低温的花芽发育状态研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2016.
- [15] 王宗正, 章月仙. 从芍药的花芽分化试论芍药、牡丹的花型形成和演化[J]. 园艺学报, 1991, 18(2): 163-168.
- [16] 黄凤兰, 牛红云, 孟凡娟, 等. 芍药花芽分化过程的显微研究[J]. 东北农业大学学报, 2009, 40(3): 57-61.
- [17] 孟凡聪, 刘燕. 芍药花期调控研究进展[J]. 华北农学报, 2005(S1): 148-151.
- [18] 何小弟, 张远兵, 王静, 等. 芍药花芽形态分化的解剖学观察初探[J]. 安徽农业科学, 2007, 35(3): 719-722.
- [19] 吕长平, 成明亮, 莫宁捷. 长沙地区芍药花芽形态分化研究[J]. 湖南农业大学学报, 2009, 35(2): 142-144.
- [20] 周逸龄. 芍药花芽分化与需冷量研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [21] 王桐霖, 吕梦雯, 徐金光, 等. 芍药鳞芽年发育进程及生理机制的研究[J]. 植物生理学报, 2019, 55(8): 1178-1190.
- [22] EVANS M R, ANDERSON N O, WILKINS H F. Temperature and GA3 effects on emergence and flowering of potted *Paeonia lactiflora*[J]. Hortscience, 1990, 25(8): 923-924.
- [23] 刘利刚. 盆栽芍药研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.
- [24] 成仿云, 张文娟, 于晓楠, 等. 赤霉素及生根粉对芍药促成栽培的影响[J]. 园艺学报, 2005, 32(6): 1129-1132.
- [25] 龙芳. 芍药的春节催花技术研究及抑制栽培初探[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [26] 费菲. 芍药切花多季生产技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2008.
- [27] BYRNE T G, HALEVY A H. Forcing herbaceous peonies[J]. Journal of the American Society for Horticultural Science, 1986, 111(3): 379-383.
- [28] 吴婷. 芍药促成生产栽培关键技术研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2014.
- [29] GUO X, HU X, MA Y, et al. Identification of differentially expressed genes during bud dormancy release in *Paeonia lactiflora* 'Dafugui'[J]. Acta Horticulturae, 2017, 1171: 163-174.
- [30] FULTON T A, HALL A J, CATLEY J L. Chilling requirements of *Paeonia* cultivars[J]. Scientia Horticulturae, 2001, 89: 237-248.
- [31] 邬正祥. 中国观赏芍药品种的资源调查与促成栽培评价[D]. 北京: 北京林业大学, 2006.
- [32] PARK J, RHIE Y H, LEE S Y, et al. Pre-chilling promotes flowering in *Paeonia lactiflora* 'Taebaek' without flower bud abortion[J]. Horticulture, Environment, and Biotechnology, 2015, 56(1): 1-8.
- [33] AOKI N. Effect of chilling period on the growth and cut-flower quality of forced herbaceous peony[J]. Bulletin of the Faculty of Agriculture Shimane University, 1991, 25: 149-154.
- [34] GAO J Z, GAORF, SHEN Y B, et al. Solar-heated greenhouse condition affects the flower productivity, photosynthesis and chlorophyll content of herbaceous peony[J]. Journal of Food, Agriculture & Environment, 2012, 10: 1457-1463.
- [35] 袁同印. 芍药温室促成栽培技术要点[J]. 农家参谋, 2014(9): 19.

- [36] 朱旭云, 苑红霞, 周保国, 等. 芍药盆花促成栽培技术研究[J]. 山东林业科技, 2002(5): 7-10.
- [37] 许文莹, 王煜, 智利红, 等. 洛阳地区切花芍药设施促成栽培技术[J]. 北方园艺, 2022(16): 150-153.
- [38] 王历慧, 郑黎文, 于晓南. 观赏芍药促成栽培技术与休眠解除的研究进展[J]. 北方园艺, 2011(6): 201-204.
- [39] 苏丽娟, 李秀娟. 芍药促成栽培品种对比试验[J]. 山东林业科技, 2010, 40(1): 9-11.
- [40] 费菲. 春节期间切花芍药促成栽培[J]. 中国花卉园艺, 2008(22): 30.
- [41] 谢利娟, 王定跃, 孙敏. 毛棉杜鹃花芽分化期叶片 C、N、P 质量分数的变化[J]. 东北林业大学学报, 2009, 37(9): 45-47.
- [42] 黄玲, 翁贤权, 侯利涵, 等. 不同形态氮及钾营养对栲树苗生长和氮吸收的影响[J]. 中南林业科技大学学报, 2019, 39(9): 39-47.
- [43] 薛欣欣, 吴小平, 罗雪华, 等. 钾镁胁迫对巴西橡胶树花药苗生理特性及叶绿体超微结构的影响[J]. 热带作物学报, 2019, 40(8): 1507-1514.
- [44] 姜楠南, 房义福, 温立柱, 等. 促成栽培对芍药生长开花的影响[J]. 经济林研究, 2020, 38(2): 215-221.
- [45] 刘凡渝. 冬季芍药催花[J]. 中国花卉园艺, 2018(2): 34-35.
- [46] 杨涌, 郑守如, 张继雨, 等. 芍药促成栽培中生根处理对其长势的影响[J]. 农业科技通讯, 2022(12): 167-170; 190.
- [47] 武明雅, 刘方春, 刘丙花, 等. 印度梨形孢对促成栽培芍药生长及磷素吸收的影响[J]. 北方园艺, 2023(9): 46-53.
- [48] SONG J N, LI Y L, HU J T, et al. Pre-and/or postharvest silicon application prolongs the vase life and enhances the quality of cut peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) flowers[J]. Plants (Basel), 2021, 10(8): 1742.
- [49] SONG J N, YANG J L, JEONG B R. Synergistic effects of silicon and preservative on promoting postharvest performance of cut flowers of peony (*Paeonia lactiflora* Pall.)[J]. International Journal of Molecular Sciences, 2022, 23(21): 13211.
- [50] ZHAO D, CHENG M, TANG W, et al. Nano-silver modifies the vase life of cut herbaceous peony (*Paeonia lactiflora* Pall.) flowers[J]. Protoplasma. 2018, 255(4): 1001-1013.
- [51] 成仿云, 龙芳, 于晓南, 等. 芍药促成栽培及其冷藏与赤霉素处理的影响 [C]//中国园艺学会, 中国工程院农业学部. 中国园艺学会十届二次理事会暨学术研讨会论文集摘要集, 北京: 中国林业出版社, 2007.
- [52] 刘燕, 韩婧, 牛立军, 等. 芍药无土栽培产业化盆花生产方法: CN102960222A[P]. 2013-03-13.
- [53] HALL A J, CATLEY J L, WALTON E F. The effect of forcing temperature on peony shoot and flower development[J]. Scientia Horticulturae, 2007, 113(2): 188-195.
- [54] 李玉敏. 牡丹冬季室内催花主要技术[J]. 林业科技通讯, 2001(3): 45-46.
- [55] 韩婧, 吴益, 赵琳, 等. 光周期对促成栽培芍药生长开花和叶绿素荧光动力学影响[J]. 北京林业大学学报, 2015, 37(9): 62-69.
- [56] 叶露莹. 芍药盆栽无土栽培基质研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2010.
- [57] 王小雷, 邹聪聪, 孙序磊, 等. 促成栽培对芍药生长开花的影响[J]. 农业开发与装备, 2021(10): 177-178.
- [58] 吕效生, 潘凤霞. 大田切花芍药鲜促成栽培技术[J]. 园艺与种苗, 2023, 43(1): 15-16; 22.
- [59] 小西国义, 今西英雄. 花卉花期控制[M]. 李睿明译. 台北: 淑馨出版社, 1992.
- [60] 宋碧琰. 奥运用花——芍药高温抑制栽培研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2007.
- [61] 张孟仁. 牡丹周年开花技术[J]. 中国林业产业, 2005(8): 30-32.
- [62] 侯小改. 一种牡丹抑制栽培冷藏方法: CN102132660A [P]. 2011-07-27.
- [63] 叶子易, 胡永红, 李临剑. 牡丹反季节花期调控技术路线[J]. 北方园艺, 2012(20): 44-46.
- [64] 赵大球, 陶俊, 汤寓涵, 等. 一种延迟露地芍药花期的方法: CN106069065A[P]. 2016-11-09.