

邓衍明, 齐香玉. 外部因素对茉莉生长发育的影响研究进展[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(18): 62–65.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.18.012

# 外部因素对茉莉生长发育的影响研究进展

邓衍明, 齐香玉

(江苏省农业科学院休闲农业研究所, 江苏南京 210014)

**摘要:**茉莉是非常重要的园艺植物, 兼具观赏、药用和茶用功能。但由于茉莉不是起源于我国, 生长发育对环境条件有特殊要求, 突出表现在其耐寒性较差、喜肥水和充足的光照等方面, 增加了种植难度。本文综述了温度、光照、水分、营养物质及植物激素等外部因子对茉莉生长和发育影响的研究进展, 分析了茉莉植株对这些因素的生理生化与细胞结构等方面的响应机制, 并对未来研究的主要方向进行了讨论和建议, 以期为提高茉莉的栽培管理技术水平、增加产花量和改良花品质提供参考。

**关键词:**茉莉花; 生长; 发育; 环境因子; 响应机制; 建议; 研究进展

**中图分类号:** S685.160.1      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1002-1302(2019)18-0062-04

茉莉 [*Jasminum sambac* (L.) Ait.] 为木犀科茉莉属常绿直立或攀援灌木, 又名茉莉花、茶叶花、叶子花等, 原产于印度、巴基斯坦等地, 约在西汉时期传入我国, 至今已有 2 000 年左右的栽培历史<sup>[1]</sup>。茉莉用途广泛, 除可用于加工著名的茉莉花茶、制作香精和香料外, 还可用于花篱、花墙及盆栽观赏, 并可作为头花、簪花、胸花、襟花等使用; 茉莉的根、茎、叶、花均可入药, 具有治疗目赤肿痛和止咳化痰等功效<sup>[2]</sup>。因此, 茉莉花深受我国人们的喜爱, 在广西、福建、四川、广东、台湾、海南等地均有较大面积栽培。据统计, 2015 年我国茉莉种植面积已接近 1 334 hm<sup>2</sup>, 占各国种植总面积的 2/3 左右, 鲜花产量已突破 10 万 t, 居世界首位<sup>[3]</sup>。

但茉莉的起源地为印度、巴基斯坦等亚热带地区, 其生长发育对环境因素有独特要求, 尤其是对温度和光照要求甚高, 如不能满足其需要, 会导致生长异常、发育不良、难以正常开花或花质下降等问题<sup>[4]</sup>。同时, 不同瓣型茉莉(单瓣、双瓣、多瓣等)的生态适应性不同, 对环境条件的需求有差异, 对生产上的栽培管理技术要求也必然不同<sup>[5-6]</sup>。近年来, 国内外从温度、光照、水分、营养物质及植物激素等外部因素对茉莉生长发育影响的角度开展了大量研究工作, 并从生理生化、细胞结构等角度研究了植株对环境的响应机制。因此, 有必要对这些结果进行归纳、整理和分析, 以期为提高茉莉栽培管理技术水平、增加产花量和改良花品质等提供参考。

## 1 环境因素对茉莉生长发育的影响

### 1.1 温度

温度对茉莉的生长有较大影响。叶茂宗等以双瓣茉莉品种为对象开展茉莉冻害与温度关系的研究, 发现气温 2 ℃ 为冻害的临界温度, 会导致当年生新梢和部分叶片冻伤; 低于

-2 ℃ 的低温会引起 3 级冻害, 不仅叶片和当年生新枝全部死亡, 还会导致主枝与主干严重冻伤或死亡, 并使根系受伤; 而 -5 ℃ 即为植株死亡的临界温度, 说明气温是导致茉莉受冻的主要因素<sup>[7]</sup>。茉莉植株受冻程度不仅与气温的绝对值相关, 还受到低温持续时间的影响, 如 0 ℃ 下持续 12 h 的植株受冻程度比 -5 ℃ 持续 2 h 还要严重, 即茉莉冻害程度与低温下的负累积温度值存在密切的相关性<sup>[7]</sup>。邓传远等研究了低温胁迫对单瓣、双瓣茉莉叶片细胞自由基的产生、保护膜的变化和细胞膜透性的影响, 发现随着温度的降低, 超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物歧化酶(POD)和过氧化氢酶(CAT)等保护膜的活性减弱, 自由基和丙二醛(MDA)含量增加; 叶片细胞膜的相对透性和钠、钾、钙等离子外渗量均随着处理温度的下降和同一温度下处理时间的延长而增加, 即低温首先会导致茉莉植株生理代谢功能的失调, 使其无法抵抗零下温度。但研究发现, 双瓣茉莉抵抗零下低温的能力比单瓣茉莉强, 因此认为单瓣茉莉不耐寒, 而双瓣茉莉低度耐寒<sup>[8-9]</sup>。

多位研究者从生理生化和细胞结构角度研究了茉莉对低温的响应机制及其耐寒机制。何丽斯等分析了茉莉在模拟低温和自然降温条件下的生理生化反应, 发现双瓣茉莉能比单瓣茉莉积累更多的小分子渗透调节物质, 并表现出更高的抗氧化酶活性, 从而减轻自由基造成的伤害, 故表现出较强的抗寒性<sup>[10-11]</sup>。苏金为等采用细胞化学和电镜观察方法对茉莉 ATP 活性在细胞中的定位及其经低温胁迫处理后的变化进行观察, 发现 ATP 主要定位于细胞质膜、液泡膜等部位, 耐寒性强的双瓣茉莉在低温胁迫下叶肉细胞中 ATP 和超微结构有更强的适应能力<sup>[12]</sup>。邓传远等进一步观察了季节性温度变化对叶肉细胞超微结构的影响, 发现茉莉遭受冬季低温或夏季高温胁迫时, 叶肉细胞超微结构发生明显变化, 并随着胁迫时间的延长表现出受伤害的特征; 而双瓣茉莉比单瓣茉莉耐寒性强是由于其有更稳定的细胞超微结构基础<sup>[13]</sup>。

温度不仅影响茉莉植株的生长, 还影响茉莉花器官的发育, 是影响产花量的主要因素之一。叶茂宗等的研究表明, 19 ℃ 以上茉莉新梢才萌动, 24 ℃ 以上花芽才开始发育, 花芽生长的最适温度为 32 ~ 37 ℃, 而 38 ~ 40 ℃ 的高温反过来又

收稿日期: 2018-06-14

基金项目: 国家自然科学基金(编号: 31773328)。

作者简介: 邓衍明(1976—), 男, 安徽泗县人, 博士, 研究员, 主要从事花卉遗传育种与分子生物学研究。Tel: (025) 84399306; E-mail: nksdym@163.com。

会抑制其发育<sup>[4]</sup>。李聪聪等研究了不同温度处理对双瓣茉莉植株生长发育的影响及花芽分化过程中部分生理指标的变化情况,表明较高温处理(昼温 30 ℃、夜温 25 ℃)比较低温处理(昼温 20 ℃、夜温 15 ℃)提前 1 周开花,且现蕾量增加 25%;高温处理的植株体内积累了较多的可溶性蛋白质、碳水化合物和赤霉素(GAs)、脱落酸(ABA)、玉米素(ZR)等激素,表明较高温处理对其生长发育更有利<sup>[14]</sup>。

茉莉虽然不耐寒,但一定的栽培管理措施有助于提高其耐寒力。叶茂宗等观察发现,在入冬气温逐渐下降的过程中,茉莉的耐寒力反而是提高的;进草棚保暖越冬的茉莉耐寒力最差,露地盆栽茉莉却最强,分析认为这是保暖措施推迟或抑制了植株的休眠及休眠的程度所致<sup>[7]</sup>。文斌等的研究也表明,冷锻炼可有效缓解单瓣、双瓣茉莉在低温胁迫时相对电导率和丙二醛含量的下降,从而提高植株细胞膜系统的稳定性,缓解低温胁迫带来的伤害;但冷锻炼的生理效应期较短,单瓣、双瓣茉莉分别只有 2、4 d,难以达到有效提高茉莉植株长期耐寒性的目的<sup>[15]</sup>。

### 1.2 光照

光照是影响茉莉生长发育的另一个重要环境因子。Arunachalam 等对椰树+茉莉条件下茉莉植株的形态指标进行比较,发现椰树遮阴处茉莉枝条的节变多、节间和叶片变长,表明其对遮阴环境较好的适应性<sup>[16-17]</sup>。孟祥静等对双瓣茉莉的光合特性进行了测定,发现其光饱和点高达 1 220  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,光补偿点低至 16.6  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,认为双瓣茉莉是阳性耐阴植物,能够耐受一定的遮阴环境<sup>[18]</sup>。Deng 等通过设置不同程度和不同时期的遮阴处理,对双瓣茉莉和多瓣茉莉的光合特性、叶绿体超微结构、植株形态、叶片解剖结构特征、花器官发育进度及生理生化反应等进行全面的比较研究,发现在夏季晴天中等程度遮阴(20~50%光照)下叶绿体发育最好,全光照和重度遮阴(5%光照)会分别导致光抑制(photoinhibition)和光匮乏(light deficiency)效应;遮阴条件下双瓣茉莉的叶绿体发育出更多的类囊体和基粒,光合色素含量较高,光合效率和代谢速率也较高,从而表现出比多瓣茉莉更强的耐阴性<sup>[19-20]</sup>。Deng 等的研究还表明,不同程度和时期的遮阴对茉莉抗氧化酶的活性影响差异显著,SOD、POD 和抗坏血酸过氧化物酶(APX)的活性增强,而 CAT 的活性下降且无明显规律性表现,说明 CAT 可能不是茉莉植株用于清除体内活性氧的主要酶<sup>[21]</sup>。此外,张泽岑发现露天条件下栽培的光照度强的茉莉授粉率高于走廊下栽培的光照度弱的植株,认为光照度不足会引起花粉和胚囊发育不正常,导致不能形成种子或种子发育不良,说明光照度对茉莉结实也有直接或间接的影响<sup>[16]</sup>。

### 1.3 水分

关于水分对茉莉生长发育影响的研究主要集中在植株对水分胁迫的响应和水培方面。Cai 等比较了单瓣和双瓣茉莉在先缺水再复水条件下的光合反应和部分代谢物的变化情况,发现失水胁迫会显著降低两者的净光合速率、气孔导度和最大光化学效率,但会增加双瓣茉莉的最小叶绿素荧光;缺水同样会降低淀粉含量,但会增加可溶性糖和脯氨酸的含量;单瓣茉莉以其较高的气体交换和光化学效率及较少的代谢物变更而具有比双瓣茉莉更强的耐旱性<sup>[22]</sup>。郭素枝等不仅比较

了单瓣、双瓣、多瓣茉莉叶片光合特性对于干旱胁迫的响应,还研究了它们叶肉细胞超微结构的变化,并得出了与 Cai 等<sup>[22]</sup>不同的观点,认为与单瓣茉莉和多瓣茉莉相比,双瓣茉莉在干旱胁迫下叶肉细胞超微结构稳定性最好,故耐旱性也最强<sup>[23]</sup>。但总体上,茉莉对于干旱胁迫的耐受力不强,轻度失水胁迫(土壤相对含水量 60%~65%)即可使植株的光合生理指标和叶肉细胞超微结构受到影响,而重度失水胁迫(土壤相对含水量 30%~35%)会使细胞超微结构发生不可逆的改变,尤其叶绿体会发生严重损伤<sup>[23]</sup>。

邓衍明等对双瓣茉莉枝条进行水培生根研究,并比较了根尖解剖结构的变化,发现不同浓度  $\alpha$ -萘乙酸处理对枝条生根率、生根数和平均根长均有显著影响;同时,水培处理所生根尖在解剖结构上与固体基质扦插所生根尖不同,突出表现为根尖内部有大量的通气组织状结构,说明茉莉根系具有较强地适应水生环境的能力<sup>[24]</sup>。邓衍明等进一步对单瓣、双瓣、多瓣茉莉插穗的水培生根能力及根尖解剖结构特征进行比较观察,发现 3 种瓣型茉莉均可在水培条件下生根,但水培生根能力有差异,以双瓣最强、多瓣最弱、单瓣居中;但相关性分析结果表明,茉莉的水生生根能力与根尖各性状指标的相关性均不显著,故推测不同瓣型茉莉的水培生根能力与其自身的抗逆性和生态适应性有关<sup>[25]</sup>。邓杰玲等则对水培条件下水、温度、营养、激素等主要环境因子对茉莉生长的影响进行了研究和优化,从而筛选出水培茉莉的最佳环境因子,包括萘乙酸浓度为 40 mg/L、温度为 22~28 ℃、换水间隔期为 5~10 d 以及营养液类型为凡尔赛营养液等<sup>[26]</sup>。

## 2 化学物质对茉莉生长发育的影响

### 2.1 营养元素

周瑾等对影响茉莉花产量的主要元素即氮(N)、磷(P)、钾(K)进行大田比较试验,发现茉莉花产量与 N 负相关,与 P 和 K 正相关,且 K 的效应最大;在此基础上,提出田间栽培茉莉的最佳施肥水平为 132.4~197.6 kg/hm<sup>2</sup> 氮肥(N)、166.6~197.4 kg/hm<sup>2</sup> 磷肥(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)和 126.8~155.3 kg/hm<sup>2</sup> 钾肥(K<sub>2</sub>O)<sup>[27]</sup>。戴玉蓉等比较了施加不同矿质营养元素对 2 年生盆栽双瓣茉莉生长量、叶绿素含量及光合生理指标的影响,证实氮肥、磷肥、钾肥对茉莉生长的效应不同,不同配比的营养液对植株的光合速率有显著影响<sup>[28]</sup>。但与周瑾等的结果<sup>[27]</sup>不同,戴玉蓉等认为,影响强度最大的是 N,其次为 K,而 P 最弱<sup>[28]</sup>。Nair 等以单瓣茉莉为对象,研究不同施肥水平对其开花稳定性的影响,发现每株每年使用 N 120 g、P 240 g、K 240 g,并且在每年的 2、5、9、12 月分 4 次等量施用可确保年产花量最稳定,并且开花时的每株叶片数、每株花芽数和每株开花数等与产花量相关的性状指标最佳<sup>[29]</sup>。在此基础上,Chamakumari 等则对化肥和有机肥结合使用时双瓣茉莉的生长、产花量和花的质量进行研究,发现 N、P、K 减半(即每株用 N 60 g、P 120 g、K 120 g)并结合使用 10.5 kg 有机肥的处理产花量最高,同时株高、冠幅、叶片数、分枝数、花芽分化所需时间、花芽发育所需时间、花期长、花蕾长、花蕾直径等指标也最好,说明有机肥可有效替代化肥的使用,实现减量施肥的目的<sup>[30]</sup>。除了对 N、P、K 等大量元素进行研究外,沈邦琼等还研究了喷施不同种类(有机、无机)和不同浓度铁肥对茉莉植

株长势、产花量及花品质的影响,发现有机态和无机态 Fe 均能促进茉莉的生长,增加产花量、改良花品质<sup>[31]</sup>。但这方面的报道较少,尚须深入研究。

## 2.2 激素

茉莉花蕾发育及开放期间内源激素如 ZR、GAs、ABA 等含量会随着花蕾的增质量同步增长,但在发育后期 ABA 含量下降,故花蕾迅速增质量被认为或与此有关<sup>[32]</sup>。黄诚梅等在茉莉开花前期分别使用不同浓度 NAA 与多效唑(MET)喷施的方法,研究了对新梢与花蕾生长及内源激素含量变化的影响,发现 NAA 处理使新梢徒长、成花推迟,而 MET 处理使新梢矮化、成花提早,故外源激素处理能使茉莉植株保持较高水平的内源激素含量,从而调节新梢和花蕾的生长进程<sup>[33]</sup>。水杨酸(SA)是在茉莉上研究相对较多的一种化合物。蔡汉等研究发现,SA 预处理可减轻低温胁迫对茉莉幼苗光合作用及部分相关生理指标的影响,有效提高茉莉植株的耐寒力<sup>[34]</sup>。何丽斯等则采用 SA 和 ABA 相结合的方式研究低温胁迫下茉莉幼苗的生理特性变化,发现两者浓度合适时均能有效保护细胞膜系统、增加渗透调节物质含量并提高抗氧化酶活性,从而在提高茉莉耐寒性方面有较好的应用价值<sup>[35]</sup>。文庆利等进一步研究发现,SA 不仅对茉莉的生长有利,还能增加产花量,对开花有较好的促进作用<sup>[36]</sup>。但 SA 调节茉莉花发育、促进开花的机制尚有待于进一步研究。

对激素的研究还较多地集中在茉莉种苗繁殖方面,除前述邓衍明等开展了  $\alpha$ -萘乙酸对茉莉水培生根及根尖解剖结构的影响<sup>[24]</sup>等研究外,姜云天等比较了不同生长调节剂对茉莉基质扦插生根的影响<sup>[37]</sup>,王健省等研究了不同生长素处理和营养液浓度对双瓣茉莉水培扦插生根的影响等,均对促进扦插生根、提高种苗繁殖技术水平起到了指导作用<sup>[38]</sup>。此外,邓衍明等还尝试用秋水仙素对茉莉进行加倍处理以开展种质创新,发现不同浓度和不同处理时间的秋水仙素均对茉莉腋芽生长发育有不利影响,并会引起细胞出现落后染色体、染色体桥及微核等异常现象,但获得四倍体的概率极低,尚须进一步研究、优化处理方式<sup>[39]</sup>。

## 3 结论与讨论

虽然茉莉花在我国已有悠久的栽培历史,但其起源地的气候特点(如原产地加尔各答的年均温为 27℃、年降水量为 1 582 mm)决定了它对种植地的环境条件有特殊需求,特别是其有性生殖发育过程对温、光、水、湿度等因素较为敏感<sup>[16]</sup>。而温度是影响茉莉生长发育的首要环境因子,不仅制约茉莉的花期长短和花品质的好坏,也是限制其种植区域的主要因素。冬季低温是限制茉莉只能在我国南方生产、不能在长江流域及其以北地区田间露地栽培的关键原因。但茉莉花期物候对积温的要求是基本稳定的<sup>[4]</sup>,这就为人工控温调节茉莉的开花期提供了可能。李红等依据茉莉开花对温度的需求特性,开展了周年生产技术研究,实现了盆栽茉莉设施条件下的工厂化周年生产<sup>[40]</sup>。但花期调节时控温需要补光、喷施激素、肥水管理等栽培措施协同进行,才能取得较好的效果。

茉莉是喜光植物,光照不足不仅会使植株徒长、节间过长、叶片大而薄、株型松散、观赏价值降低,还会引起花粉和胚

囊发育不正常,导致不能形成种子或种子发育不良<sup>[16]</sup>。故补光是茉莉设施栽培中一项非常重要的措施,尤其是在花期调控时更为重要。但光照过强也会对茉莉的生长造成不利影响,特别是在夏季高温时节。此时,对茉莉采取一定程度的遮阴非常必要,可有效保护其光合系统免受强光伤害,并维持植株体内较高水平的抗氧化酶活性<sup>[21]</sup>。但是,遮阴处理会推迟花芽的分化进程,减少花芽的分化数量,从而降低产花量<sup>[20]</sup>。同时,须注意遮阴程度不可过大,即使双瓣花茉莉具有较强的耐阴性,类似 5% 光照的重度遮阴只适用于在晴天中午短时使用<sup>[21]</sup>。这些研究为长江流域夏季高温时节采取适宜的光照管理措施提供了理论依据。

茉莉喜大肥大水,除冬季休眠期外,生长季 20~30 d 就应施肥 1 次,以满足植株生长对大量元素的需求。除 NPK 多元复合肥外,研究表明结合使用有机肥能取到更好的增产效果<sup>[30]</sup>。因此,应进一步加强有机肥替代化肥的研究,以切实减少化肥的使用,培育健康土壤,改善茉莉花种植田的生态环境。此外,微量元素对茉莉花的生长发育也有重要作用。张泽岑的研究表明,增施硼肥有助于增加受精和结实率,促进果实发育<sup>[16]</sup>。沈邦琼等发现,喷施铁肥不仅能促进茉莉的生长、增加产花量,还能改良花品质<sup>[31]</sup>。这些研究为生产上使用微量元素肥增产、增收提供了启发,建议应继续加强这方面的研究,为提高生产管理提供更多参考。

杂交育种被认为是解决茉莉抗寒性、提高产花量和花品质的经济途径<sup>[1]</sup>,也是解决我国茉莉产业发展中品种单一、产量下降、品质退化、病虫害严重等问题的有效方法<sup>[41]</sup>。研究表明,双瓣茉莉的耐寒性好于单瓣茉莉,这就为通过杂交改良单瓣茉莉的耐寒性提供了可能。但茉莉花的有性生殖障碍严重,不仅花粉活力低,胚囊发育也多不正常,给有性杂交育种带来了难度<sup>[42-44]</sup>。同时,不同瓣型茉莉杂交时花粉与柱头的亲和性较差,表现出花粉萌发量少、花粉管生长受抑及受精作用无法正常完成等受精前障碍<sup>[45]</sup>。但茉莉花的发育状况与环境因素密切相关。因此,如何通过加强外部条件的管理,改善茉莉的生长发育条件,恢复或提高植株的育性水平,是非常重要的研究方向,对茉莉杂交育种和产业发展都具有重要意义。

## 参考文献:

- [1]董利娟,张曙光.茉莉花的生产现状与科研方向[J].茶叶通讯,2001(2):11-13.
- [2]中国科学院中国植物志编辑委员会.中国植物志(第61卷)[M].北京:科学出版社,1992:218.
- [3]中国茶叶流通协会.2016年全国茉莉花茶产销形势分析[J].中国茶叶,2016(10):12-16.
- [4]叶茂宗,徐文荣,胡焕勋.茉莉开花特性及影响产花量因子的观察分析[J].浙江农业学报,1990,2(3):132-136.
- [5]郭素枝,邓传远,张育松,等.单、双瓣茉莉营养器官解剖结构特征及其生态适应性研究[J].中国生态农业学报,2004,12(3):40-43.
- [6]郭素枝,张明辉,邓传远,等.干旱胁迫对茉莉3个品种叶片光合特性和超微结构的影响[J].热带亚热带植物学报,2013,21(2):123-129.
- [7]叶茂宗,李振中,董达勋,等.茉莉的冻害与温度的关系[J].浙

- 江农业科学,1983(5):265-268.
- [8] 邓传远,郭素枝,潘东明,等. 低温胁迫下茉莉两栽培品种叶细胞自由基的产生及保护酶的变化[J]. 福建茶叶,2004(4):8-10.
- [9] 郭素枝,邓传远,张国军,等. 低温对单、双瓣茉莉叶片细胞膜透性的影响[J]. 中国生态农业学报,2006,14(1):42-44.
- [10] 何丽斯,汪仁,孟祥静,等. 茉莉扦插苗对模拟低温的生理响应[J]. 西北植物学报,2010,30(12):2451-2458.
- [11] 何丽斯,夏冰,孟祥静,等. 茉莉对自然降温的生理生化响应[J]. 南京农业大学学报,2010,33(6):28-32.
- [12] 苏金为,王湘平. 茉莉幼苗 ATP 酶活性的超微细胞化学定位与耐冷性研究[J]. 园艺学报,2001,28(6):544-550.
- [13] 邓传远,郭素枝,王湘平,等. 茉莉 3 品种叶肉细胞超微结构的季节变化研究[J]. 热带作物学报,2012,33(2):267-273.
- [14] 李聪聪,叶晓青,邓衍明. 不同温度处理对双瓣茉莉开花的影响[J]. 北方园艺,2018(4):103-109.
- [15] 文斌,蔡汉,黄法就,等. 冷锻炼对低温胁迫下茉莉幼苗细胞膜稳定性的影响[J]. 安徽农学通报,2008,14(5):35-36.
- [16] 张泽岑. 茉莉花不实机理研究[J]. 西南农业大学学报,1993,15(6):575-577.
- [17] Arunachalam V, Reddy D V S. Foliar traits of jasmine plants intercropped in coconut[J]. Agroforest System,2007,71(1):19-23.
- [18] 孟祥静,夏冰,何丽斯,等. 双瓣茉莉光合特性研究[J]. 江苏农业科学,2010(3):238-240,293.
- [19] Deng Y M, Li C C, Shao Q S, et al. Differential responses of double petal and multi petal jasmine to shading: I. Photosynthetic characteristics and chloroplast ultrastructure[J]. Plant Physiology and Biochemistry,2012,55:93-102.
- [20] Deng Y M, Shao Q S, Li C C, et al. Differential responses of double petal and multi petal jasmine to shading: II. Morphology, anatomy and physiology[J]. Scientia Horticulturae,2012,144:19-28.
- [21] Deng Y M, Jia X P, Sun X B, et al. Comparative responses of jasmine antioxidant system to different degrees and terms of shade[J]. Acta Physiologiae Plantarum,2018,40:41.
- [22] Cai H, Biswas D K, Shang A Q, et al. Photosynthetic response to water stress and changes in metabolites in *Jasminum sambac* [J]. Photosynthetica,2007,45(4):503-509.
- [23] 郭素枝,张明辉,邓传远,等. 干旱胁迫对茉莉 3 个品种叶片光合特性和超微结构的影响[J]. 热带亚热带植物学报,2013,21(2):123-129.
- [24] 邓衍明,叶晓青,李聪聪.  $\alpha$ -萘乙酸对茉莉水培生根及根尖解剖结构的影响[J]. 江西农业学报,2012,24(2):35-37.
- [25] 邓衍明,叶晓青,梁丽建,等. 不同瓣型茉莉水培生根能力及根尖解剖结构比较[J]. 植物资源与环境学报,2014,23(1):9-15.
- [26] 邓杰玲,武鹏,邓俊英,等. 水培茉莉主要环境因子的调控研究[J]. 北方园艺,2013(17):78-80.
- [27] 周瑾,王昌全,陈文宽,等. 氮磷钾平衡施肥对茉莉花生长和产量的影响[J]. 四川农业大学学报,2003,21(2):147-151.
- [28] 戴玉蓉,孟祥静,何丽斯,等. 不同矿质营养元素对双瓣茉莉光合特性的影响[J]. 江苏农业科学,2011,39(6):307-309.
- [29] Nair S A, Venugopalan R. Stability analysis of nutrient scheduling for lean season flowering in Arabian jasmine (*Jasminum sambac*) [J]. Indian Journal of Agricultural Sciences,2016,86(3):321-325.
- [30] Chamakumari N, Saravanan S, Ravi J. Effect of NPK and organic manures on plant growth, flower field and flower quality parameters of jasmine (*Jasminum sambac*) var. Double mogra[J]. Agriculture Update,2017,12:524-529.
- [31] 沈邦琼,王琼芳,李娟. 喷施不同种类不同浓度铁肥对茉莉植株长势产量及品质的影响[J]. 农业与技术,2017,37(18):8,89.
- [32] 高丽萍,夏涛,张玉琼,等. 茉莉花发育及开放期间内源激素研究[J]. 茶叶科学,2002,22(2):156-159.
- [33] 黄诚梅,江文,吴建明,等. 萘乙酸与多效唑对茉莉成花及新梢内源激素含量的影响[J]. 西北植物学报,2009,29(4):742-748.
- [34] 蔡汉,李卫东,陈颖,等. 水杨酸预处理对低温胁迫下茉莉幼苗光合作用及相关生理特性的影响[J]. 中国农业大学学报,2007,12(5):29-33.
- [35] 何丽斯,夏冰,孟祥静,等. 水杨酸和脱落酸对低温胁迫下茉莉幼苗生理特性的影响[J]. 江苏农业学报,2011,27(5):1083-1088.
- [36] 文庆利,陈亚菲,张亚男,等. 水杨酸对茉莉生长及其部分生理指标的影响[J]. 安徽农业科学,2016,44(15):42-43,47.
- [37] 姜云天,王德礼,顾地周. 不同生长调节剂及土壤基质对茉莉花扦插生根的影响[J]. 安徽农业科学,2009,37(32):15817-15818.
- [38] 王健省,程琳琳,王旭,等. 不同生长素处理和营养液浓度对双瓣茉莉水培扦插生根的影响[J]. 南方农业学报,2015,46(2):282-285.
- [39] 邓衍明,孙晓波,贾新平,等. 秋水仙素浓度和处理时间对茉莉腋芽生长发育的影响[J]. 植物资源与环境学报,2016,25(3):62-71.
- [40] 李红,谭国华. 江苏省省花茉莉盆栽工厂化生产技术[J]. 中国园艺文摘,2014(11):138-139.
- [41] 卜朝阳,周锦业,黄昌艳,等. 我国茉莉研究现状及问题分析[J]. 北方园艺,2014(19):199-203.
- [42] 邓衍明,叶晓青,梁丽建,等. 茉莉花粉离体培养萌发及花粉管生长特性研究[J]. 华北农学报,2014,29(5):107-113.
- [43] Deng Y M, Jia X P, Liang L J, et al. Morphological anatomy, sporogenesis and gametogenesis in flowering process of jasmine (*Jasminum sambac* Aiton) [J]. Scientia Horticulturae,2016,198:257-266.
- [44] Deng Y, Liang L, Sun X, et al. Ultrastructural abnormalities in pollen and anther wall development May Lead to low pollen viability in jasmine (*Jasminum sambac* (L.) Aiton, Oleaceae) [J]. South African Journal of Botany,2018,114:69-77.
- [45] Deng Y, Sun X, Gu C, et al. Identification of pre-fertilization reproductive barriers and the underlying cytological mechanism in crosses among three petal-types of *Jasminum sambac* and their relevance to phylogenetic relationships [J]. PLoS One,2017,12(4):e0176026.