

# 小蓬竹光合作用特性对遮阴处理的响应

颜 强<sup>1</sup>, 廖 小 锋<sup>2</sup>, 刘 济 明<sup>1</sup>, 李 鹏<sup>1</sup>, 王 军 才<sup>1</sup>

(1. 贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州科学院 贵州省山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001)

**摘 要:**以小蓬竹为试材,以自然光为对照,研究了轻度遮阴(LS, 74.32%自然光)、中度遮阴(MS, 44.83%自然光)、重度遮阴(SS, 18.57%自然光)3种遮阴处理对小蓬竹的光合作用和光响应特征的影响,以探讨濒危植物小蓬竹对光照的适应性。结果表明:轻度遮阴下小蓬竹叶片光合速率(Pn)、最大净光合速率(Pnmax)、表观量子效率(AQE)以及光能利用效率(LUE)相对于对照(CK)有所提高,而光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)以及暗呼吸速率有所下降;中度及重度遮阴下小蓬竹叶片 Pn 等气体交换性指标, AQE、Pnmax、LSP、LCP 以及暗呼吸速率( $R_d$ )等光响应参数均随遮阴加重而逐渐下降,但 LUE 却极显著升高。说明小蓬竹对轻度遮阴环境有良好的适应性,适度遮阴更有利于其生长发育。遮阴加重的情况下,小蓬竹直接地提高 LUE、降低 LCP 和 LSP,维持一定光合作用水平并减少能量消耗,使其在光照不足条件下迅速实现碳的净积累,从而加强对弱光逆境的抵御能力。由此推断,小蓬竹对中度及重度遮阴环境具有较强的适应性。

**关键词:**小蓬竹;遮阴处理;光合生理

**中图分类号:**Q 945.78 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)19-0072-05

小蓬竹(*Drepanostachyum luodianense* (Yi et R. S. Wang) Keng f.)属禾本科竹亚科簕竹属植物,又名藤竹,为我国特产一次性开花结实的合轴丛生型竹种。在世界自然保护联盟物种生存委员会编制的《濒危物种红色名录》中,小蓬竹已被列为极危种,目前仅分布于我国贵州省罗甸县、平塘县、紫云苗族布依族自治县及长顺县的喀斯特山地。小蓬竹是喀斯特地区适生竹,在水源涵养、水土保持、养分平衡等生态功能发挥中具有重要的作用。此外,小蓬竹上部悬垂呈藤状匍匐延伸,株形

美观,可用作优良的梯度绿化园林绿化竹种,还可作编织凉椅、菜架等的材料,具有良好的开发前景<sup>[1]</sup>。

光是影响植物生长发育的重要环境因子之一,光对植物的生理生态作用主要表现为光合作用和光形态建成。植物耐阴性是指植物在弱光照条件下的生活能力,是植物为适应低光量子密度,维持自身系统平衡,保持生命活动正常进行而产生的一系列变化<sup>[2]</sup>。通过对植物的遮阴处理,引起光质的改变,削弱光合有效辐射强度<sup>[3]</sup>,进而会影响植物光合作用和光形态建成<sup>[4]</sup>。近年来,植物的耐阴性研究多以光合特性及其参数等指标为对象进行测定,如王瑞等<sup>[5]</sup>以种植的阴生园林植物为试材,对其在不同光照条件下的光合特性进行比较研究,提出植物对弱光的利用率的提高主要表现在日平均净光合速率和表观量子效率的增大及光补偿点的降低,这3个指标是植物光合作用能力的重要指标,可以反映植物的耐阴性。小蓬竹通常为群落内的建群种,目前的观点普遍认为小蓬竹为阳生植物(喜光植物),在生长发育过程中需要充足的光照,由于小蓬竹密集丛生、上部呈悬垂状,克隆个体相互之间叠加与遮阴较为平常并且它在不同生长期常会遇到光照不良的天气<sup>[1]</sup>。因此研究小蓬竹对不同遮阴处理的适应性,对于指导生产实践中

**第一作者简介:**颜强(1989-),男,硕士研究生,现主要从事生态学等研究工作。E-mail:1048535009@qq.com.

**责任作者:**刘济明(1963-),男,博士,教授,现主要从事植物生态学等研究工作。E-mail:karst0623@163.com.

**基金项目:**贵州省国际科技合作计划资助项目(黔科合外 G 字[2013]7010 号,黔科合外 G 字[2009]70010 号);贵州大学人才引进基金资助项目(2010-09);贵州省科技计划资助项目(黔科合 SY 字[2012]008);贵阳市科技计划资助项目(筑科合同[2012]103 号);贵州科学院省级科研专项资金资助项目(黔科院专合字[2011]02 号);贵州省科技基础条件平台资助项目(黔科院 J 合字[2011]16)。

**收稿日期:**2014-05-22

*Syringa* was a sun plant. The photosynthetic rate was the highest in *Syringa* × *chinensis*, with maximum Pn 20  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , the lowest in *Syringa pubescens* subsp. *microphylla* with maximum Pn of 8  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , while others of 13  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ .

**Keywords:** *Syringa*; net photosynthetic rate; light reaction curve

植物的栽培、立体配置具有重要的现实意义。为此,现以小蓬竹为试材,研究了小蓬竹对遮阴环境的响应,以明确遮阴环境对小蓬竹生长发育的影响,判断荫蔽的环境是否不利于小蓬竹的生存生长,进而评价小蓬竹的耐阴性,以期对小蓬竹的保护与人工栽培管理中的光环境生态调控提供重要的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验在贵阳市花溪区贵州大学南校区林学院苗圃内进行。该苗圃地平均海拔 1 020 m,为亚热带季风性湿润气候,冬无严寒、夏无酷暑,原生土为石灰岩发育而来的典型石灰土。苗圃地及其周边年均气温为 15.3℃,年极端最高温度为 35.1℃,年极端最低温度为-7.3℃,最热月(7月下旬)平均气温为 24℃,最冷月(1月上旬)平均气温 4.6℃。年均相对湿度为 77%,年均总降水量为 1 129.5 mm,年均阴天日数为 235.1 d,年均日照时数为 1 148.3 h,年降雪日数少,平均仅为 11.3 d(花溪区气象局提供的 2005—2010 年的平均数据)。

### 1.2 试验材料

2013 年 7 月中旬,从小蓬竹分布地挖取生长于同一坡面且长势较为一致的小蓬竹竹丛。早上带土挖取,尽量避免根系的伤害,保持竹箨湿润,于地上部分 0.8 m 左右截杆,当天带回贵州大学林学院苗圃,并立即进行分蔸移栽。分蔸时于自来水冲洗掉竹箨附带的泥土,用枝剪剪出根系较完整的小蓬竹克隆分株,剪除原有叶片。选取根势、小枝长势较为一致的植株,种植于花盆内(底部内径 32 cm,盆口内径 37 cm,盆高 27 cm),每盆 1 株,尽量使根系自然舒展。种植土壤为经多菌灵消毒后的喀斯特石灰土(取自苗圃地附近喀斯特林下表层 10 cm 的土),装至离盆口 2~3 cm 处,压实并浇透水。种植后将花盆置于单层黑色尼龙遮阳网下,每 3 d 浇 1 次透水,同时每天正午给竹株喷 1 次水。1 周后各盆小蓬竹开始陆续萌芽抽出新叶,待上述大部分小蓬竹均有完全展开叶片时,选取萌芽数量、芽长势大致相当的盆栽小蓬竹 36 盆作为遮阴试验材料。

### 1.3 试验方法

2013 年 7 月下旬,在苗圃内露天开阔处,利用普通黑色尼龙遮阳网和白色尼龙丝线纱布(0.178 mm×0.178 mm)作为遮阴材料(不改变光质),搭置 3 个不同透光水平的遮阴网室,遮阴方式分别为单层尼龙丝线纱布(轻度遮阴,LS)、单层遮阳网(中度遮阴,MS)、双层遮阳网(重度遮阴,SS),顶部及四周均遮阴。在 3 个较为晴朗的天气,利用 Li-6400 自带的光合辐射计(Li-190, Li-corporation, USA),从 8:00—18:00 每 2 h 测定记录 1 次各遮阴网室内光合有效辐射(photosynthetically active radiation, PAR),测得遮阴网室相对光强分别为(自然光

为 100%); LS 下(74.32±0.87)%, MS 下(44.83±0.69)%, SS 下(18.57±0.41)%。

2013 年 8 月 15 日,在上述 3 个遮阴网室下对盆栽小蓬竹进行遮阴处理(LS、MS、SS),每个处理设置 3 次重复,每重复 3 盆小蓬竹,随机选取;在遮阴网室旁放置无遮阴措施(自然光)的盆栽小蓬竹作为对照(CK)。各处理及对照间隔一定距离,处理内每盆小蓬竹间保持一定距离,相互不遮阴。期间进行统一的水管理(每 5 d 浇 1 次透水,遇降雨时根据降雨量延后 3~5 d 浇水),遮阴处理至当年 10 月 25 日结束,测定相关指标。

### 1.4 项目测定

1.4.1 光合作用指标测定 在晴天早晨,利用美国 Li-corporation 公司生产的 Li-6400 便携式光合作用测定系统在 10:00 左右测定各遮阴处理下气体交换性指标。选取受光方向一致的上部叶片,每盆 3 片,共 9 片。测定期间气温(18±0.5)℃、空气相对湿度(55±5)%、大气 CO<sub>2</sub> 浓度(405±5)μmol/mol。测定时,CK 下 PAR 在 780~830 μmol·m<sup>-2</sup>·mol<sup>-1</sup>之间,LS 下 PAR 在 570~620 μmol·m<sup>-2</sup>·mol<sup>-1</sup>之间,MS 下 PAR 在 350~400 μmol·m<sup>-2</sup>·mol<sup>-1</sup>之间,SS 下 PAR 在 150~200 μmol·m<sup>-2</sup>·mol<sup>-1</sup>之间,主要测定在额定光强(按照外界当时平均辐射强度设置)、叶室 CO<sub>2</sub> 浓度为 380 μmol/mol 下其净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(Ci)、蒸腾速率(Tr)等指标。根据测得数据计算水分利用效率。水分利用效率参考高丽等<sup>[6]</sup>及孙刚忠<sup>[7]</sup>的方法进行计算, WUE=Pn/Tr。式中, Pn 为净光合速率, Tr 为蒸腾速率。

1.4.2 光合作用-光响应测定 测定各处理下叶片的 Pn-PAR 响应曲线,遮阴处理下小蓬竹光响应曲线于 9:30—11:30 测定,控制叶室中 CO<sub>2</sub> 浓度为(380±2) μmol/mol、空气相对湿度(65±5)%、叶片温度(22.0±1.0)℃,根据测得数据利用廖小锋等<sup>[8]</sup>的野生小蓬竹最佳光响应拟合模型“修正的直角双曲线模型”进行拟合并求取光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)、最大净光合速率(Pnmax)等光合参数。

### 1.5 数据分析

试验数据采用 Excel 2003 软件整理,数据统计与分析均由 SPSS 17.0 软件完成,差异显著性检验采用新复极差法(s-n-k)。

## 2 结果与分析

在整个遮阴处理期间(约 70 d),小蓬竹在不同遮阴处理下均能正常生长,但包括全光照条件在内的所有处理均未观察到新竹出笋,这很大程度上是因为移栽时间短、植株进行恢复生长消耗光合产物,最后导致营养物质储存不够而无法出笋。

## 2.1 净光合速率等气体交换性指标

由表 1 可知,不同处理下,LS 下小蓬竹 Pn ( $5.83 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mol}^{-1}$ )最高,其次为 CK,MS 与 SS 依次降低,其中前三者差异不显著,虽然 SS 处理显著低于前三者但也达到最高值的 LS 的 60%。表面仅重度遮阴( $20 \pm 3\%$ 透光率)对小蓬竹的 Pn 影响较大,而 LS 下 Pn 最大的事实说明适度遮阴对小蓬竹的光合碳同化更为有利。轻度遮阴处理下 Gs( $0.0668 \text{ mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )也是最大,它与 MS 差异较小,但显著大于 CK 与 SS;而 Tr 的变化趋势与 Pn 和 Gs 有较高的同步性;LS

( $0.66 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )依然最高,并极显著高于 CK、MS、SS(三者依次减小)(表 1)。结合 Ci 的变化趋势( $\text{LS} \approx \text{MS} > \text{SS} > \text{CK}$ ),以及遮阴引起 PAR 下降的事实,依据 Farquhar 等<sup>[9]</sup>关于光合速率下降原因的判断理论可以认为,小蓬竹在 CK 处理下 Pn 相对于 LS 处理下降的主要原因为气孔限制因素,是由于气孔开度的降低导致叶肉细胞进行光合作用底物  $\text{CO}_2$  供应的不足所造成。而 SS 下 Pn 显著下降的原因则既有气孔限制的因素,也有过度遮阴导致光能不足的原因。

表 1 遮阴处理下小蓬竹叶片气体交换性指标

Table 1 The gas exchangeable index in leaves of *D. luodianense* under different shading treatment

处理 Treatments	净光合速率 Pn $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mol}^{-1})$	气孔导度 Gs $/(\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 Ci $/(\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	蒸腾速率 Tr $/(\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	水分利用效率 WUE $/(\mu\text{mol} \cdot \text{mmol}^{-1})$	光能利用效率 LUE $/(\mu\text{mol} \cdot \mu\text{mol}^{-1})$
CK	$5.35 \pm 0.20\text{aA}$	$0.0487 \pm 0.0015\text{bcAB}$	$225.72 \pm 3.94\text{bA}$	$0.48 \pm 0.01\text{bB}$	$11.07 \pm 0.27\text{abAB}$	$0.0069 \pm 0.0003\text{dC}$
LS	$5.83 \pm 0.30\text{aA}$	$0.0668 \pm 0.0043\text{aA}$	$252.94 \pm 8.03\text{aA}$	$0.66 \pm 0.04\text{aA}$	$9.14 \pm 0.30\text{cB}$	$0.0099 \pm 0.0005\text{cC}$
MS	$4.91 \pm 0.32\text{aA}$	$0.0549 \pm 0.0041\text{abAB}$	$250.81 \pm 5.24\text{aA}$	$0.41 \pm 0.03\text{bB}$	$12.35 \pm 0.73\text{aA}$	$0.0133 \pm 0.0009\text{bB}$
SS	$3.50 \pm 0.31\text{bB}$	$0.0367 \pm 0.0051\text{cB}$	$232.31 \pm 9.79\text{abA}$	$0.35 \pm 0.05\text{bB}$	$10.78 \pm 0.60\text{abAB}$	$0.0195 \pm 0.0017\text{aA}$

注:表中同列不同小写字母表示差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示差异极显著( $P < 0.01$ )。

Note: Different lowercase letters in same column show significant difference at  $P < 0.05$ ; different capital letters in same column show very significant difference at  $P < 0.01$ .

由表 1 可知,Pn 最大的 LS 下小蓬竹瞬时水分利用效率(WUE)却较低,并显著低于 MS 与 SS。推测在 LS 下小蓬竹通过 Gs 的加大减小气孔阻力,加大蒸腾消耗,以加大对外界  $\text{CO}_2$  的交换,用于光合作用的碳固定,因而 Pn 最大。这一点与薛伟等<sup>[10]</sup>对疏叶骆驼刺(*Alhagi sparsifolia*)的研究类似。

光能利用效率(LUE)是植物光合作用量子效率的固定参数,被定义为单位土地面积上植物通过光合作用所产生的有机物中所含的能量与这块土地所接受的太阳能的比<sup>[11-12]</sup>,该研究参照王珊珊等<sup>[13]</sup>的方法从单叶水平测定了遮阴对小蓬竹 LUE 的影响。由表 1 还可知,不同处理下小蓬竹 LUE 随着遮阴程度的加大而显著或极显著升高。表明遮阴处理使得小蓬竹提升了对光能的利用效率,尤其 SS 下极显著提升了对弱光的利用效率(PAR 最低为  $150 \sim 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mol}^{-1}$ ),说明遮阴的小蓬竹能高效地利用弱光环境。

## 2.2 光响应特征及其参数

从图 1 可以看出,各处理下小蓬竹叶片 Pn 随光强的变化趋势相同,均是先增加后降低。低光强阶段 Pn 迅速增加( $\text{PAR} \leq 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{mol}^{-1}$ );光强进一步增大时,Pn 缓慢增加;各处理下 Pn 随着遮阴程度的加重达到最大值所对应的 PAR 逐渐降低。

通过进一步运用修正的直角双曲线模型进行拟合解析,得出了各处理下小蓬竹光响应参数。从表 2 可以看出,与 CK 相比,LS 下小蓬竹初始量子效率( $\alpha$ )、表观量子效率(AQE)以及最大净光合速率(Pnmax)略有提

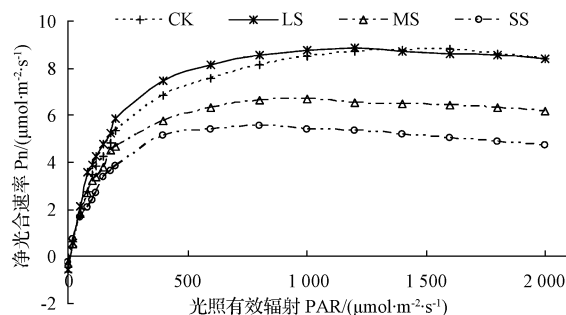


图 1 遮阴处理下小蓬竹净光合速率(Pn)的光响应特征

Fig. 1 The light response curve of Pn of *D. luodianense* under different shading treatments

升,光饱和点(LSD)、光补偿点(LCP)以及暗呼吸速率( $R_d$ )略有下降,这与阳生植物疏叶骆驼刺在 60%透光率下的表现类似<sup>[10]</sup>。其 LCP 的降低与  $R_d$  降低有关,降低的  $R_d$  使遮阴叶片以较少的净光能合成使得净  $\text{CO}_2$  收支达到平衡,能够在更低的光强下实现碳的净积累<sup>[14]</sup>。LSP 的降低虽然不利于 LS 下小蓬竹在高光强环境进行光合作用,但使其在光照不足条件下以最大能力利用低光量子密度,进行最大可能的光合作用,从而提高有机物质的积累<sup>[15]</sup>。此外,对 LSP 以前总体上的量子效率分析表明 LS 高于 CK(分别为 0.007、0.005),说明 LS 下小蓬竹叶片具有更强的光驱动电子传递效率和捕获光量子用于光合作用的能力<sup>[10]</sup>。因此,仅从光响应参数来看,小蓬竹对轻度遮阴环境的适应性很强,甚至轻度遮阴环境对其光合作用更为有利。

随着遮阴程度的进一步加重(透光率 $\leq 50\%$ ),小蓬竹各个光响应参数相比 CK 以及 LS 均出现了大幅下降(表 2)。其 LSP、LCP、 $R_d$  几个参数与众多其它植物的相关研究结果类似<sup>[16-18]</sup>,这些变化有利于其在弱光下生存。 $P_{nmax}$  通常会随着遮阴加重而降低<sup>[19-20]</sup>,小蓬竹也与此类似,这主要是因为遮阴环境直接限制了光合作用的能量来源。AQE 大表明植物利用弱光的能力强,能在弱光下迅速提升光合速率。遮阴处理研究中 AQE 的

表 2 遮阴处理下小蓬竹光响应参数

Table 2 The photoresponse parameter of *D. luodianense* under different shading treatments

处理 Treatment	初始量子效率 $\alpha$	表观量子效率 AQE	最大净光合速率 $P_{nmax}$ $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	光饱和点 LSP $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	光补偿点 LCP $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	暗呼吸速率 $R_d$ $/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	决定系数 Coefficient of determination $R^2$
CK	0.060	0.028	8.66	1 629.11	10.14	0.57	0.999
LS	0.070	0.030	8.73	1 230.10	8.05	0.54	0.999
MS	0.057	0.024	6.62	1 035.53	6.50	0.36	0.999
SS	0.041	0.019	5.51	867.62	3.95	0.16	0.998

### 3 结论与讨论

该试验结果表明,轻度遮阴(LS)条件下,相对于 CK,小蓬竹植株叶片数量显著增加,表明 LS 下长势比全光照更为旺盛。反映在光合生产力的光合作用表现最为突出, $P_n$  略有增加、LUE 显著提高等,总体上表明其光合作用能力有所提升。这说明小蓬竹对轻度遮阴(LS)环境有良好的适应性,可认为适度遮阴更有利于小蓬竹的生长发育,而全光照条件对小蓬竹存在一定程度的强光逆境胁迫。这与前人对白簕、巫山淫羊藿、玉簪及花生的研究结论基本一致<sup>[21-24]</sup>。

中度遮阴(MS)及重度遮阴(SS)条件下,经过 70 d 的遮阴处理,小蓬竹植株或者克隆构件如叶片、枝条等并未出现枯萎,植株生长发育正常,未出现黄化现象,表明小蓬竹对 MS 及 SS 均有很强忍耐力。仅从该研究的角度和深度可以看出,面对中度及重度遮阴环境,小蓬竹至少从以下 2 个方面主动调节了自身光合生理状态,以适应不断加重的遮阴环境。一方面是直接地提高 LUE;另一方面降低 LCP 和 LSP,使其在光限条件下迅速实现碳的净积累,并且以最大程度的利用弱光,从而提高有机物质的积累。二是维持一定光合作用水平并减少能量消耗。尽管遮阴较为严重,但小蓬竹  $P_n$  仍然维持了全光照或  $P_n$  更高的 LS 的 60% 甚至更高,很大程度上维持了植株的正向生长,保证了光合产物的积累。同时,小蓬竹  $R_d$  降低,降低呼吸消耗,有利于其在微弱的光强下实现碳收支的平衡。

野生小蓬竹 LSP 高达  $1\,750\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,同时其 LCP( $20\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右)又较低,表明了小蓬竹具有一定的耐阴能力且对光照的适应较宽<sup>[8]</sup>。这与该研究结果中小蓬竹在不同程度的遮阴环境(自然光的 18.57%~74.32%)下均能正向生长的结论一致。此外,

表现有一定差异,有报道显示 AQE 随着遮阴加重而逐渐升高<sup>[18]</sup>,也有无明显变化的情况<sup>[20]</sup>,其次它可能还与遮阴时间长短有关<sup>[16]</sup>,因为时间越长越有利于植物形成与环境相适应的生理特征,其中就包括 AQE 的提高。小蓬竹在中度及重度遮阴下 AQE 显著降低,虽然这不利于在弱光环境( $\leq 200\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )下达到相对较高的光合速率,但其  $P_{nmax}$  达到了 CK 或 LS 的 60% 以上,可以在一定程度上弥补了这一缺陷。

野外调查还发现,小蓬竹虽为喀斯特地区适生的喜光植物,但在生长的过程中经常遇到当地日照强度大、临时性干旱事件频发的天气,不利于其生长发育<sup>[1]</sup>。然而,遮阴能在一定程度上起到降温增湿的作用,改善植物的冠幕微环境,大大降低叶片温度,减弱甚至消除叶片光合作用的“午休”现象<sup>[25]</sup>。因此在这种情况下,适当的遮阴对小蓬竹的生长影响不大。综上所述,在遇到干旱、半干旱的天气条件下,可采用适当的遮阴促进小蓬竹的生长;并且在喀斯特植被恢复重建及园林立体配置中的本土林荫植物的选择中,可以考虑将小蓬竹作为中下层植物。该研究由于时间及空间的限制,仅设置 3 个遮阴处理,处理 70 d。所以,对于该研究中耐阴承受范围及时间尺度,竹子出笋是否会受到影响,还有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] 刘济明. 贵州喀斯特地区小蓬竹生态特性研究[D]. 北京:北京林业大学,2010.
- [2] 安锋,林位夫. 植物耐阴性研究的意义与现状[J]. 热带农业科学, 2005,25(2):68-72.
- [3] Sofo A, Dichio B, Montanaro G, et al. Shade effect on photosynthesis and photoinhibition in olive during drought and rewatering[J]. Agricultural Water Management, 2009,96(8):1201-1206.
- [4] Clegg B M, Teskey R O, Dougherty P M. Effect of shade stress on growth, morphology, and carbon dynamics of loblolly pine branches[J]. Trees, 1993,7(4):208-213.
- [5] 王瑞,丁爱萍,杜林峰,等. 遮阴对 12 种阴生园林植物光合特性的影响[J]. 华中农业大学学报,2010,29(3):369-374.
- [6] 高丽,杨勃,刘瑞香. 不同土壤水分条件下中国沙棘雌雄株光合作用、蒸腾作用及水分利用效率特征[J]. 生态学报,2009,29(11):6025-6034.
- [7] 孙刚忠,谭启玲,胡承孝,等. 聚- $\gamma$ -谷氨酸对小白菜生长和光合作用的影响[J]. 华中农业大学学报,2012,31(2):216-219.
- [8] 廖小锋,刘济明,张东凯,等. 野生小蓬竹的光合光响应曲线及其模型拟合[J]. 中南林业科技大学学报,2012,31(2):124-129.

- [9] Farquhar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33(6): 317-345.
- [10] 薛伟, 李向义, 朱军涛, 等. 遮阴对疏叶骆驼刺叶形态和光合参数的影响[J]. 植物生态学报, 2011, 35(1): 82-90.
- [11] Goerner A, Reichstein M, Rambal S. Tracking seasonal drought effects on ecosystem light use efficiency with satellite-based PRI in a Mediterranean forest[J]. Remote Sensing of Environment, 2009, 113(6): 1101-1111.
- [12] Jenkins J P, Richardson A D, Braswell B H, et al. Refining light-use efficiency calculations for a deciduous forest canopy using simultaneous tower-based carbon flux and radiometric measurements[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2007, 143(15): 64-79.
- [13] 王珊珊, 陈曦, 王权, 等. 新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝怪柳光合作用及水分利用的生态适应性[J]. 生态学报, 2011, 31(11): 3082-3089.
- [14] Pearcy R W, Sims D A. Photosynthetic acclimation to changing light environments: scaling from the leaf to the whole plant[C]// In: Caldwell M M, Pearcy R W, eds. In Exploitation of Environmental Heterogeneity by Plants: Ecophysiological Processes Above and Below Ground. San Diego(CA, USA): Academic Press, 1994: 145-174.
- [15] Björkman O, Holmgren P. Adaptability of the photosynthetic apparatus to light intensity in ecot-types from exposed and shaded habitat[J]. Physiologia Plantarum, 1963, 16(4): 889-914.
- [16] 王凯, 朱教君, 于立忠, 等. 遮阴对黄波罗幼苗的光合特性及光能利用效率的影响[J]. 植物生态学报, 2009, 33(5): 1003-1012.
- [17] 王建华, 任士福, 史宝胜, 等. 遮阴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.
- [18] 刘建锋, 杨文娟, 江泽平, 等. 遮阴对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(20): 5999-6005.
- [19] Zhang W X, Cao F L, Wu J S, et al. Effects of shading on photosynthesis and leaf yield of Ginkgo[J]. Journal of Nanjing Forestry University, 2000, 24(4): 11-15.
- [20] 李西文, 陈士林. 遮阴下高原濒危药用植物川贝母(*Fritillaria cirrhosa*)光合作用和叶绿素荧光特征[J]. 生态学报, 2008, 28(7): 3439-3447.
- [21] 肖娟, 胡艳, 蒋雪梅, 等. 遮阴处理对白藜生长与光合特性的影响[J]. 安徽农业科学, 2013, 41(16): 7057-7060.
- [22] 王辉, 黎云祥, 权秋梅, 等. 遮阴对巫山淫羊藿生长及光合特性的影响[J]. 西华师范大学学报(自然科学版), 2010, 31(3): 235-238.
- [23] 施爱萍, 张金政, 张启翔, 等. 不同遮阴水平 4 个玉簪品种的生长性状分析[J]. 植物研究, 2004, 24(4): 486-490.
- [24] 王绍辉, 郝翠玲, 张振贤. 植物遮阴效应的研究与进展[J]. 山东农业大学学报, 1998, 29(1): 130-134.
- [25] Seabloom E W, Harpole W S, Reichman O J, et al. Invasion, competitive dominance, and resource use by exotic and native California grassland species [J]. Proc Natl Acad Sci USA, 2003, 100(23): 13384-13389.

## Effect of Shading Treatments on Photosynthesis of *Drepanostachyum luodianense*

YAN Qiang<sup>1</sup>, LIAO Xiao-feng<sup>2</sup>, LIU Ji-ming<sup>1</sup>, LI Peng<sup>1</sup>, WANG Jun-cai<sup>1</sup>

(1. College of Forestry, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025; 2. Institute of Mountain Resources, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550001)

**Abstract:** Taking the seedlings of *D. luodianense* (Yi et R. S. Wang) Keng f. as materials, effects of three shading treatments of low shading (LS, the relative light intensity was 74.32%), moderate shading (MS, the relative light intensity was 44.83%) and severe shading (SS, the relative light intensity was 18.57%) on the photosynthesis and the parameters of optical response characteristics of *D. luodianense* were studied by light control experiment, with natural light as the contrast (CK, the relative light intensity was 100%), in order to investigate shade tolerance of endangered plant of *D. luodianense*. The results showed that, compared with CK, under LD net photosynthetic rate, maximum net photosynthetic rate, apparent quantum efficiency and light use efficiency (LUE) of *D. luodianense* increased a lot, while light saturation point (LSP), light compensation point (LCP) and dark respiration rate declined. Under MD or SD, gas exchange parameters like net photosynthetic rate, apparent quantum efficiency, maximum net photosynthetic rate, light saturation point, light compensation point and dark respiration rate and the other light response parameters of *D. luodianense* were gradually decreased with the strengthening of shading stress, but LUE increased significantly. These results showed that *D. luodianense* could well adapt to low shading environment and moderate shading conditions were more advantageous to the growth and development. In the further aggravating shading environment, *D. luodianense* could enhance directly LUE, LCP and LSP to maintain a certain level of photosynthesis and reduce energy consumption, so that the rapid accumulation of carbon could be realized and so as to strengthen the ability to resist. Therefore, *D. luodianense* had strong adaptability to moderate shading and severe shading environment.

**Keywords:** *Drepanostachyum luodianense*; shading treatments; photosynthetic physiology