

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw202106058

刘向东, 尹陈茜, 杨吉龙, 等. 遮光处理对观赏栀子氮、磷、钾分配与生长的影响 [J]. 广西植物, 2022, 42(12): 2117–2127.

LIU XD, YIN CX, YANG JL, et al. Effects of shading treatment on N, P and K distribution and growth of ornamental *Gardenia jasminoides* cultivars [J]. Guihaia, 2022, 42(12): 2117–2127.



## 遮光处理对观赏栀子氮、磷、钾分配与生长的影响

刘向东<sup>1,2</sup>, 尹陈茜<sup>1,2</sup>, 杨吉龙<sup>1,2</sup>, 侯志勇<sup>3</sup>, 李炎林<sup>1,2</sup>, 于晓英<sup>1,2\*</sup>

(1. 湖南农业大学 园艺学院, 长沙 410128; 2. 湖南省中亚热带优质花木繁育与利用工程技术中心, 园艺作物  
种质创新与新品种选育工程研究中心, 长沙 410128; 3. 中国科学院亚热带农业生态研究所,  
农业生态过程重点实验室, 洞庭湖湿地生态系统观测研究站, 长沙 410125)

**摘 要:** 为探究观赏栀子在不同遮光条件下生长和光合及氮、磷、钾(N、P、K)分配的规律, 该研究对3种观赏栀子设置5种不同的遮光处理(0%、60%、70%、80%、90%), 通过对观赏栀子的生长和光合及各器官N、P、K含量进行统计与分析, 探究了不同遮光处理对观赏栀子栽植效果的影响。结果表明: (1) 60%和0%遮光率的大花栀子、80%和70%遮光率的雀舌栀子、0%遮光率的花叶栀子均长势较好。(2) 随着遮光率的增加, 雀舌栀子和花叶栀子的净光合速率、胞间CO<sub>2</sub>浓度、蒸腾速率逐渐降低, 气孔导度、水分瞬时利用率在遮光率60%下达到最大值。(3) 大花栀子总N量最高, 器官含N量高低排序为叶、根、茎; 雀舌栀子总P量最高, 器官含P量排序为根、茎、叶; 大花栀子90%遮光率下含K量最高。综合考虑认为, 雀舌栀子更耐荫蔽, 适合在80%和70%的遮光条件下生长; 大花栀子次之, 适合在60%和0%遮光条件下生长; 花叶栀子最不耐荫, 适合在0%遮光条件下生长。

**关键词:** 观赏栀子, 遮光, 氮、磷、钾, 养分分配, 处理方法

**中图分类号:** Q945 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2022)12-2117-11

## Effects of shading treatment on N, P and K distribution and growth of ornamental *Gardenia jasminoides* cultivars

LIU Xiangdong<sup>1,2</sup>, YIN Chenxi<sup>1,2</sup>, YANG Jilong<sup>1,2</sup>, HOU Zhiyong<sup>3</sup>,  
LI Yanlin<sup>1,2</sup>, YU Xiaoying<sup>1,2\*</sup>

(1. College of Horticulture, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China; 2. Hunan Mid-Subtropical Quality Plant Breeding and Utilization Engineering Technology Research Center, Engineering Research Center for Horticultural Crop Germplasm Creation and New Variety Breeding, Ministry of Education, Changsha 410128, China; 3. Key Laboratory of Agro-Ecological Processes in Subtropical Region, Dongting Lake Station for Wetland Ecosystem Research, Institute of Subtropical Agriculture, Chinese Academy of Sciences, Changsha 410125, China)

收稿日期: 2021-12-28

**基金项目:** 湖南省科技计划项目(2018TP2007, 2019TP1033); 湖南省教育厅项目(18A084); 长沙市科技局项目(kq2004032); 湖南农业大学“双一流”建设项目科学研究培育项目(SYL201802026, SYL2019012); 湖南农业大学第三批重大科研项目暨创新团队培育工程项目(201909) [Supported by Hunan Science and Technology Plan Program (2018TP2007, 2019TP1033); Hunan Provincial Department of Education Project (18A084); Changsha Science and Technology Bureau Project (kq2004032); Hunan Agricultural University “Double First Class” Construction Project Scientific Research and Cultivation Project (SYL201802026, SYL2019012); The Third Batch of Major Scientific Research Projects and Innovation Team Cultivation Project of Hunan Agricultural University(201909)]。

**第一作者:** 刘向东(1995-), 博士研究生, 主要从事观赏植物资源与应用研究, (E-mail) 1125275210@qq.com。

**\*通信作者:** 于晓英, 博士, 教授, 主要从事观赏植物资源与应用研究, (E-mail) 475705701@qq.com。

**Abstract:** In order to explore the laws of growth, photosynthesis and NPK distribution of ornamental *Gardenia jasminoides* under different shading treatments. The experiment was conducted to set five different shadings on the three *G. jasminoides* through shading treatment (0%, 60%, 70%, 80%, 90%). The effects of different shading treatments on the planting effect of ornamental *G. jasminoides* were studied. Through the statistics and analysis of ornamental *G. jasminoides* growth, photosynthesis and N, P, K contents of various organs. The results were as follows: (1) *G. jasminoides* 'Grandiflora' with shading rates of 60% and 0%, *G. jasminoides* 'Radicans' with shading rates of 80% and 70%, and *G. jasminoides* 'Variegata' with a shading rate of 0% grow better. (2) With the increase of shading rates, the  $P_n$ ,  $C_i$  and  $T_r$  of *G. jasminoides* 'Radicans' and *G. jasminoides* 'Variegata' gradually decreased, and  $G_s$  and  $WUE$  reached the maximum value at 60% shading rate. (3) *G. jasminoides* 'Grandiflora' had the highest total N content, and the organ N content was ranked as leaf, root and stem; *G. jasminoides* 'Radicans' had the highest total P content, and the organ P content was ranked as root, stem and leaf; *G. jasminoides* 'Grandiflora' had the highest K content at 90% shading rate. The results of the review show that *G. jasminoides* 'Radicans' is more resistant to shading and is suitable for growth under 80% and 70% shading treatments. *G. jasminoides* 'Grandiflora' is the second, suitable for growth under 60% and 0% shading treatments. *G. jasminoides* 'Variegata' is the least tolerant and suitable for growth under 0% shading treatment.

**Key words:** ornamental *Gardenia jasminoides*, shading, N, P and K, nutrient distribution, treatment method

梔子(*Gardenia jasminoides*), 原产于我国中部, 为茜草科梔子属的常绿灌木, 花洁白而芳香, 是我国著名的八大香花植物之一( Xiao et al., 2016; 卢路路等, 2021)。其种类品种丰富, 其中观赏用梔子主要应用于园林造景, 盆栽观赏( 陈雅林, 2018; 邓绍勇等, 2018; Kim et al., 2021; )。正确的配植方式与合理的养护措施对观赏梔子在园林应用中景观效果有十分重要的意义( 杨吉龙等, 2020)。由于配置方式不合理或养护不科学容易出现生长发育不良、花香不浓等现象, 因此观赏梔子在园林绿化应用中配置不合理等问题亟待解决。

配置方式影响周边环境的光强, 光照环境是影响植物光能利用效率和生产力的重要因子, 光对植物生长发育尤为重要, 通过调整光反应中心和捕光天线色素蛋白复合体的比例以及 2 个光系统的比值, 植物可以调整色素含量和构成, 进而适应不同的光照条件( 韩金龙等, 2018)。在遮荫条件下, 耐荫植物可以保持较高的光能利用效率和光合效率, 这对植物生长及相关生理与形态过程意义重大( 张哲等, 2013)。不同的光照强度、光质和光照时间等会影响植物的光合能力及固碳相关酶、固氮相关酶( 如硝酸还原酶) 的活性, 从而进一步影响植物氮(N)、磷(P)的含量( 王振南和杨惠敏, 2013)。N、P、钾(K)元素参与了体内各类化合物的组成, 通常以硝酸盐和铵盐的形式为植物所利用, 从而影响植物生理活动( 李玉霖等, 2010; 燕

亚飞等, 2014)。光强不仅影响植物正常生长, 而且影响植物体对有限的矿质元素的分配, 从而影响各器官均衡发展。有研究表明, 随着光强的减弱, 光合速率会降低, 植物的 N、P 积累会下降, 而器官内 N、P 含量有所增加( 颀洪涛等, 2017)。目前, 观赏梔子研究主要为其花香成分、精油提取物以及梔子功能成分的提取等方面。但是, 关于观赏梔子在不同光照条件下, 观赏梔子对矿质元素的吸收与利用是否存在与其他植物一样的规律性变化及种类品种间的基因型差异, 目前相关报道较少。针对观赏梔子对不同光照条件的生长是否有差异, 如何适应其生长环境, 是否与其光合特性及梔子内的 N、P、K 总含量及各器官的分配有关, 以及如何影响观赏植物的 N、P、K 分配, 对梔子生长状况有什么差异性变化等问题, 本研究以常见的 3 个观赏梔子品种为材料, 采用不同遮光处理, 通过其在不同遮光率下的生物量和 N、P、K 含量及其分配的差异, 探讨梔子的营养元素在不同遮光处理下的分配机制, 以为不同观赏梔子种类品种的合理利用及配套的高效优质栽培提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验场地

材料种植于湖南农业大学观赏园艺研究所

(113°04'35.90" E, 28°10'46.99" N), 海拔 34 m, 属于亚热带季风性湿润气候, 四季分明, 降水充沛, 雨热同期。夏季平均气温为 38 ℃, 年平均气温为 17.2 ℃, 年积温为 5 457 ℃, 试验时期日积温 > 10 ℃, 年平均降水量为 1 361.6 mm。

### 1.2 试验材料

选择大花栀子 (*Gardenia jasminoides* 'Grandiflora')、雀舌栀子 (*G. jasminoides* 'Radicans') 和花叶栀子 (*G. jasminoides* 'Variegata') 的 3 年生扦插苗为植物材料。选择直径 20 cm、高 23 cm 规格的花盆作为种植器皿。栽培基质按珍珠岩:蛭石:有机土:堆积土=1:1:1:2 的比例混合。

### 1.3 试验设计

采取生产应用中常用的黑色遮荫网和疏林遮荫遮光方式, 于 2019 年 3 月至 2020 年 10 月进行遮光处理。按照遮荫网的针数和覆盖层数设置 5 个不同的遮光处理 (0%、80%、60%、70%、90%) (采用台湾泰仕 TES-1332A 照度计连续 5 d 晴天 8:00—17:00 点测定各处理的平均光照强度, 各处理的遮光率 = (1 - 各处理平均光照强度 / 全光照对照下光照强度) × 100%。将黑色遮荫网搭在高 2.5 m 的钢架上, 各处理命名为 CK1、CK2、T1、T2 和 T3, 具体情况见表 1。3 个品种每个处理 40 盆, 共 600 盆, 盆距 30 cm, 确保互不遮光条件下置于 5 个遮光处理中。其他肥、水养护等因素确保一致, 避免试验误差。

### 1.4 试验测定的项目和方法

观赏栀子植株的株高、冠幅、茎直径、花朵数和根长在 2020 年 6 月利用卷尺和游标卡尺测量, 在 2020 年 10 月对各处理栀子随机选取 3 株采样, 将表面土壤和杂质去除, 分离其各器官, 洗净后称取鲜重, 70 ℃ 烘干至恒重后称取各部分重量, 得到生物量。光合生理指标采用 LI-6400 光合仪测定; 选择晴朗无云天气的上午 9:00—11:00, 选取从上往下数第 3 片叶片测定, 气体流速设定为 500 mmol · s<sup>-1</sup>, 控制湿度, 温度与 CO<sub>2</sub> 浓度与外界环境一致。各处理各品种 3 个重复, 计算净光合速率 ( $P_n$ )、蒸腾速率 ( $T_r$ )、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度 ( $C_i$ )、气孔导度 ( $G_s$ ) 和水分利用瞬时效率 ( $WUE$ ) =  $P_n/T_r$  (Far & Sharkey, 1982)。将 3 种栀子各部分磨碎过 60 目的筛来测定养分含量, 根、茎与叶中全 N、全 P 和全 K 的含量均采用 NY/T 2017—2011 植物中 N、P、K 的测定方法。

### 1.5 数据处理

试验数据整理工具为 WPS Excel 软件, 作图工具为 Origin 2018 软件, 方差分析采用 SPSS Statistics 17.0 软件,  $P < 0.05$  表示差异显著。

表 1 试验设计  
Table 1 Experiment design

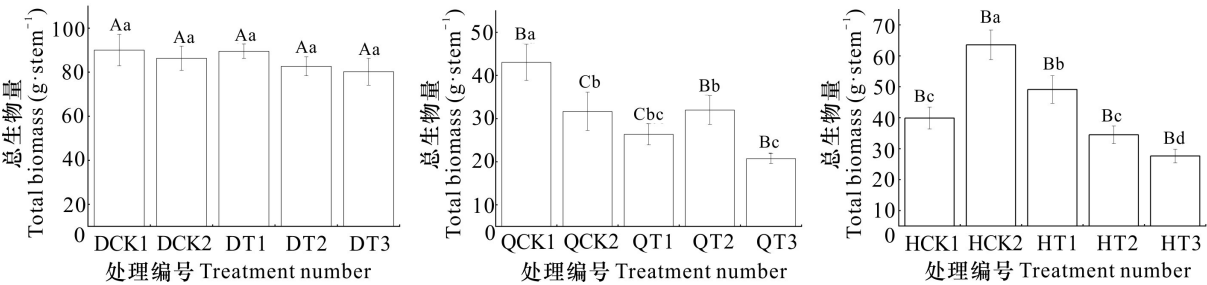
| 品种名<br>Variety name                                  | 处理编号<br>Treatment number | 处理方法<br>Treatment method                                                                      |
|------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| 大花栀子<br><i>Gardenia jasminoides</i><br>'Grandiflora' | CK1                      | 自然光照对照, 无遮光, 遮光率为 0%<br>Natural light contrast, no shading, shading rate is 0%                |
|                                                      | CK2                      | 自然遮光, 杜仲树下, 遮光率为 80%<br>Natural shading, under <i>Eucommia ulmoides</i> , shading rate is 80% |
|                                                      | DT1                      | 一层 1 针遮荫网, 遮光率为 60%<br>A layer of 1-needle shading net, shading rate is 60%                   |
|                                                      | DT2                      | 一层 2 针遮荫网, 遮光率为 70%<br>A layer of 2-needle shading net, shading rate is 70%                   |
|                                                      | DT3                      | 两层 2 针遮荫网, 遮光率为 90%<br>Two layers of 2-needle shading net, shading rate is 90%                |
| 雀舌栀子<br><i>G. jasminoides</i><br>'Radicans'          | QCK1                     | 自然光照对照, 无遮光, 遮光率为 0%<br>Natural light contrast, no shading, shading rate is 0%                |
|                                                      | QCK2                     | 自然遮光, 杜仲树下, 遮光率为 80%<br>Natural shading, under <i>Eucommia ulmoides</i> , shading rate is 80% |
|                                                      | QT1                      | 一层 1 针遮荫网, 遮光率为 60%<br>A layer of 1-needle shading net, shading rate is 60%                   |
|                                                      | QT2                      | 一层 2 针遮荫网, 遮光率为 70%<br>A layer of 2-needle shading net, shading rate is 70%                   |
|                                                      | QT3                      | 两层 2 针遮荫网, 遮光率为 90%<br>Two layers of 2-needle shading net, shading rate is 90%                |
| 花叶栀子<br><i>G. jasminoides</i><br>'Variegata'         | HCK1                     | 自然光照对照, 无遮光, 遮光率为 0%<br>Natural light contrast, no shading, shading rate is 0%                |
|                                                      | HCK2                     | 自然遮光, 杜仲树下, 遮光率为 80%<br>Natural shading, under <i>Eucommia ulmoides</i> , shading rate is 80% |
|                                                      | HT1                      | 一层 1 针遮荫网, 遮光率为 60%<br>A layer of 1-needle shading net, shading rate is 60%                   |
|                                                      | HT2                      | 一层 2 针遮荫网, 遮光率为 70%<br>A layer of 2-needle shading net, shading rate is 70%                   |
|                                                      | HT3                      | 两层 2 针遮荫网, 遮光率为 90%<br>Two layers of 2-needle shading net, shading rate is 90%                |

表 2 不同遮光处理下 3 种观赏栀子形态指标的观测结果  
Table 2 Observation results of three kinds of ornamental *Gardenia jasminoides* morphological indexes under different shading treatments

| 品种名<br>Variety                                 | 处理编号<br>Treatment number | 株高<br>Height<br>(cm) | 冠幅<br>Crown breadth<br>(cm) | 茎直径<br>Stem diameter<br>(mm) | 花朵数<br>Number of<br>flowers | 根长<br>Root length<br>(cm) |
|------------------------------------------------|--------------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 大花栀子<br><i>G. jasminoides</i><br>'Grandiflora' | DCK1                     | 54.63±2.62Aab        | 51.23±2.86Ac                | 11.22±0.53Aab                | 6.33±1.53a                  | 24.93±0.32Ba              |
|                                                | DCK2                     | 54.57±0.74Aab        | 66.60±0.20Aa                | 9.57±0.53Bbc                 | 4.33±0.58ab                 | 17.60±0.70Bb              |
|                                                | DT1                      | 58.93±3.62Aa         | 56.50±2.84Ab                | 13.76±2.50Aa                 | 4.33±0.58ab                 | 14.80±1.22Bc              |
|                                                | DT2                      | 49.90±0.50Abc        | 64.77±1.52Aa                | 10.63±1.20Abc                | 3.33±0.58b                  | 14.93±0.25Bc              |
|                                                | DT3                      | 45.40±3.80Ac         | 67.07±1.91Aa                | 8.20±1.55Ac                  | 3.33±1.53b                  | 26.67±2.38Aa              |
| 雀舌栀子<br><i>G. jasminoides</i><br>'Radicans'    | QCK1                     | 43.20±7.14Bab        | 45.20±3.65Bb                | 13.21±4.13Aa                 | 21.33±5.51ab                | 23.23±0.51Ba              |
|                                                | QCK2                     | 46.57±1.07Ba         | 59.97±2.06Ba                | 11.10±1.27ABa                | 23.00±2.00a                 | 18.23±2.63Bbc             |
|                                                | QT1                      | 36.97±2.71Cb         | 49.50±0.75Bb                | 12.85±0.98Aa                 | 15.67±5.13bc                | 15.50±1.30Bc              |
|                                                | QT2                      | 45.40±3.16Aa         | 58.43±5.56Aa                | 10.31±1.75Aa                 | 16.33±2.08ab                | 21.27±2.21Aab             |
|                                                | QT3                      | 43.33±3.60Aab        | 59.33±0.90Ba                | 11.81±2.67Aa                 | 11.33±1.53c                 | 17.57±0.85Bc              |
| 花叶栀子<br><i>G. jasminoides</i><br>'Variegata'   | HCK1                     | 45.83±3.30ABa        | 44.47±1.70Ba                | 13.44±2.72Aa                 | —                           | 32.63±1.84Aa              |
|                                                | HCK2                     | 44.43±2.69Ba         | 39.43±2.58Cab               | 12.33±0.38Aab                | —                           | 31.83±0.67Aa              |
|                                                | HT1                      | 47.83±1.27Ba         | 44.77±1.36Ca                | 12.05±1.17Aab                | —                           | 28.87±1.55Ab              |
|                                                | HT2                      | 36.87±4.63Bb         | 34.97±4.72Bb                | 11.58±0.84Aab                | —                           | 23.03±0.60Ac              |
|                                                | HT3                      | 29.17±1.45Bc         | 28.90±3.13Cc                | 10.35±0.71Ab                 | —                           | 15.50±0.75Bd              |

注：同列不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )；同列不同大写字母表示品种间差异显著 ( $P<0.05$ )。下同。

Note: Different small letters in the same column mean significant differences between treatments ( $P<0.05$ ); different capital letters in the same column mean significant differences between varieties ( $P<0.05$ ). The same below.



不同小写字母表示处理间差异显著 ( $P<0.05$ )；不同大写字母表示品种间差异显著 ( $P<0.05$ )。下同。

Different small letters mean significant differences between treatments ( $P<0.05$ ); different capital letters mean significant differences between varieties ( $P<0.05$ ). The same below.

图 1 不同遮光处理下 3 种观赏栀子总生物量  
Fig. 1 Biomasses of three kinds of ornamental *Gardenia jasminoides* under different shading treatments

2 结果与分析

2.1 不同遮光处理下 3 种观赏栀子的形态指标变化

由表 2 可知,大花栀子的株高、冠幅在 3 种栀子中占优势,雀舌栀子开花数较多,花叶栀子的根

较前两者长。大花栀子中,60%遮光率的株高与茎直径较其他处理大,为 58.93 cm、13.76 mm;70%、90%、80%遮光率的大花栀子冠幅较大,0%遮光率的花朵数为 6 朵,根长为 24.93 cm,占绝对优势,并且随着遮光率越大,花朵数越少,90%遮光率的根长最长,为 26.67 cm。雀舌栀子中,80%

和 70% 遮光处理在株高、冠幅上优于其他处理, 80% 遮光率的株高为 46.57 cm, 冠幅为 59.97 cm, 其次为 90%、0% 和 60% 遮光率, 茎直径各处理差异不显著, 0% 遮光率最大, 为 13.21 mm; 80% 遮光率的雀舌栀子有最多的花朵数, 为 23 朵。其次为 0% 遮光率, 有 21 朵; 各遮光下雀舌栀子根长有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 0% 遮光率的根最长, 为 23.23 cm, 60% 遮光率的根最短, 仅 15.50 cm。在花叶栀子的遮光处理与对照处理中, 均为遮光率越小, 花叶栀子长势越好; 0% 遮光率株高 45.83 cm、冠幅 44.47 cm、茎直径 13.44 mm、根长 32.63 cm, 在各个处理中表现最为突出; 在试验期内, 所有花叶栀子均未开花, 具体原因有待进一步探讨。

## 2.2 不同遮光处理下 3 种观赏栀子的总生物量

从图 1 可以看出, 遮光均会对 3 种栀子生物量产生影响, 并且大花栀子生物量远高于其他两种栀子, 与之差异明显。随着遮光率的增加, 3 种栀子的生物量逐渐减小, 但花叶栀子在 80% 遮光环境下有最大生物量, 并且 80% 和 60% 遮光率的花叶栀子生物量高于 0% 遮光率, 各处理间差异明显。大花栀子各处理间的生物量无显著差异, 90% 遮光率环境下的雀舌栀子总生物量低。

## 2.3 不同遮光处理下 3 种观赏栀子的光合作用

3 种栀子在不同遮光处理下光合生理指标有不同的改变。60%、70% 遮光率的大花栀子净光合速率 ( $P_n$ ) 有较大值, 分别为 11.97、10.22  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 大于两个对照组。无遮光下雀舌栀子的  $P_n$  值最大, 为 13.42  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 其次是 60% 遮光率, 为 12.65  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。无遮光下花叶栀子的  $P_n$  值为 10.32  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 60%、70%、80%、90% 遮光率依次递减 (表 3)。

60% 遮光率的大花栀子气孔导度 ( $G_s$ ) 有较大值, 为 0.55  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。无遮光下大花栀子  $G_s$  为 0.38  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 70%、80%、90% 逐渐递减。无遮光下雀舌栀子的  $G_s$  值最大, 为 0.44  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 90% 遮光下最小, 为 0.13  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。无遮光下花叶栀子  $G_s$  值为 0.23  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 与其他处理有显著差异 (表 3)。

随着遮光强度的增大, 3 种栀子的胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 也逐渐增大, 90% 遮光率下的大花栀子、雀舌栀子、花叶栀子  $C_i$  分别为 367.87、345.22、315.39  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 说明在弱光的环境中, 栀子的光合

作用受到限制, 叶片中会积累较多的  $\text{CO}_2$  (表 3)。

60%、70% 遮光下大花栀子蒸腾速率 ( $T_r$ ) 分别为 6.16、6.03  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。两个对照组的  $T_r$  值在 5~6  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间, 90% 遮光率下的大花栀子  $T_r$  为 4.43  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。雀舌栀子略有不同, 最大  $T_r$  值为 QCK1, 6.62  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 其次为 QT1, 5.49  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 并随着遮光强度的增大逐渐降低。花叶栀子  $T_r$  值规律与雀舌栀子一致, 最大为 HCK1 (5.48  $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) (表 3)。

大花栀子水分瞬时利用率 ( $WUE$ ) 各处理间差异显著, 60%、70% 遮光率下的大花栀子  $WUE$  值分别为 1.94、1.69  $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 大于对照组。60% 遮光下雀舌栀子的  $WUE$  值为 2.31  $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 高于无遮光下的雀舌栀子; 其他各处理在 1.50~1.70  $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$  之间。这说明适度遮光情况下会更有利于雀舌栀子光合作用的水分利用。70% 遮光率下的花叶栀子有最大  $WUE$  值, 为 2.61  $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; 其次为 60% 遮光率 (2.44  $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ); 80% 遮光率下的  $WUE$  值为 2.00  $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; 其余 2 个处理在 2.00  $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$  以下 (表 3)。

## 2.4 不同遮光处理下 3 种观赏栀子的总 N 与各器官 N 含量

从图 2 可以看出, 不同品种处理间和相同品种处理间 N 含量在不同遮光环境下均有显著差异 ( $P < 0.05$ )。大花栀子的总 N 量高于雀舌栀子和花叶栀子, 随着遮光率的增加, 大花栀子和花叶栀子总 N 量逐渐增加, 雀舌栀子总 N 量先减少再增加。80% 的遮光条件下 3 个品种栀子的总 N 含量显著高于其他遮光处理; 其次在 90% 遮光下, 3 种栀子总 N 量也较高, 说明在荫蔽环境下更有利于 N 的吸收。

根、茎、叶的 N 含量随着遮光率不同而改变, 总体上, 3 种栀子叶总 N 量最高, 其次为根, 再次为茎。大花栀子中, 根总 N 量和叶总 N 量随着遮光率的增加而增加, 在茎中先减少再增加。雀舌栀子根、茎总 N 量随着遮光率的增加先减少再增加, 叶总 N 量逐渐增加, 而 QT2 含 N 量较少。花叶栀子中, 根总 N 量随着遮光率的增加先减少再增加, 茎、叶总 N 量随着遮光率的增加而增加, 说明在低强度光照下, 3 种栀子各器官 N 含量同步增加。在 80% 遮光条件下茎含 N 量要高于其他处理; 0% 遮光处理的栀子叶片和茎的 N 含量低。

表 3 不同遮光处理下 3 种观赏栀子光合生理指标  
Table 3 Photosynthetic physiological indexes of three kinds of ornamental *Gardenia jasminoides* under different shading treatments

| 品种名<br>Variety                                 | 处理编号<br>Treatment<br>number | 净光合速率<br>$P_n$<br>( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 气孔导度<br>$G_s$<br>( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 胞间 $\text{CO}_2$ 浓度<br>$C_i$<br>( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 蒸腾速率<br>$T_r$<br>( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) | 水分瞬时利用率<br>$WUE$<br>( $\text{mmol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) |
|------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| 大花栀子<br><i>G. jasminoides</i><br>'Grandiflora' | DCK1                        | 8.14±0.28c                                                                    | 0.38±0.01b                                                                 | 263.32±6.08e                                                                                | 5.38±0.25b                                                                 | 1.52±0.07c                                                  |
|                                                | DCK2                        | 6.39±0.36d                                                                    | 0.28±0.01c                                                                 | 339.43±9.42b                                                                                | 5.20±0.06b                                                                 | 1.23±0.07d                                                  |
|                                                | DT1                         | 11.97±0.22a                                                                   | 0.55±0.02a                                                                 | 285.87±4.17d                                                                                | 6.16±0.01a                                                                 | 1.94±0.03a                                                  |
|                                                | DT2                         | 10.22±0.24b                                                                   | 0.35±0.02b                                                                 | 314.84±3.51c                                                                                | 6.03±0.05a                                                                 | 1.69±0.05b                                                  |
|                                                | DT3                         | 3.97±0.15e                                                                    | 0.16±0.01d                                                                 | 367.87±2.87a                                                                                | 4.43±0.05c                                                                 | 0.90±0.02e                                                  |
| 雀舌栀子<br><i>G. jasminoides</i><br>'Radicans'    | QCK1                        | 13.42±0.21a                                                                   | 0.44±0.02a                                                                 | 255.19±3.63e                                                                                | 6.62±0.21a                                                                 | 2.03±0.03b                                                  |
|                                                | QCK2                        | 5.87±0.25d                                                                    | 0.26±0.02c                                                                 | 322.98±3.20b                                                                                | 3.61±0.23d                                                                 | 1.63±0.17c                                                  |
|                                                | QT1                         | 12.65±0.38b                                                                   | 0.36±0.02b                                                                 | 272.20±3.65d                                                                                | 5.49±0.12b                                                                 | 2.31±0.11a                                                  |
|                                                | QT2                         | 8.10±0.19c                                                                    | 0.35±0.01b                                                                 | 292.54±4.14c                                                                                | 4.82±0.15c                                                                 | 1.68±0.02c                                                  |
|                                                | QT3                         | 4.00±0.22e                                                                    | 0.13±0.01d                                                                 | 345.22±2.99a                                                                                | 2.52±0.04e                                                                 | 1.59±0.12c                                                  |
| 花叶栀子<br><i>G. jasminoides</i><br>'Variegata'   | HCK1                        | 10.32±0.71a                                                                   | 0.23±0.02a                                                                 | 248.90±4.98c                                                                                | 5.48±0.60a                                                                 | 1.90±0.28bc                                                 |
|                                                | HCK2                        | 5.78±0.38d                                                                    | 0.12±0.01bc                                                                | 285.27±18.38b                                                                               | 2.91±0.30c                                                                 | 2.00±0.31bc                                                 |
|                                                | HT1                         | 8.96±0.55b                                                                    | 0.13±0.01b                                                                 | 274.32±2.99bc                                                                               | 3.71±0.42b                                                                 | 2.44±0.37ab                                                 |
|                                                | HT2                         | 6.96±0.27c                                                                    | 0.12±0.01bc                                                                | 277.39±3.12bc                                                                               | 2.67±0.12c                                                                 | 2.61±0.21a                                                  |
|                                                | HT3                         | 4.02±0.20e                                                                    | 0.10±0.01c                                                                 | 315.39±29.11a                                                                               | 2.43±0.34c                                                                 | 1.68±0.28c                                                  |

## 2.5 不同遮光处理下 3 种观赏栀子总 P 与各器官 P 含量

3 种栀子总 P 量有显著差异 ( $P < 0.05$ ), 雀舌栀子和花叶栀子总 P 量稍高于大花栀子。大花栀子和雀舌栀子总 P 量随着遮光率增大先增加再减小, 花叶栀子 P 含量逐渐减小; 大花栀子和雀舌栀子在遮光率 60% 的条件下总 P 含量高; 花叶栀子在 0% 遮光条件下有利于总 P 的积累。总体上, 大花栀子各处理总 P 量受遮光影响较小 (图 3)。

在大花栀子和雀舌栀子的根总 P 量含量最高, 叶最低。大花栀子中, 各处理茎、叶总 P 量差异不大, P 含量随着遮光变化较为一致, 在 0% 和 70% 遮光率处理下含量小于其他处理; 在根中随着遮光的降低逐渐降低。雀舌栀子中, 根、叶总 P 量随着遮光率增加先增加再减小, 在茎中各处理 P 含量无显著差异。花叶栀子中, P 含量在器官内由高到低依次为叶 > 茎 > 根, 根、茎、叶中各处理差异不大, 根总 P 量随遮光率增加逐渐降低, 茎总 P 量除 90% 遮光率略低外, 其他处理差异不大, 叶总 P 量 0% 和 70% 遮光率略高于其他 3 个处理。

## 2.6 不同遮光处理下 3 种观赏栀子的总 K 与各器官 K 含量

3 种栀子 K 含量差异不大, K 含量随大花栀子中遮光率增加而增加, 雀舌栀子和花叶栀子 K 含量随遮光率增加先降低后增加。在荫蔽环境下, 大花栀子会加强对 K 的吸收, 在充足光照和荫蔽环境下, 雀舌栀子和花叶栀子对 K 的吸收能力大于适当遮光环境 (图 4)。90% 的遮光条件有利于大花栀子和雀舌栀子的 K 含量积累, 花叶栀子在 0% 遮光条件下有利于总 K 和总 P 的积累。

总体上, 叶 K 含量大于根与茎, 大花栀子中, 根与叶总 K 量随遮光率的增加而逐渐增加, 而在 T2 处理下含量略少。茎总 K 量先减小再增加, 雀舌栀子各器官 K 含量变化趋势基本一致, 随着遮光率增加先减小再增加。花叶栀子根、茎总 K 量逐渐减小, 叶总 K 量较高, 远超过根与茎, 除 60% 遮光率的 K 含量稍低以外, 其他处理均在  $25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  以上。90% 的遮光条件有利于大花栀子和雀舌栀子的 K 含量积累, 花叶栀子在 0% 遮光条件下有利于总 K 积累 (图 4)。

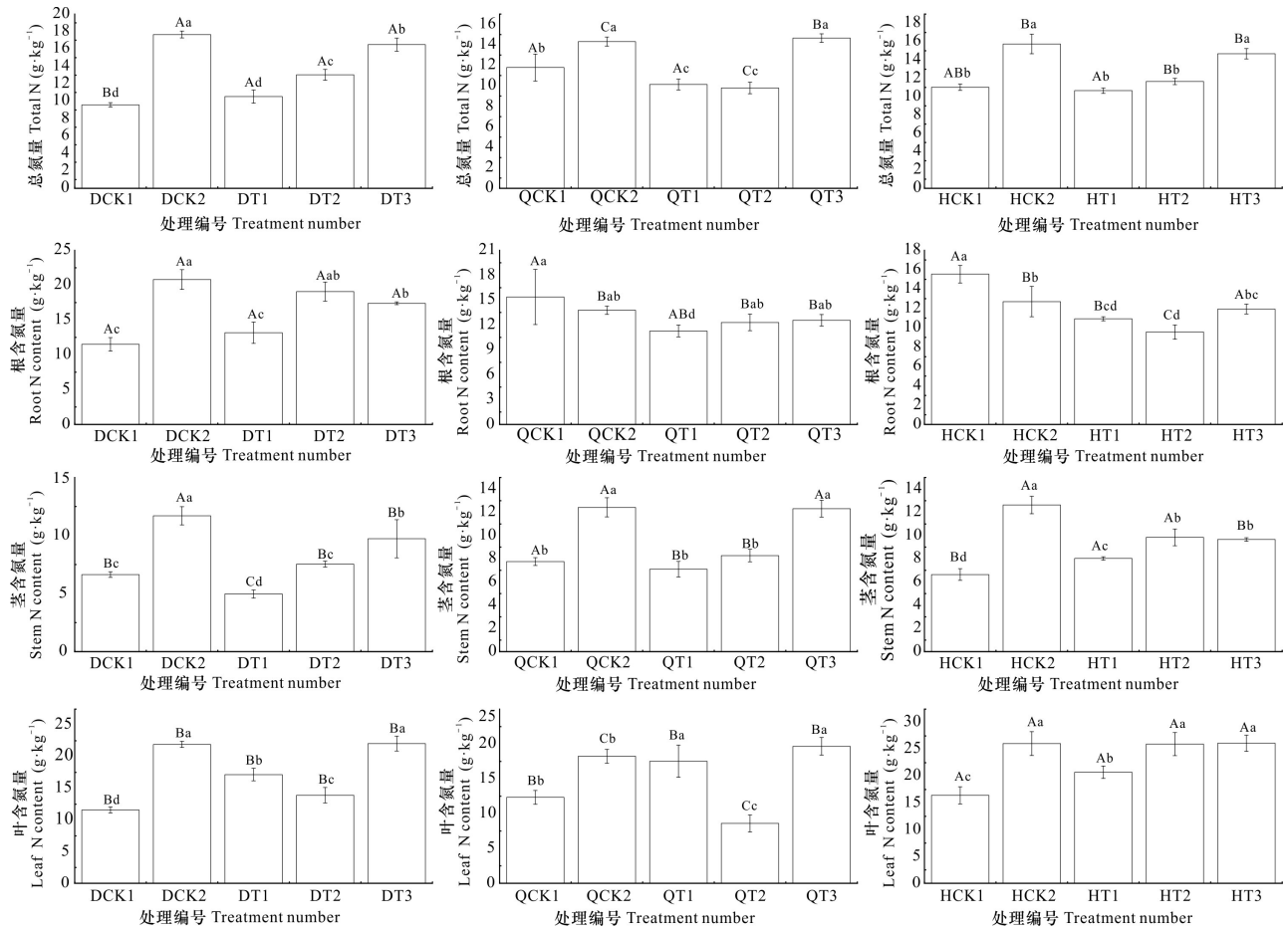


图 2 不同遮光处理下 3 种观赏栀子的总氮量与各器官氮含量

Fig. 2 N content of each organ and total N of three kinds of ornamental *Gardenia jasminoides* under different shading treatments

### 3 讨论

#### 3.1 不同遮光率对观赏栀子光合作用的影响

光是植物进行光合作用不可或缺的能量,也是影响因子最大的环境因素。此外,光照强度还会影响植物体内其他生理过程,从而对光合作用产生间接影响,如在光强较低时,蒸腾速率降低、气孔导度减小、 $\text{CO}_2$ 吸收减弱,从而使光合产物运输受阻,最终导致光合产物有机物积累于叶片中(王艺和韦小丽,2010)。本研究中,60%遮光率下的大花栀子有最大净光合速率,这可能是由于在强光下光系统受到光抑制以及气孔因素使得自然光照下的光合速率会低于遮光环境(蔡建国等,2017)。3种观赏栀子分别在70%、80%、90%遮光率处

理下,气孔导度较小,而胞间 $\text{CO}_2$ 浓度较高,说明叶片吸收的 $\text{CO}_2$ 没有被光系统较快地利用,从而导致净光合速率下降,蒸腾速率和水分瞬时利用率而气孔导度小而受到影响(王振兴等,2012)。

#### 3.2 光照影响观赏栀子的 NPK 吸收情况

光照条件影响各种无机盐还原酶的活性(Niklas,2006),进一步对N、P、K元素含量造成影响。N、P、K元素参与了植物蛋白质合成、能量转换、物质合成等多种生命活动(Ågren,2008;刘超等,2012;王丽娜等,2014),并且存在于光合器官中的N与光合作用联系紧密。3种栀子各器官对N、P、K吸收与利用有所不同。3种栀子N与K含量高低排序为叶、根、茎,大花栀子和雀舌栀子P含量高低排序为根、茎、叶。本研究结果与他人的结论既有相似之处,也有不同之处,如李小峰等

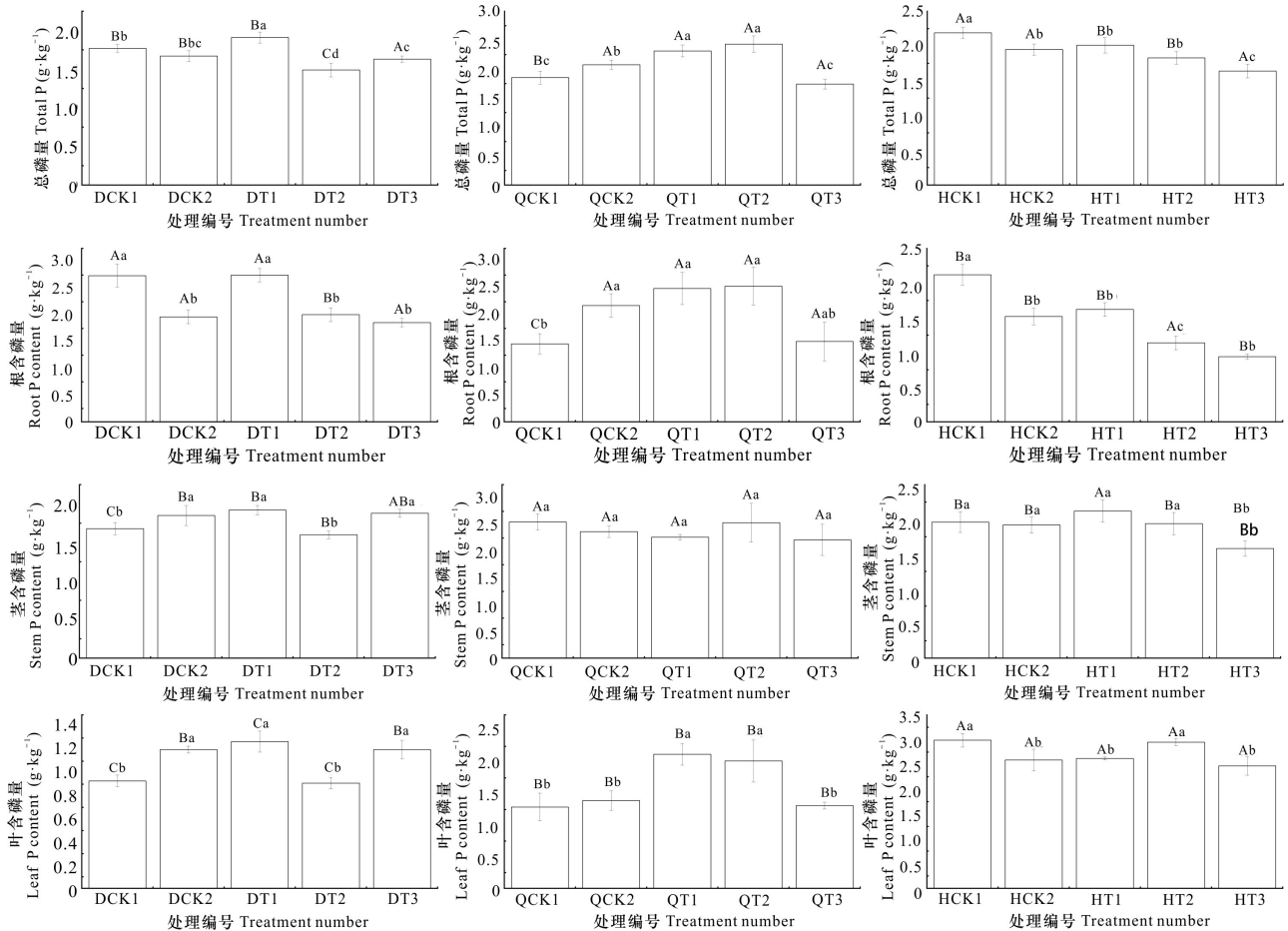


图 3 不同遮光处理下 3 种观赏栀子总磷量与各器官磷含量

Fig. 3 P content of each organ and total P of three kinds of ornamental *Gardenia jasminoides* under different shading treatments

(2013)和于帅等(2013)发现植物中 N、P、K 的分配高低规律为叶、茎、根; 颜洪涛等(2017)和徐庆祥(2013)研究发现植物 N、P 含量分配高低规律为叶、根、茎。叶作为植物生产有机物的主要营养器官, 需要大量营养物质, 而根的主要作用是吸收营养物质, 其自身并不是储存太多养分, 而是将其向茎和叶运输。在遮光率高的环境下, 花叶栀子生物量受遮光的影响大, 遮光处理下的花叶栀子的根 P、K 含量低, 这可能是在遮光条件下, 花叶栀子光合机能下降, 减少了光合产物的合成量, 使新梢及根系的生长都受到抑制, 特别是供给根系的光合产物减少, 以致其吸收营养元素的机能也受到影响。乔新荣等(2008)的研究发现, 光强减弱增加了总 N、K 含量, 并认为光强变化对于烟草的 C、N 代谢, 甚至其烟叶品质都会产生影响。王振

南等(2013)研究证明, 光照能影响植物内 N、P、K 含量, 随光照强度的减弱, 烤烟的矿质元素含量逐渐增加; 刘国顺等(2007)研究表明, 随光强减弱, 矿质元素含量呈下降趋势。本研究中, 大花栀子与雀舌栀子的 N、K 含量在遮光率高环境下较高, P 在适度遮光含量最高, 但各处理间差异并不显著。花叶栀子 N 含量在遮光率高环境下较高, P 在充足光照下较高, 在适度遮光下的 K 含量低于充足光照和遮光率高条件下, 说明 3 种栀子对 3 种元素的选择吸收情况不一致。在低光照环境下, 光合作用受到抑制, 为了维持植株正常生长, 光合器官旺盛发展, 与之相关的光合酶也大量产生, 从而使 N 元素增加(史建国等, 2015)。从 P 元素在 3 种观赏栀子中的不同表现可以发现, 在非弱光环境下更有利于其吸收, 原因是在较充足光照环境

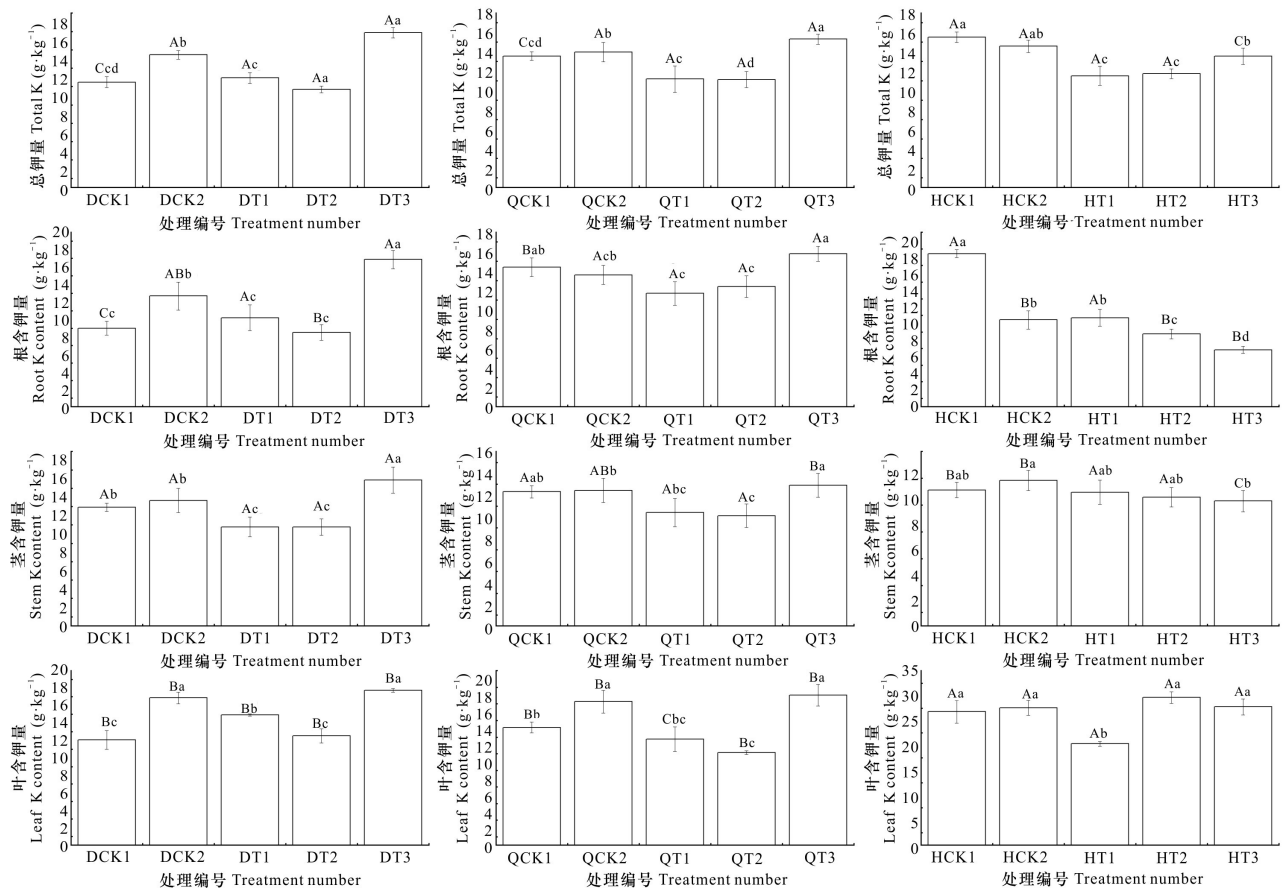


图 4 不同遮光处理下 3 种观赏栀子总钾量与各器官钾含量

Fig. 4 K content of each organ and total K of three kinds of ornamental *Gardenia jasminoides* under different shading treatments

下,叶绿素含量较低时光照少,细胞生长速度较快,蛋白质类化合物合成较快,而 P 作为磷脂、核蛋白的主要成分也随之大量增加。K 元素是保证植物品质的重要因素,是酶的活化剂,对调节细胞的膨压和渗透压有重要作用(李单凤等,2015;康利允等,2018)。3 种观赏栀子会在自身生长条件受限时,增大对 K 元素的吸收和利用,以维持自身各类生化反应。

### 3.3 不同遮光率对观赏栀子生长、生物量的影响

不同遮光率对观赏栀子造成了不同程度的影响,主要表现在形态特征和生物量积累。本研究,全日照有利于观赏栀子开花,90%遮光下的观赏栀子的开花数略差,这是由于光照充足有利于植物体内有机物质积累促进开花,花叶栀子未开花,这可能是由于品种原因。叶片是栀子光合作用的基础,叶片越大其生物量越大,在一定范围

内,随光照强度增加,烟叶的光合作用、糖分合成、干物质积累均会增加(魏明月等,2017)。大花栀子的生物量含量高,其叶片大,有利于栀子捕获光能,维持光合作用的高速运转,进而有效避免由于光能过剩而导致的光抑制,对大花栀子产量的提高具有十分重要的作用。强光条件有利于大花栀子生物量的积累。王满莲等(2015)研究认为地枫皮和块根紫金在全光照下总生物量积累降低这是由不同植物对光强有不同的适应性决定的。雀舌栀子 70% 遮光处理后,由于外界环境中红光与远红光比例发生变化,影响了植物光敏色素,因此导致植株株高增加、冠幅增加等趋光避荫反应。90% 遮光下的观赏栀子生物量较其他处理的生物量少,究其原因可能是栀子生物量降低及向根部分配的同化物减少使其对弱光环境的适应性增强,从而能最大限度地利用光能资源。

## 4 结 论

整体上,大花栀子的植株生长情况较雀舌栀子和花叶栀子要好,雀舌栀子开花量高于大花栀子和花叶栀子,虽然花叶栀子长势较差,但叶片美观。3个栀子品种中,雀舌栀子更耐荫蔽,适合于80%和70%的遮光条件下生长。大花栀子次之,适合于60%和0%遮光条件下生长。花叶栀子最不耐荫,适合0%遮光条件下生长。本研究认为,遮光影响观赏栀子的N、P、K含量及分配情况,且各处理之间有显著差异( $P < 0.05$ )。3种栀子生物量随遮光率增加均逐渐减小。大花栀子和雀舌栀子N、P、K在器官中积累规律较一致,80%的遮光率有利于N的积累,90%遮光率有利于K的积累,60%遮光率有利于P的积累。0%遮光率有利于花叶栀子K和P的积累。3种栀子各器官N、K含量高低排序为叶、根、茎。花叶栀子P含量高低排序为叶、茎、根,其他两种栀子P含量高低排序为根、茎、叶,但含量差别不大。本研究为观赏栀子园林应用中的合理配植、肥水管理提供了参考,也为今后进一步揭示观赏栀子对光环境的响应机制奠定了基础。

## 参考文献:

- ÅGREN GI, 2008. Stoichiometry and nutrition of plant growth in natural communities [J]. *Ann Rev Ecol Evol Syst*, 39: 153–170.
- CAI JG, WEI MQ, ZHANG Y, et al., 2017. Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of *Hydrangea macrophylla* [J]. *Chin J Plant Ecol*, 41(5): 570–576. [蔡建国, 韦孟琪, 章毅, 等, 2017. 遮阴对绣球光合特性和叶绿素荧光参数的影响 [J]. *植物生态学报*, 41(5): 570–576.]
- CHEN YL, 2018. Study on resources survey of *Gardenia* and herbalism of *Gardenia jasminoides* J. Ellis [D]. Beijing: Peking Union Medical College. [陈雅林, 2018. 栀子属资源概况及栀子本草学研究 [D]. 北京: 北京协和医学院.]
- DENG SY, ZHU PL, WANG XR, 2018. Cultivar classification of *Gardenia* plants [J]. *S Chin For Sci*, 46(1): 13–18. [邓绍勇, 朱培林, 王贤荣, 2018. 栀子品种分类研究 [J]. *南方林业科学*, 46(1): 13–18.]
- FAR GD, SHARKEY TD, 1982. Stomal conductance and photosynthesis [J]. *Ann Rev Plant Physiol*, 33: 317–345.
- HAN JL, SHAN CG, WANG ZF, 2018. Shading treatments: Effects on photosynthetic rate and yield of 9 medicinal plants [J]. *J Agric*, 8(10): 57–60. [韩金龙, 单成钢, 王志芬, 2018. 不同遮光处理对9种药用植物光合速率及产量的影响 [J]. *农学学报*, 8(10): 57–60.]
- KANG LY, CHANG GZ, GAO NN, et al., 2018. Effects of different nitrogen and potassium fertilizing amount on nutrition absorption, nutrition distribution and yield of muskmelon [J]. *Sci Agric Sin*, 51(9): 1758–1770. [康利允, 常高正, 高宁宁, 等, 2018. 不同氮、钾肥施用量对甜瓜养分吸收、分配及产量的影响 [J]. *中国农业科学*, 51(9): 1758–1770.]
- KIM HI, HONG SH, LEE SY, et al., 2021. *Gardenia jasminoides* ameliorates antibiotic-associated aggravation of DNCB-induced atopic dermatitis by restoring the intestinal microbiome profile [J]. *Nutrients*, 13(4): 1349.
- LI DF, YU SL, WANG GX, et al., 2015. Environmental heterogeneity and mechanism of stoichiometry properties of vegetative organs in dominant shrub communities across the Loess Plateau [J]. *Chin J Plant Ecol*, 39(5): 453–465. [李单凤, 于顺利, 王国勋, 等, 2015. 黄土高原优势灌丛营养器官化学计量特征的环境分异和机制 [J]. *植物生态学报*, 39(5): 453–465.]
- LI XF, LI QH, QIN HL, et al., 2013. Distribution characteristics of N, P and K contents in 30 common plants from the hydro-fluctuation belt of Baihua Reservoir [J]. *Acta Sci Circum*, 33(4): 1089–1097. [李小峰, 李秋华, 秦好丽, 等, 2013. 百花湖消落带常见植物氮磷钾营养元素含量分布特征研究 [J]. *环境科学学报*, 33(4): 1089–1097.]
- LI YL, MAO W, ZHAO XY, et al., 2010. Leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry in typical desert and desertified regions, North China [J]. *Environ Sci*, 31(8): 1716–1725. [李玉霖, 毛伟, 赵学勇, 等, 2010. 北方典型荒漠及荒漠化地区植物叶片氮磷化学计量特征研究 [J]. *环境科学*, 31(8): 1716–1725.]
- LIU C, WANG Y, WANG N, et al., 2012. Advances research in plant nitrogen, phosphorus and their stoichiometry in terrestrial ecosystems: a review [J]. *Chin J Plant Ecol*, 36(11): 1205–1216. [刘超, 王洋, 王楠, 等, 2012. 陆地生态系统植被氮磷化学计量研究进展 [J]. *植物生态学报*, 36(11): 1205–1216.]
- LIU GS, QIAO XR, WANG F, et al., 2007. Effects of light intensity on photosynthetic capabilities, growth and quality of flue-cured tobacco [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 27(9): 1833–1837. [刘国顺, 乔新荣, 王芳, 等, 2007. 光照强度对烤烟光合特性及其生长和品质的影响 [J]. *西北植物学报*, 27(9): 1833–1837.]
- LU LL, FAN YL, DENG K, et al., 2021. Principal component and cluster analysis of volatile components in cape jasmine flower from different cultivars at different stages of bloom

- [J]. J Nucl Agric Sci, 35(7): 1601-1608. [卢路路, 樊怡灵, 邓珂, 等, 2021. 不同品种和花期栀子花挥发性物质的主成分和聚类分析 [J]. 核农学报, 35(7): 1601-1608.]
- NIKLAS KJ, 2006. Plant allometry, leaf nitrogen and phosphorus stoichiometry and interpecific trends in annual growth rates [J]. Ann Bot, 97(2): 155-163.
- QIAO XR, YANG XY, LIU GS, et al., 2008. Effects of weak light stress on chemical components and neutral volatile flavor components in flue-cured tobacco [J]. Tobacco Sci Technol, (9): 56-58. [乔新荣, 杨兴有, 刘国顺, 等, 2008. 弱光胁迫对烤烟化学成分及中性挥发性致香物质的影响 [J]. 烟草科技, (9): 56-58.]
- SHI JG, ZHU KL, CAO HY, et al., 2015. Effect of light from flowering to maturity stage on dry matter accumulation and nutrient absorption of summer maize [J]. Chin J Appl Ecol, 26(1): 46-52. [史建国, 朱昆仑, 曹慧英, 等, 2015. 花粒期光照对夏玉米干物质积累和养分吸收的影响 [J]. 应用生态学报, 26(1): 46-52.]
- WANG LN, YANG JM, LIU JH, et al., 2014. The study of Ni stress on N, P, K accumulation and allocation of corn seeding [J]. Chin Agric Sci Bull, 30(27): 139-144. [王丽娜, 杨靖民, 刘金华, 等, 2014. 镍胁迫对玉米幼苗氮、磷、钾积累与分配的研究 [J]. 中国农学通报, 30(27): 139-144.]
- WANG ML, WEI X, TANG H, et al., 2015. Effects of light intensity on growth and photosynthesis of three karst plant seedlings [J]. Chin J Ecol, 34(3): 604-610. [王满莲, 韦霄, 唐辉, 等, 2015. 光强对三种喀斯特植物幼苗生长和光合特性的影响 [J]. 生态学杂志, 34(3): 604-610.]
- WANG Y, WEI XL, 2010. Advance on the effects of different light environments on growth, physiological biochemistry and morphostructure of plant [J]. J Mt Agric Biol, 29(4): 353-359. [王艺, 韦小丽, 2010. 不同光照对植物生长, 生理生化 and 形态结构影响的研究进展 [J]. 山地农业生物学报, 29(4): 353-359.]
- WANG ZN, YANG HM, 2013. Response of ecological stoichiometry of carbon, nitrogen and phosphorus in plants to abiotic environmental factors [J]. Pratac Sci, 30(6): 927-934. [王振南, 杨惠敏, 2013. 植物碳氮磷生态化学计量对非生物因子的响应 [J]. 草业科学, 30(6): 927-934.]
- WANG ZX, ZHU JM, WANG J, et al., 2012. The response of photosynthetic characters and biomass allocation of *P. bournei* young trees to different light regimes [J]. Acta Ecol Sin, 32(12): 3841-3848. [王振兴, 朱锦懋, 王健, 等, 2012. 闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应 [J]. 生态学报, 32(12): 3841-3848.]
- WEI MY, YUN F, LIU GS, et al., 2017. Response of photosynthetic characteristics and accumulation and distribution of assimilation products in tobacco to different light environments [J]. Chin J Appl Ecol, 28(1): 159-168. [魏明月, 云菲, 刘国顺, 等, 2017. 不同光环境下烟草光合特性及同化产物的积累与分配机制 [J]. 应用生态学报, 28(1): 159-168.]
- XIAO WP, LI SM, WANG SY, et al., 2016. Chemistry and bioactivity of *Gardenia jasminoides* [J]. J Food Drug Anal: 1-19.
- XIE HT, YU MK, CHENG XR, 2017. Effects of light intensity variation on nitrogen and phosphorus contents, allocation and limitation in five shade-enduring plants [J]. Chin J Plant Ecol, 41(5): 559-569. [颀洪涛, 虞木奎, 成向荣, 2017. 光照强度变化对 5 种耐阴植物氮磷养分含量、分配以及限制状况的影响 [J]. 植物生态学报, 41(5): 559-569.]
- XU QX, 2013. Effect of thinning on soil physicochemical property and carbon storage of the natural *Larix gmelinii* forest in Great Xing'an Mountains [D]. Harbin: Northeast Forestry University. [徐庆祥, 2013. 抚育间伐对大兴安岭兴安落叶松天然林碳储量的影响 [D]. 哈尔滨: 东北林业大学.]
- YAN YF, FANG SZ, TIAN Y, et al., 2014. The response of understory plant diversity and nutrient accumulation to stand structure of poplar plantation [J]. Chin J Ecol, 33(5): 1170-1177. [燕亚飞, 方升佐, 田野, 等, 2014. 林下植物多样性及养分积累量对杨树林分结构的响应 [J]. 生态学杂志, 33(5): 1170-1177.]
- YANG JL, YIN CX, TAN J, et al., 2020. Effect of different shading treatments on flowering characteristic and volatile components of two *Gardenia jasminoides* [J]. Acta Bot Boreal-Occident Sin, 40(11): 1940-1950. [杨吉龙, 尹陈茜, 谭君, 等, 2020. 遮光处理对两种观赏栀子开花特性及挥发物的影响 [J]. 西北植物学报, 40(11): 1940-1950.]
- YU S, CHEN W, HE XY, et al., 2013. Nitrogen and phosphorus contents of six woody plant species in riparian zone of Hunhe River, Northeast China [J]. Chin J Ecol, 32(12): 3131-3135. [于帅, 陈玮, 何兴元, 等, 2013. 浑河入库河道缓冲带六种木本植物氮磷含量特征 [J]. 生态学杂志, 32(12): 3131-3135.]
- ZHANG Z, YANG S, DU GJ, et al., 2013. Effects of shade on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of three kinds of leguminous forage [J]. Acta Pratac Sin, 22(5): 212-219. [张哲, 杨姝, 杜桂娟, 等, 2013. 遮阴对三种豆科牧草光合特性和叶绿素荧光参数的影响 [J]. 草业学报, 22(5): 212-219.]

(责任编辑 蒋巧媛)