

# 遮光对臭牡丹生长和光合特性的影响

张建新<sup>1</sup>, 颜 赞<sup>2</sup>, 方炎明<sup>2,①</sup>

(1. 丽水职业技术学院环境工程分院, 浙江 丽水 323000; 2. 南京林业大学森林资源与环境学院, 江苏 南京 210037)

**摘要:** 对全光照(遮光率0%,对照)以及遮光率25%、50%和75%条件下臭牡丹(*Clerodendrum bungei* Steud.)生长和光合特性的变化进行了研究。结果表明:随遮光率的提高臭牡丹枝长生长量和比叶面积逐渐增加、枝条直径生长量和比叶质量逐渐减小,叶面积呈波动变化,其中在遮光率25%条件下叶面积最小。在遮光条件下叶片以及栅栏组织和海绵组织厚度差异不显著,但均显著小于对照。在遮光条件下叶片叶绿素 $a$ 和总叶绿素含量以及叶绿素 $a/b$ 值总体上随遮光率提高逐渐增加且均高于对照,仅在遮光率25%条件下叶绿素 $b$ 以及总叶绿素含量低于对照。在遮光率25%和75%条件下叶片净光合速率( $P_n$ )有明显“午休”现象, $P_n$ 日变化曲线近似于“双峰型”;而在对照和遮光率50%条件下 $P_n$ 无“午休”现象,日变化曲线近似于“单峰型”;4个处理组 $P_n$ 峰值的大小以及峰值出现时间有差异。在上午9:00,在遮光率25%和50%条件下叶片气孔导度( $G_s$ )略有降低,而在对照和遮光率75%条件下 $G_s$ 明显升高;此后随着时间的延长各处理的 $G_s$ 总体上呈逐渐下降的趋势。各处理组叶片胞间 $CO_2$ 浓度( $C_i$ )的日变化曲线基本一致,均呈早晚略高、中午略低的趋势,谷值均出现在13:00。在对照及遮光率25%和75%条件下,叶片蒸腾速率( $T_r$ )的日变化曲线均呈“双峰型”;而在遮光率50%的条件下 $T_r$ 呈逐渐降低的趋势,日变化曲线近似于“单峰型”。总体上看,4个处理组叶片的 $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 和 $T_r$ 日平均值均无显著差异;且在遮光率25%、50%和75%条件下臭牡丹叶片的 $P_n$ 与 $T_r$ 间有显著或极显著相关性。综合分析结果表明:臭牡丹是偏阴生植物,在栽培中适度遮光有利于臭牡丹的生长发育。

**关键词:** 臭牡丹; 遮光; 生长; 光合特性

中图分类号: Q945.11; Q949.777.5 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2013)01-0088-06

DOI: 10.3969/j.issn.1674-7895.2013.01.14

**Effect of shading on growth and photosynthetic characteristics of *Clerodendrum bungei*** ZHANG Jianxin<sup>1</sup>, YAN Yun<sup>2</sup>, FANG Yanming<sup>2,①</sup> (1. Department of Environmental Engineering, Lishui Vocational and Technical College, Lishui 323000, China; 2. College of Forest Resources and Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2013, 22(1): 88-93

**Abstract:** Change of growth and photosynthetic characteristics of *Clerodendrum bungei* Steud. was researched under conditions of full sunlight (shading rate of 0%, CK) and shading rate of 25%, 50% and 75%. The results show that with enhancing of shading rate, growth increment of branch length and specific leaf area increase gradually, growth increment of branch diameter and specific leaf weight decrease gradually; and leaf area appears a fluctuant change with the smallest leaf area under shading rate of 25%. Under shading conditions, thickness of leaf, palisade tissue and sponge tissue has no significant differences, but that is significantly smaller than that of the control. Under shading conditions, contents of chlorophyll  $a$  and total chlorophyll and ratio of chlorophyll  $a/b$  increase generally with enhancing of shading rate and are higher than those of the control, but only contents of chlorophyll  $b$  and total chlorophyll are lower than those of the control under shading rate of 25%. Under shading rate of 25% and 75%, net photosynthetic rate ( $P_n$ ) of leaf has an obvious “midday depression” with a  $P_n$  daily change curve similar to “two-peak pattern”, while under the control and shading rate of 50%,  $P_n$  has no

收稿日期: 2012-05-18

基金项目: 浙江省丽水市科技计划项目(20080408)

作者简介: 张建新(1965—),男,浙江金华人,硕士,副教授,主要从事观赏植物栽培与应用方面的研究。

①通信作者 E-mail: jwu4@njfu.edu.cn

“midday depression” with a Pn daily change curve similar to “single-peak pattern”; and range and appearance time of Pn peak value are different among four treatment groups. At 9:00, stomatal conductance (Gs) of leaf decreases slightly under shading rate of 25% and 50%, but increases obviously under the control and shading rate of 75%, and then Gs under all treatment conditions appears a trend of gradually decreasing with prolonging of time. Daily change curve of intercellular CO<sub>2</sub> concentration (Ci) of leaf in all treatment groups is basically identical with a trend of slightly high in the morning and evening and slightly low at noon, and Ci valley value all appears at 13:00. Daily change curve of transpiration rate (Tr) all displays “two-peak pattern” under the control and shading rate of 25% and 75%, but Tr appears a gradually decreasing trend under shading rate of 50% with a daily change curve similar to “single-peak pattern”. Generally, Daily average values of Pn, Gs, Ci and Tr have no significant differences among four treatment groups, and there is significant or extremely significant correlations between Pn and Tr of *C. bungei* leaf under conditions of shading rate of 25%, 50% and 75%. Comprehensive analysis result suggests that *C. bungei* is a partial shade plant, and appropriate shading is beneficial to its growth and development in cultivation process.

**Key words:** *Clerodendrum bungei* Steud.; shading; growth; photosynthetic characteristics

光能以环境信号的形式作用于植物,调节其生长、发育和形态建成,使植物更好地适应外界环境<sup>[1]</sup>。在长期的进化过程中,由于不同植物所接受的太阳辐射量存在明显差异,因此形成了自身特有的需光特性<sup>[2]</sup>。荫蔽一般会影响喜光植物的生长发育,但适度的荫蔽则有利于耐阴植物的生长发育。叶绿素含量和净光合速率是评价植物耐阴性的重要生理指标,在揭示植物耐阴性及其机制方面有着重要作用<sup>[3-5]</sup>。

臭牡丹(*Clerodendrum bungei* Steud.)为马鞭草科(Verbenaceae)大青属(*Clerodendrum* Linn.)植物,别名矮桐子、大红袍、臭八宝;臭牡丹是药赏兼用植物之一,其叶色浓绿、花大色艳、形如绣球且花期长,是难得的夏花观赏种类;并且结果时增大的紫红色宿存萼片托以蓝紫色果实,其果期也极具观赏价值。臭牡丹根系发达,具有固定土壤的作用,在水土保持方面有其独特的优势。目前,有关臭牡丹的研究主要集中在化学成分和药理等方面<sup>[6-8]</sup>,有关遮光条件下臭牡丹生长和光合特性变化的研究未见报道。作者对遮光条件下臭牡丹的光合生理生态特征进行了分析,以期对臭牡丹的栽培生产和合理应用提供基础数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

供试臭牡丹为2年生植株,大小整齐且无病虫害,栽植于直径20 cm的花盆中,栽植基质为园土;每盆1株,常规管理。置于浙江丽水职业技术学院苗圃内,生长4个月后至2011年3月5日至9月20日进

行遮光处理。

### 1.2 方法

1.2.1 遮光处理 设置4个处理组:全光照(遮光率0%,对照)、遮光率25%、遮光率50%和遮光率75%。将植株置于阴棚内进行遮光处理,棚高1.5 m、长3.0 m、宽2.0 m,棚间距2.0 m;根据实验设置的遮光率采用黑色遮阳网进行遮光,采用完全随机区组设计,每棚为1个处理,每处理18盆,重复3次。

1.2.2 生长指标测定 分别于处理开始的3月5日和处理结束的9月20日15:00在距新梢基部3 cm处用游标卡尺测每一植株所有枝条的直径,并用卷尺测量所有枝条的长度。每一植株随机选取中部成熟叶片3片,用CanoScan4400F型叶面积扫描仪(日本Canon公司)进行扫描,用图像分析软件(WinRHIZO)分析叶面积。

1.2.3 光合参数测定 于2011年9月6日至8日(晴天),每处理随机取4片相同叶位的功能叶片,于7:00至17:00用CIRAS-2便携式光合仪(美国汉莎科学仪器有限公司)测定叶片光合参数,每隔2 h测定1次,同一叶片重复测定3次。

1.2.4 比叶质量测定 于2011年9月10日至15日,分别从各处理组中选取生长状况具代表性的植株4株,从第2和第3对叶开始随机取3片功能叶片并编号,用毛笔清除叶表面灰尘后,用扫描仪测量叶片叶面积,用FA2104N型电子分析天平(上海精密科学仪器有限公司,精度0.1 mg)称其鲜质量;将叶片置于烘箱中,于白天80℃、夜间50℃条件下干燥至恒质量,称取其干质量。计算比叶鲜质量和比叶干质量。

1.2.5 叶绿素含量测定 于 2011 年 9 月 10 日至 15 日,按上述方法取植株第 2 和第 3 对叶片,参照杨敏文<sup>[9]</sup>的方法进行叶绿素含量测定。

1.2.6 叶片横切面结构观察 于 2011 年 9 月 10 日至 15 日,从各处理组中分别采集叶片 3 片,编号后进行徒手切片,用荧光显微镜拍照,每张叶片保存 3 张照片,然后用 Image j 分析软件的测微尺测定栅栏组织、海绵组织及叶片厚度,每张叶片测量 20 组数据。

### 1.3 数据处理

采用 Excel 2003 和 SPSS 13.0 软件进行数据处理和图表绘制,在  $P=0.05$  水平上进行单因素方差分析 (one-way ANOVA)。

## 2 结果和分析

### 2.1 遮光处理对臭牡丹生长的影响

2.1.1 对枝叶生长量的影响 不同遮光条件下臭牡丹枝叶生长状况的差异见表 1。由表 1 可见:臭牡丹枝长生长量随遮光率的提高而增加,在遮光率 25%、50% 和 75% 的条件下其枝长生长量分别较对照(全光照,遮光率 0%)增加 1.37、4.35 和 10.43 cm;其中,在遮光率 75% 的条件下枝长生长量显著高于对照和遮光率 25% 处理组 ( $P<0.05$ ),但与遮光率 50% 处理组差异不显著 ( $P>0.05$ )。臭牡丹枝条直径生长量则随遮光率的提高而减小,其中对照组枝条直径生长量最大,但仅显著高于遮光率 75% 处理组,与遮光率

25% 和 50% 处理组间差异不显著。随遮光率的提高,臭牡丹叶面积呈波动变化;其中在遮光率 50% 的条件下叶面积最大,在遮光率 25% 的条件下叶面积最小。

表 1 不同遮光条件下臭牡丹枝条生长量和叶面积的比较 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>  
Table 1 Comparison of branch growth increment and leaf area of *Clerodendrum bungei* Steud. under different shading conditions ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

遮光率/% Shading rate	枝条生长量 Branch growth increment		叶面积/cm <sup>2</sup> Leaf area
	长度/cm Length	直径/cm Diameter	
	0 (CK)	30.38±3.07b	0.366±0.028a
25	31.75±2.21b	0.353±0.025a	109.83±9.44b
50	34.73±3.12ab	0.332±0.027ab	173.56±14.32a
75	40.81±1.55a	0.278±0.020b	161.06±22.35a

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ).

2.1.2 对比叶质量和比叶面积的影响 不同遮光条件下臭牡丹叶片比叶质量和比叶面积的差异见表 2。由表 2 可见:随遮光率的提高,臭牡丹鲜叶和干叶的比叶质量逐渐下降、比叶面积逐渐增加。在全光照、遮光率 25% 和 50% 的条件下其鲜叶的比叶质量无显著差异 ( $P>0.05$ ),但均显著高于遮光率 75% 处理组 ( $P<0.05$ );4 个处理组间干叶的比叶质量差异相对较小,仅在遮光率 75% 条件下干叶的比叶质量显著低于对照。在全光照、遮光率 25% 和 50% 的条件下其鲜叶的比叶面积无显著差异,但均显著低于遮光率 75% 处理组;4 个处理组间干叶的比叶面积无显著差异。

表 2 不同遮光条件下臭牡丹比叶质量和比叶面积的比较 ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

Table 2 Comparison of specific leaf weight and specific leaf area of *Clerodendrum bungei* Steud. under different shading conditions ( $\bar{X}\pm SD$ )<sup>1)</sup>

遮光率/% Shading rate	比叶质量/g·m <sup>-2</sup> Specific leaf weight		比叶面积/cm <sup>2</sup> ·g <sup>-1</sup> Specific leaf area	
	鲜叶 Fresh leaf	干叶 Dry leaf	鲜叶 Fresh leaf	干叶 Dry leaf
	0 (CK)	232.27±14.43a	55.51±4.15a	45.30±3.37b
25	210.59±8.12a	50.45±2.69ab	48.39±2.16b	205.27±13.18a
50	204.89±10.43a	46.15±3.62ab	50.20±2.52b	231.34±17.28a
75	169.40±11.46b	44.15±2.85b	61.96±4.03a	237.46±15.66a

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著 ( $P<0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P<0.05$ ).

2.1.3 对叶片及栅栏组织和海绵组织厚度的影响 不同遮光条件下臭牡丹叶片及栅栏组织和海绵组织厚度的差异见表 3。随遮光率的提高,臭牡丹叶片及栅栏组织和海绵组织的厚度均呈先减小后增大的趋势。在遮光率 25%、50% 和 75% 条件下,叶片及栅栏组织和海绵组织厚度的差异均不显著 ( $P>0.05$ ),但

总体上显著小于对照 ( $P<0.05$ )。

### 2.2 遮光处理对臭牡丹叶片光合特性的影响

2.2.1 对叶绿素含量的影响 不同遮光条件下臭牡丹叶片叶绿素含量的变化见表 4。由表 4 可见:随遮光率的提高,臭牡丹叶片中叶绿素 a 含量升高;在遮光率 25%、50% 和 75% 条件下叶绿素 a 含量较对照

(全光照)分别提高了 8.62%、50.86% 和 59.48%, 其中遮光率 50% 和 75% 处理组的叶绿素 *a* 含量显著高于对照和遮光率 25% 处理组 ( $P < 0.05$ )。在遮光率 75% 条件下臭牡丹叶片中叶绿素 *b* 含量最高, 显著高于遮光率 25% 处理组, 但与对照及遮光率 50% 处理组差异不显著 ( $P > 0.05$ )。在遮光率 75% 和 50% 的条件下总叶绿素含量显著高于对照及遮光率 25% 处理组。在遮光率 50% 条件下臭牡丹叶片叶绿素 *a/b* 值最大, 而对照组叶绿素 *a/b* 值最小, 其中 3 个遮光处理组间叶绿素 *a/b* 值差异不明显。

表 3 不同遮光条件下臭牡丹叶片及栅栏组织和海绵组织厚度的比较 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>  
Table 3 Comparison of thickness of leaf, palisade tissue and sponge tissue of *Clerodendrum bungei* Steud. under different shading conditions ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

遮光率/% Shading rate	厚度/ $\mu\text{m}$ Thickness		
	叶片 Leaf	栅栏组织 Palisade tissue	海绵组织 Sponge tissue
0 (CK)	417.42 $\pm$ 17.59a	183.58 $\pm$ 12.53a	181.13 $\pm$ 7.26a
25	328.85 $\pm$ 18.57b	128.58 $\pm$ 9.28b	149.87 $\pm$ 10.16b
50	335.39 $\pm$ 19.25b	147.36 $\pm$ 14.43b	138.98 $\pm$ 6.02b
75	354.21 $\pm$ 12.75b	153.76 $\pm$ 8.91ab	152.83 $\pm$ 4.93b

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P < 0.05$ ).

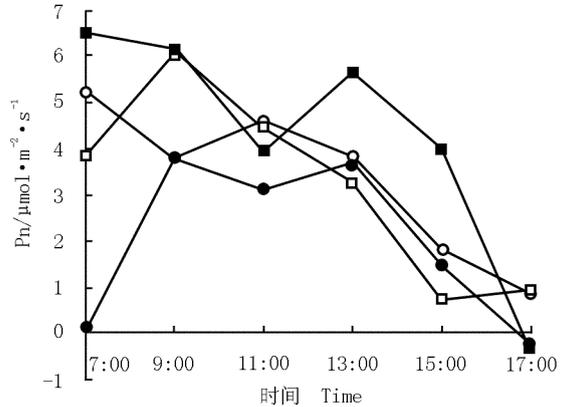
表 4 不同遮光条件下臭牡丹叶绿素 (Chl) 含量的比较 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>  
Table 4 Comparison of chlorophyll (Chl) content of *Clerodendrum bungei* Steud. under different shading conditions ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

遮光率/% Shading rate	含量/ $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ Content			Chl <i>a/b</i>
	Chl	Chl <i>a</i>	Chl <i>b</i>	
0 (CK)	1.79b	1.16b	0.63ab	1.84
25	1.73b	1.26b	0.47b	2.68
50	2.38a	1.75a	0.62ab	2.80
75	2.51a	1.85a	0.67a	2.78

<sup>1)</sup> 同列中不同的小写字母表示差异显著 ( $P < 0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference ( $P < 0.05$ ).

2.2.2 对净光合速率 ( $P_n$ ) 日变化的影响 不同遮光条件下臭牡丹叶片净光合速率 ( $P_n$ ) 的日变化曲线见图 1。在遮光率 25% 和 75% 条件下臭牡丹叶片的  $P_n$  有明显的“午休”现象,  $P_n$  日变化曲线近似于“双峰型”, 其谷值均出现在 11:00; 而遮光率 25% 处理组叶片的  $P_n$  峰值出现在 7:00 和 13:00, 遮光率 75% 处理组叶片的  $P_n$  峰值出现在 9:00 和 13:00。在全光照 (对照) 和遮光率 50% 条件下  $P_n$  均无“午休”现象,  $P_n$  日变化曲线近似于“单峰型”,  $P_n$  峰值分别出现在

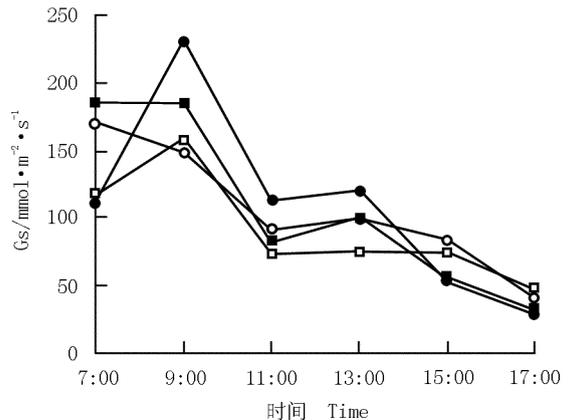
9:00 和 7:00。在对照及遮光率 25%、50% 和 75% 的条件下臭牡丹叶片的  $P_n$  日平均值分别为 3.24、4.33、3.38 和 2.01  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 各处理间无显著差异。



—□—: 遮光率 0% (CK) Shading rate of 0% (CK); —■—: 遮光率 25% Shading rate of 25%; —○—: 遮光率 50% Shading rate of 50%; —●—: 遮光率 75% Shading rate of 75%.

图 1 不同遮光条件下臭牡丹叶片净光合速率 ( $P_n$ ) 的日变化曲线  
Fig. 1 Daily change curve of net photosynthetic rate ( $P_n$ ) of leaf of *Clerodendrum bungei* Steud. under different shading conditions

2.2.3 对气孔导度 ( $G_s$ ) 日变化的影响 不同遮光条件下臭牡丹叶片气孔导度 ( $G_s$ ) 的日变化曲线见图 2。由图 2 可见: 在上午 9:00, 在遮光率 25% 和 50% 条件下叶片的  $G_s$  略有降低, 而在全光照 (对照) 和遮光率 75% 条件下叶片  $G_s$  明显升高; 此后随时间的延长各处理叶片的  $G_s$  值总体上呈逐渐下降的趋势。此外, 4 个处理组叶片的  $G_s$  日平均值无显著差异。



—□—: 遮光率 0% (CK) Shading rate of 0% (CK); —■—: 遮光率 25% Shading rate of 25%; —○—: 遮光率 50% Shading rate of 50%; —●—: 遮光率 75% Shading rate of 75%.

图 2 不同遮光条件下臭牡丹叶片气孔导度 ( $G_s$ ) 的日变化曲线  
Fig. 2 Daily change curve of stomatal conductance ( $G_s$ ) of leaf of *Clerodendrum bungei* Steud. under different shading conditions

2.2.4 对胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $\text{C}_i$ ) 日变化的影响 不同遮光条件下臭牡丹叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $\text{C}_i$ ) 的日变化曲线见图3。在不同遮光条件下臭牡丹叶片  $\text{C}_i$  的日变化曲线基本一致,均呈早晚略高、中午略低的变化趋势,且谷值均出现在 13:00。由于早晨叶片光合速率低,所以  $\text{C}_i$  较高;随光照强度的增加,叶片光合速率增加, $\text{CO}_2$  同化利用率增加, $\text{C}_i$  下降;午后叶片光合速率随着光照强度的减弱而减小, $\text{CO}_2$  同化利用率减小,使得  $\text{C}_i$  上升。此外,仅在遮光率 75% 条件下叶片  $\text{C}_i$  的日平均值显著高于遮光率 25% 处理组 ( $P < 0.05$ ),其他各处理组间无显著差异。

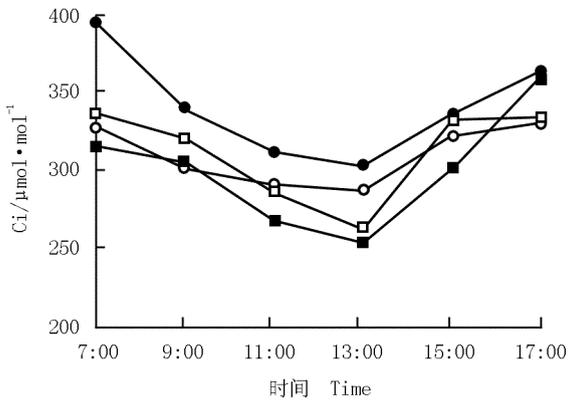


图3 不同遮光条件下臭牡丹叶片胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $\text{C}_i$ ) 的日变化曲线  
Fig. 3 Daily change curve of intercellular  $\text{CO}_2$  concentration ( $\text{C}_i$ ) of leaf of *Clerodendrum bungei* Steud. under different shading conditions

2.2.5 对蒸腾速率 ( $\text{Tr}$ ) 日变化的影响 不同遮光条件下臭牡丹叶片蒸腾速率 ( $\text{Tr}$ ) 的日变化曲线见图4。在全光照(对照)及遮光率 25% 和 75% 条件下,臭牡丹叶片  $\text{Tr}$  的日变化曲线均呈“双峰型”,2 个峰值分别出现在 9:00 和 13:00;而在遮光率 50% 条件下叶片  $\text{Tr}$  的日变化呈逐渐降低的趋势,近似于“单峰型”曲线。在全光照及遮光率 25%、50% 和 75% 条件下臭牡丹叶片  $\text{Tr}$  的日均值分别为 2.42、2.57、2.52 和 2.26  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,各处理间无显著差异。

对不同遮光条件下臭牡丹叶片 Pn 和 Tr 值的相关性进行分析,结果表明:在遮光率 25% 的条件下臭牡丹叶片的 Pn 值与 Tr 值有极显著的相关性,相关系数为 0.941 ( $P < 0.01$ );在遮光率 50% 和 75% 条件下叶片 Pn 值与 Tr 值有显著的相关性,相关系数分别为 0.887 和 0.903 ( $P < 0.05$ );在全光照(对照)条件下叶

片 Pn 值与 Tr 值无显著相关性 ( $P > 0.05$ )。

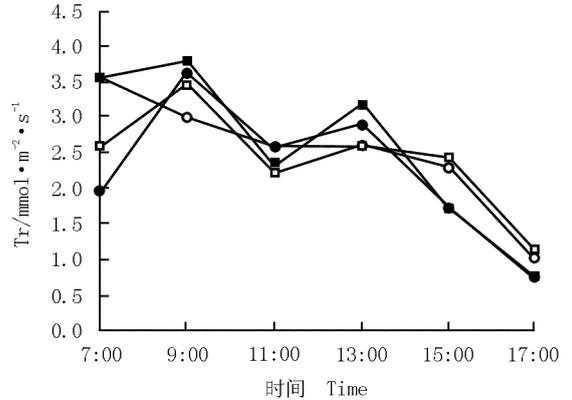


图4 不同遮光条件下臭牡丹叶片蒸腾速率 ( $\text{Tr}$ ) 的日变化曲线  
Fig. 4 Daily change curve of transpiration rate ( $\text{Tr}$ ) of leaf of *Clerodendrum bungei* Steud. under different shading conditions

### 3 讨 论

研究结果表明:在遮光条件下,随遮光率的提高臭牡丹的枝生长量增加、枝条直径生长量减小。低遮光率条件下叶面积较对照(全光照)有所减小,而高遮光率条件下叶面积明显增加。在遮光条件下,叶片以及栅栏组织和海绵组织的厚度总体上显著小于全光照处理,表明光照强度对植物叶片结构有显著影响,这一结果与其他学者的研究结果相似<sup>[10]</sup>。比叶面积是表征植物生长过程中碳收获策略的关键叶性状指标<sup>[11-13]</sup>;臭牡丹鲜叶和干叶的比叶面积均随遮光率的提高而增加;推测在遮光条件下臭牡丹通过增加单位生物量的叶面积来捕获光能,满足光合作用所需,保证一定的光合积累,从而适应较弱的光照环境。

叶绿素是植物的光合色素,具有吸收和传递光量子的作用,其含量和比例是植物适应和利用环境因子的重要指标<sup>[14]</sup>;在荫蔽环境下,植物可通过增加单位面积色素密度来吸收更多的光能<sup>[15]</sup>;一般说来叶绿素含量高、叶绿素  $a/b$  值小的植物具有较强的耐阴性<sup>[16]</sup>;在遮光条件下叶绿素  $b$  和总叶绿素含量均升高,叶绿素  $a/b$  值降低,是植物对弱光利用能力强的判断指标<sup>[17-18]</sup>。本研究结果表明:臭牡丹叶片中叶绿素  $a$  和总叶绿素含量总体上随遮光率的提高而增加,其中,在遮光率 75% 的条件下总叶绿素及叶绿素  $a$  和叶绿素  $b$  的含量都是最高的,说明臭牡丹在弱光下能

通过增加叶绿素含量来提高其光能捕获能力。

大气与表皮层之间  $\text{CO}_2$  和水汽的交换直接受气孔行为的影响,气孔导度对环境因子的变化十分敏感,凡是影响植物光合作用和叶片水分状况的各种因素都有可能影响气孔导度<sup>[19]</sup>;蒸腾作用对植物具有重要意义,蒸腾流从根到蒸腾器官的流动将土壤中的营养物质和溶液向上运输;对于蒸腾作用来说,光照能同时提高大气温度和叶温,气温的提高则促进水分蒸发,而叶温的提高也通过促使气孔开放和增大叶内外的蒸汽压差使蒸腾速率加快<sup>[20]</sup>;植物的光合速率、蒸腾速率、气孔导度和胞间  $\text{CO}_2$  浓度之间,以及它们与外界环境中光照强度、温度、湿度之间的关系非常复杂,在遮光条件下不仅光照减弱而且温度也随遮光度的增加而降低<sup>[21]</sup>。本研究中,在遮光率 25% 条件下臭牡丹叶片的净光合速率(Pn)总体上高于其他处理,而在遮光率 75% 的条件下其叶片的 Pn 较低,说明适度遮光可以提高臭牡丹叶片的净光合速率,促进其生长发育,而过度遮光则会降低其净光合速率。

目前,已有研究者通过比叶面积、比叶质量、叶绿素含量、最大光合速率、光补偿点和光饱和点等生理生态指标来计算植物的耐阴临界值(STT, shade-tolerant threshold),为种子植物和蕨类植物的耐阴性评价提供参考标准<sup>[2,22]</sup>;当植物的比叶面积大于  $175 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 、比叶质量小于  $110 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、叶绿素含量高于  $3.8 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 、光补偿点小于  $46 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、光饱和点小于  $460 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、最大光合速率低于  $8.6 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 、叶绿素  $a/b$  值小于 3.2 时,可以判断为阴生植物,反之则为阳生植物。在本研究中,臭牡丹的比叶面积为  $195.86 \text{ cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$ 、比叶质量为  $55.51 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2}$ 、叶绿素  $a/b$  值为 1.8,依据前述标准可初步判断臭牡丹的生长习性偏阴生。

#### 参考文献:

[1] 王云贺,韩忠明,韩梅,等. 遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(24): 6762-6770.

[2] 张聪颖,方炎明,姬红利,等. 遮荫处理对红叶石楠和洒金桃叶珊瑚光合特性的影响[J]. 应用生态学报, 2011, 22(7): 1743-1749.

[3] 张亚杰,冯玉龙. 喜光榕树和耐荫榕树光适应机制的差异[J]. 植物生理与分子生物学学报, 2004, 30(3): 297-304.

[4] 蔡永萍,李玲,李合生,等. 霍山石斛叶片光合速率和叶绿素荧光参数的日变化[J]. 园艺学报, 2004, 31(6): 778-783.

[5] 王雁,苏雪痕,彭镇华. 植物耐荫性研究进展[J]. 林业科学研究, 2002, 15(3): 349-355.

[6] 高黎明,魏小梅,何仰清. 臭牡丹化学成分的研究[J]. 中国中药杂志, 2003, 28(11): 1042-1044.

[7] 宋培浪,韩伟,程力,等. 臭牡丹挥发油成分 SPME-GC-MS 分析[J]. 河南大学学报: 医学版, 2007, 26(2): 30-31.

[8] 林娜,魏琴,尹礼国,等. 臭牡丹提取物对病原真菌抑菌效果的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(17): 10305-10306.

[9] 杨敏文. 快速测定植物叶片叶绿素含量方法的探讨[J]. 光谱实验室, 2002, 19(4): 478-481.

[10] BJÖRKMANN O, HOLMGREN P. Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecotypes from exposed and shaded habitats[J]. Physiologia Plantarum, 1963, 16: 889-914.

[11] WESTOBY M, FALSTER D S, MOLES A T, et al. Plant ecological strategies: some leading dimensions of variation between species[J]. Annual Review of Ecology and Systematics, 2002, 33: 125-159.

[12] WRIGHT I J, WESTOBY M, REICH P B. Convergence towards higher leaf mass per area in dry and nutrient-poor habitats has different consequences for leaf life span[J]. Journal of Ecology, 2002, 90: 534-543.

[13] 张林,罗天祥. 植物叶寿命及其相关叶性状的生态学研究进展[J]. 植物生态学报, 2004, 28(6): 844-852.

[14] 王建华,任士福,史宝胜,等. 遮荫对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(7): 1811-1817.

[15] WITTMANN C, ASCHAN G, PFANZ H. Leaf and twig photosynthesis of young beech (*Fagus sylvatica*) and aspen (*Populus tremula*) trees grown under different light regime[J]. Basic and Applied Ecology, 2001, 2: 145-154.

[16] 刘悦秋,孙向阳,王勇,等. 遮荫对异株荨麻光合特性和荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2007, 27(8): 3457-3464.

[17] ABRAM M D. Leaf structural and photosynthetic pigment characteristics of tree gallery-forest hardwood species in Northeast Kansas[J]. Forest Ecology and Management, 1987, 22: 261-266.

[18] 李军超,苏陕民. 黄花草耐阴特性的初步研究[J]. 生态学报, 1994, 14(4): 444-446.

[19] 王玉辉,周广胜. 松嫩草地羊草叶片光合作用生理生态特征分析[J]. 应用生态学报, 2001, 12(1): 75-79.

[20] 黄振英,董学军,蒋高明,等. 沙柳光合作用和蒸腾作用日动态变化的初步研究[J]. 西北植物学报, 2002, 22(4): 817-823.

[21] 王云贺,韩忠明,韩梅,等. 遮荫处理对东北铁线莲生长发育和光合特性的影响[J]. 生态学报, 2010, 30(24): 6762-6770.

[22] 张建新,方依秋,丁彦芬,等. 蕨类植物的叶绿素、光合参数与耐荫性[J]. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2011, 37(4): 413-420.