

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2018.03.010

遮阴条件下大叶竹节树光合特性和 荧光参数的变化^①

黄 菁, 魏丽萍, 孙小龙, 原慧芳, 田耀华

云南省热带作物科学研究所, 云南 景洪 666100

摘要: 为研究大叶竹节树对弱光的适应性, 通过盆栽实验, 分析了不同程度(0%, 25%, 50%, 75%)遮阴条件下大叶竹节树幼苗光合特性和荧光参数的变化. 结果表明, 随着遮阴程度增加, 叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、水分利用效率(WUE)和光合有效辐射(PAR)随之减小, 而胞间 CO_2 浓度(C_i)随之增大, 说明非气孔制限因素是大叶竹节树光合速率下降的主要原因. 各遮阴条件下叶片总叶绿素(a+b)、叶绿素 a 和叶绿素 b 质量比均显著高于全光照, 且随遮阴程度的增加叶绿素质量比逐渐上升, 而叶绿素 a/b 值则随着遮阴程度的增强而下降. 叶绿素荧光参数 PSII 原初光能转化效率(F_v/F_m)和潜在活性(F_v/F_o)的日变化呈单谷曲线; 各遮阴条件下 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值均高于全光照, 且与遮阴程度正相关, 说明大叶竹节树是一种耐荫性很强的植物. 在遮阴条件下, 光补偿点、光饱和点、净光合速率、暗呼吸速率和叶绿素 a/b 值降低, 而叶绿素 a 和 b 质量比、光能利用率、 F_v/F_m 以及 F_v/F_o 值提高, 从而增强弱光条件下的生长能力.

关 键 词: 大叶竹节树; 遮阴处理; 光合特性; 荧光参数

中图分类号: Q945.11 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-9868(2018)03-0068-07

大叶竹节树(*Carallia garciniaefolia*)为红树科(Rhizophoraceae)竹节树属(*Carallia*)常绿乔木, 分布于我国海南、广东、广西及云南等地, 属热带树种. 大叶竹节树干直叶密, 常年亮绿, 树形美丽, 发芽多, 生长快, 具有耐热、耐瘠、耐风、耐荫、抗污染和易移植等特点. 在重度污染环境中还能长期正常生长和自然繁殖, 属一级(强抗性)抗大气污染树种^[1], 是理想的园林观赏和良好抗污染树种. 它不仅可以在严重污染条件下成活, 还能够适应恶劣的土壤环境, 在土壤贫瘠的纯针叶林林地上能很好地生长, 也是林相改造的优良树种^[2], 被誉为“绿色金刚”. 目前, 关于竹节树属(*Carallia*)植物的研究主要集中在同属植物竹节树(*Carallia brachiata*)的绿化^[3]、降噪^[4]、林分改造应用^[2]和干旱生理生态^[5]等方面, 但大叶竹节树尚无相关报道. 本研究采用盆栽法, 分析不同遮阴条件下幼苗光合特性和荧光参数的变化, 旨在揭示大叶竹节树的光合适应性, 明确适宜光照条件, 为其引种驯化和规模化栽培种植提供理论依据.

1 材料与方法

1.1 试验材料

本试验于 2014 年 4 月在云南省西双版纳州景洪市云南省热带作物科学研究所荫棚试验区中进行. 供试材料为本所苗圃内生长良好、大小一致的大叶竹节树幼苗. 将 20 株幼苗移栽到高为 35 cm、直径为 30 cm

① 收稿日期: 2017-04-07
基金项目: 云南省热带作物科技创新体系建设资金项目(RF2016-1); 云南省技术创新人才培养对象项目(2013HB158).
作者简介: 黄 菁(1984-), 女, 贵州赤水人, 助理研究员, 主要从事植物生理生态的研究.
通信作者: 田耀华, 副研究员.

的盆钵内, 每盆 1 株. 基质由土壤、有机肥和泥炭土混匀而成(体积比为 60 : 1 : 2). 通过增加遮阴网层数设置光强梯度, 并用 ZDR-24 照度计(浙江大学电气设备厂)测定后确定相对光强. 遮阴程度设为: 25%, 50% 和 75%, 并以全光照(无遮阴网, 遮阴程度为 0%)作为对照. 采用随机分组法, 每个遮阴水平处理 5 盆幼苗. 处理 15 个月后, 测定幼苗叶片的光合指标和荧光参数. 整个生长过程中统一进行水肥管理, 随时清除杂草、防治病虫害.

1.2 试验方法

1.2.1 光合特性的测定

选择无雨的晴朗天气, 采用 LI-6400 便携式光合作用系统(LI-COR, USA)从 8: 00—18: 00 每隔 1 h 对不同遮阴处理, 选取幼苗顶端 2~3 节位成熟叶片进行测定, 各处理所选叶片的空间取向和角度尽量一致. 每个处理选 3 株, 每株测 3 叶, 3 次重复. 测定指标/参数包括: 净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r), 胞间 CO_2 浓度(C_i)、光合有效辐射(PAR)、气孔限制值($L_s(\%) = (1 - C_i/C_a) \times 100\%$, C_a 为空气 CO_2 浓度), 计算水分利用效率($\eta_{WUE} = P_n/T_r^{[6]}$)等的日变化.

1.2.2 叶绿素荧光参数的测定

采用德国 Walz 公司 PAM-2500 型便携式荧光仪测定不同遮阴处理幼苗叶片的叶绿素荧光参数的日变化. 选择晴朗无风的天气在 8: 00—18: 00 期间, 从 8: 00 开始每隔 2 h 测定 1 次, 每个处理测定 3 株, 每株选取相同节位的叶片进行测定^[7-8], 测定前植株暗处理 30 min. 测定参数包括: PSII 电子传递速率(ETR)、PSII 实际量子产量(Yield)和 PSII 最大光化学效率(F_v/F_m)等.

1.2.3 叶绿素质量比测定

称取叶片 0.1 g, 剪碎, 放入试管, 加入 95%乙醇 5 mL, 封口, 浸提 10~12 h; 提取上清液到 10 mL 棕色容量瓶中, 定容. 将提取液倒入光径 1 cm 的比色皿内, 以 95%乙醇为空白, 在波长 663 nm 和 645 nm 下测定吸光度^[9]. 每个处理选取 3 株, 每株测 6 叶, 每株选取相同部位的叶片进行测定. 叶绿素质量比的计算参照文献^[9-10].

1.2.4 数据分析

所有数据统计分析均采用 Excel 2013 和 SPSS 20.0 软件完成, 运用单因子方差分析法分析, 多重比较用 Duncan 新复极差法.

2 结果与分析

2.1 不同遮阴处理的光合-光响应曲线

应用对数模型对光响应数据进行拟合, 回归方程见表 1, 趋势线见图 1. 不同遮阴处理下, 大叶竹节树对光强的响应与全光照趋势基本一致, 各处理净光合速率(P_n)均随光照强度的增加先逐渐上升, 当光合有效辐射(PAR)超过一定范围后, P_n 均有降低的趋势, 表明大叶竹节树不耐强光. 所有遮阴处理随着遮阴程度的提高整个曲线依次比对照低, 在不同遮阴条件下的光合速率均依次低于全光照条件下的光合速率. 大叶竹节

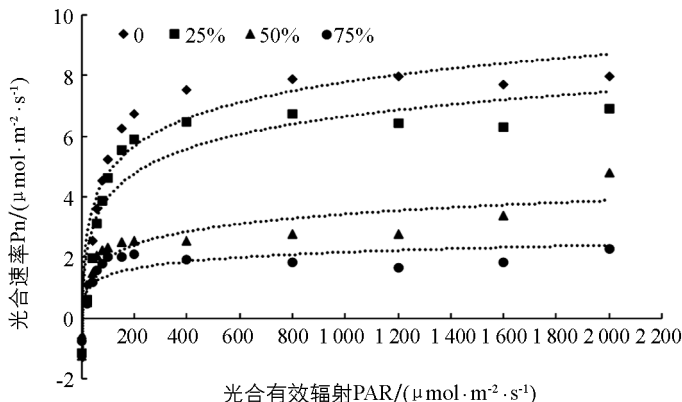


图 1 大叶竹节树光合-光响应曲线

树的光补偿点和光饱和点均较低, 光补偿点在 $9 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下, 光饱和点在 $400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下. 遮阴对光补偿点、光饱和点均有显著影响(图 1 和表 1). 随着遮阴程度的提高, 光补偿点及光饱和点均依次降低. 其中, 遮阴 75%时光补偿点降低 55.6%, 光饱和点降低 90%. 表明大叶竹节树在弱光环境下, 可大幅降低光补偿点及光饱和点, 从而提高对弱光的利用能力, 并降低呼吸消耗, 维持正常生长, 表现出对弱

光环境极强的适应能力.

表 1 大叶竹节树光合-光响应曲线回归方程

遮阴程度/ %	光补偿点/ [$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$]	光饱和点/ [$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$]	回归方程	R^2	P
0	9	400	$Y=1.3144 \ln(x)-1.2919$	0.915	0.0001
25	7	150	$Y=1.1681 \ln(x)-1.4139$	0.8965	0.0000
50	5	60	$Y=0.6378 \ln(x)-0.9714$	0.884	0.0000
75	4	40	$Y=0.3361 \ln(x)-0.1476$	0.7164	0.0011

2.2 不同遮阴处理的光合特性

2.2.1 净光合速率(P_n)和光合有效辐射(PAR)的日变化

图 2 和图 3 分别是不同遮阴处理的净光合速率(P_n)和光合有效辐射(PAR)对应各时段的日变化. 从图 2 和图 3 中可以看出, 随遮阴率的增加, P_n 减小; 所有处理组的 P_n 日变化和 PAR 日变化变化趋势相同. P_n 和 PAR 的从大到小顺序都为: 0%, 25%, 50%, 75%. 75%遮阴处理由于光照强度不足, 从 11:00 以后光合速率下降, 光合速率受到抑制. 在遮阴度为 25%和 50%的条件下, 大叶竹节树 PAR 日变化曲线均呈“双峰型”, 出现光合“午休”现象, 2 个峰值出现在 9:30 和 13:30. 全光照条件下的光合高峰值最高, 其日平均光合速率也最高. 可见光照越强, 大叶竹节树净光合速率越大.

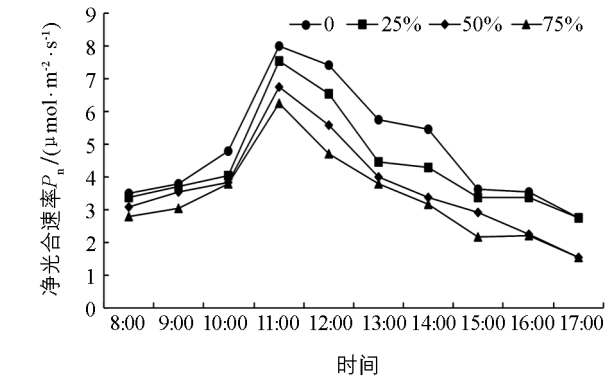


图 2 不同遮阴处理
净光合速率(P_n)的日变化

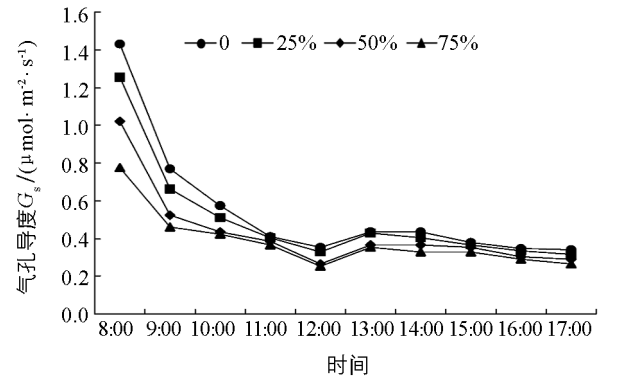


图 3 不同遮阴处理大叶竹节树
光合有效辐射(PAR)的日变化

由表 2 可知, 不同遮阴处理 P_n 的日平均值依次为: 445.097 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (0%), 374.195 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (25%), 325.465 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (50%)和 231.877 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (75%), 各处理的差异均具有统计学意义或极具有统计学意义.

表 2 不同遮阴处理光合参数的日均值

遮阴处理/ %	P_n / [$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$]	PAR/ [$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$]	G_s / [$\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$]	T_r / [$\text{mmol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$]	C_i / [$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$]	水分利用效率/ [$\mu\text{mol} \cdot (\text{m}^2 \cdot \text{s})^{-1}$]
0	4.869±0.565aA	445.097±7.497aA	0.546±0.041aA	9.186±1.335aA	365.273±8.840aA	0.625±0.038aA
25	4.355±0.313aA	374.195±5.281bB	0.500±0.062aA	7.734±0.645bA	297.173±7.226bB	0.571±0.018bB
50	3.695±0.124bB	325.465±6.188bB	0.431±0.0321bB	6.820±0.781cB	265.028±8.471cB	0.531±0.027bB
75	3.352±0.294bB	231.877±3.934cC	0.384±0.058cB	6.176±0.346cB	223.190±9.793dC	0.531±0.048bB

注: 同列不同小写字母表示差异具有统计学意义($p \leq 0.05$); 同列不同大写字母表示差异极具有统计学意义($p \leq 0.01$).

2.2.2 气孔导度(G_s)和蒸腾速率(T_r)日变化

气孔是植物与外界进行气体交换的重要通道, 气孔导度(G_s)的变化直接影响植物的光合作用和蒸腾作用. 从图 4 可以明显看出, 遮阴度越高, 气孔导度越低. 各处理组 G_s 日变化几乎呈现相同变化趋势, 在 8:00 之后 G_s 值下降, 在 10:00 达到稳定. 但都在 12:30 出现谷值, 说明大叶竹节树幼苗不管遮阴

与否在 12:30 都会出现不同程度大小的关闭气孔的现象,这或许也是光合速率出现午休的原因之一.虽然各处理从 8:00 开始 G_s 值变化不是很大,其中 0%与 50%,75%之间差异极具有统计学意义($p<0.01$),25%与 75%差异具有统计学意义($p<0.05$);气孔关闭势必会影响大叶竹节树的蒸腾速率(T_r).

遮阴对大叶竹节树蒸腾作用有明显影响,遮阴后蒸腾速率较全光照处理明显降低,并随遮阴度提高,降低的趋势越明显.从图 5 和表 2 可以看出,不同遮阴处理 T_r 日平均值依次为:9.186 mmol/(m²·s)(0%),7.734 mmol/(m²·s)(25%),6.820 mmol/(m²·s)(50%)和 6.176 mmol/(m²·s)(75%),0%与 50%,75%之间,75%与 50%,25%,0%之间差异都极具有统计学意义($p<0.01$),25%与 75%差异具有统计学意义($p<0.05$).

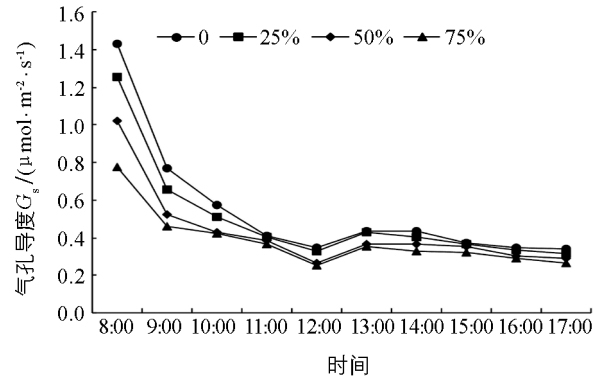


图 4 不同遮阴处理气孔导度(G_s)的日变化

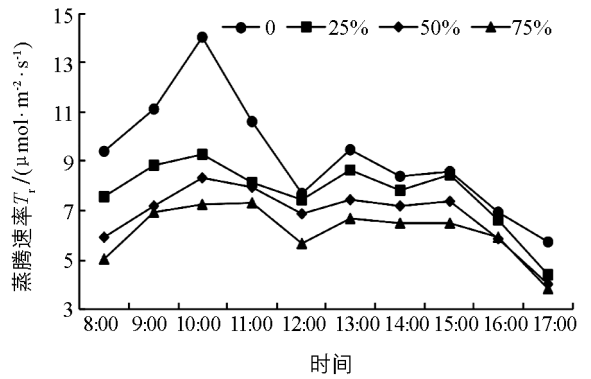


图 5 不同遮阴处理蒸腾速率(T_r)的日变化

2.2.3 胞间 CO₂ 浓度(C_i)和气孔限制值(L_s)日变化

胞间 CO₂ 浓度(C_i)影响植物光合作用碳源的多少. C_i 下降,说明光合速率大于呼吸速率,同化利用 CO₂; C_i 上升,说明呼吸速率大于光合速率.不同遮阴处理 C_i 的日变化见图 6.遮阴度为 0%时, C_i 日变化曲线有 2 个低谷值,分别出现在 8:30 和 12:30;遮阴度为 25%、50%和 75%时, C_i 日变化均先下降后上升,出现低谷的时间为 12:30.结合 P_n 日变化(图 7)可以看出,各处理 C_i 的变化趋势与 P_n 的变化趋势相反.随着光照增强, C_i 呈现减小趋势,从大到小大致为 75%,50%,25%,0%.由表 2 可知, C_i 日均值 0%与 75%差异极具有统计学意义,25%与 75%差异具有统计学意义.从图 7 可见,不同遮阴处理的气孔限制值(L_s)均先增加后减少,对照,25%,50%和 75%遮阴处理的气孔限制时间段分别为 10:00–12:00,15:00–16:00,11:00–12:00 和 11:00–12:00.各处理除上述时间段外,其余时间段的 P_n 下降均是非气孔限制,总体上随着遮阴度的增加,气孔制限减少.

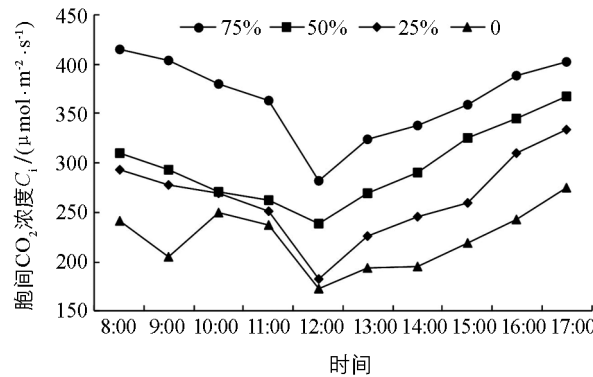


图 6 不同遮阴处理胞间 CO₂ (C_i)的日变化

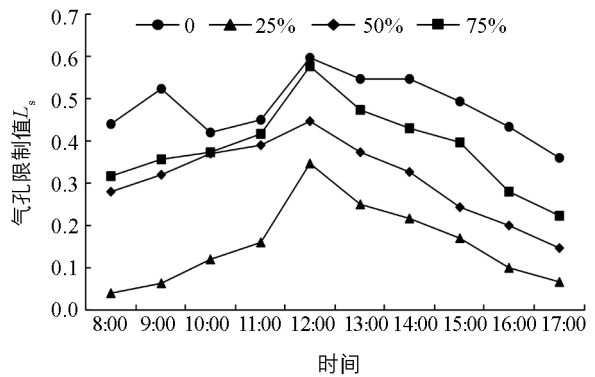


图 7 不同遮阴处理气孔限制值(L_s)的日变化

2.2.4 大叶竹节树水分利用效率(WUE)日变化

从图 8 可知,各处理的水分利用效率(WUE)随遮阴度增加而减小,最大峰值出现在 11:00–12:00,50%和 75%处理日变化趋势较平缓.各处理 WUE 的日均值见表 2.其中,0%与 50%,75%之间,

25%与75%之间存在极显著差异,75%与50%之间差异显著。

2.3 不同遮阴处理叶绿素荧光参数的日变化

叶绿素荧光参数可反映光合机构内一系列重要的调节过程^[10]. 8:00–18:00 大叶竹节树的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 日动态变化均呈“单谷”曲线(图 9 和图 10), 且与光强的日变化呈相反变化趋势. 在 12:00 左右光强最高时 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值下降最多, 说明存在光抑制现象. 遮阴程度对 F_v/F_m 和 F_v/F_o 值均有显著影响, 表现为随着遮阴程度的提高, F_v/F_m 和 F_v/F_o 值均依次上升, 说明大叶竹节树光反应中心 PS II 的光化学效率和潜在活性随遮阴度的提高而上升.

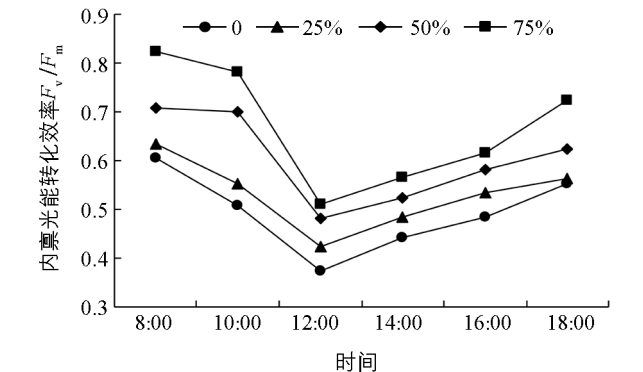


图 9 不同遮阴处理 F_v/F_m 值的日变化

2.4 不同遮阴处理的叶绿素质量比

在遮阴条件下, 大叶竹节树叶绿素质量比上升(表 3). 不同遮阴处理的叶绿素质量比均显著高于对照, 且随遮阴度的增加而提高. 而叶绿素 a/b 值得变化则呈相反趋势, 即随遮阴度的提高而下降. 叶绿素 b 和叶绿素 a/b 在遮阴度 75% 时为最大值, 分别为 38.925 mg/g 和 0.664 mg/g. 这表明随着遮阴程度的提高, 大叶竹节树叶绿素质量比的增加主要是叶绿素 b 的增加. 而叶绿素 b 在蓝紫光部分的吸收带较宽, 植物更多利用蓝紫光有利于在荫蔽处生长^[10].

表 3 不同遮阴条件下大叶竹节树的叶绿素质量比

遮阴度/%	总叶绿素/(mg · g ⁻¹)	叶绿素 a/(mg · g ⁻¹)	叶绿素 b/(mg · g ⁻¹)	叶绿素 a/b/(mg · g ⁻¹)
0	27.527±0.301aA	20.315±0.167aA	7.212±0.363aA	2.817±0.152aA
25	41.345±0.465bB	21.924±0.223aA	19.421±0.152bB	1.129±0.231bB
50	45.584±0.221bB	26.566±0.748bB	19.018±0.243bB	1.397±0.673bB
75	64.786±0.141cC	25.861±0.484bB	38.925±0.387cC	0.664±0.554cB

注: 同列不同小写字母表示差异具有统计学意义($p \leq 0.05$); 同列不同大写字母表示差异极具有统计学意义($p \leq 0.01$).

3 讨 论

一般情况下, 植物的光补偿点越低, 越能在弱光条件下进行光合作用; 光饱和点低则表示植物光合速率随光照强度的增加能很快达到最大. 所以较低的光补偿点能使植物在有限的光照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^[11–12]. 本研究结果显示, 随遮阴度的增加, 大叶竹节树的光补偿点和光饱和点均降低, 光补偿点在 $9 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下, 光饱和点在 $400 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 以下, 说明大叶竹节树是一种耐荫性很强的植物.

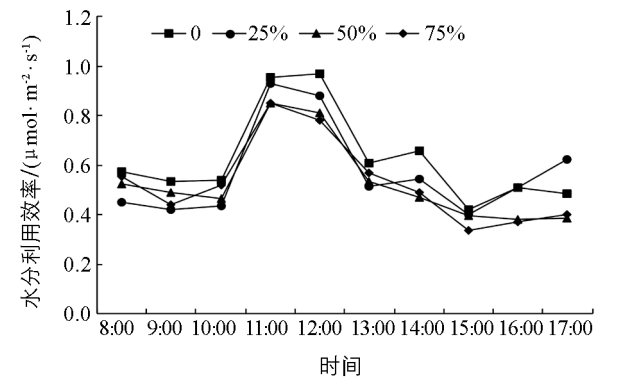


图 8 不同遮阴处理水分利用效率(WUE)的日变化

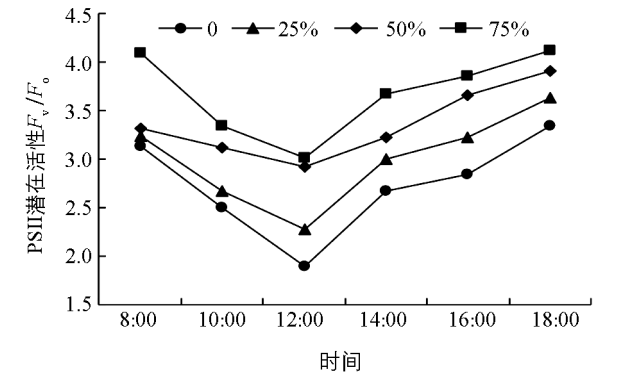


图 10 不同遮阴处理 F_v/F_o 值的日变化

试验结果表明,随着遮阴程度的增加,大叶竹节树幼苗 P_n , G_s , T_r , L_s 和水分利用效率随之减小,而 C_i 随之增大. 全光照条件下,净光合速率在中午时段出现了一定的“午休”现象,其净光合速率在 10:00—12:00 为气孔限制,可能其午休现象是由于气孔关闭造成的. 说明随光照增强大叶竹节树幼苗净光合速率提高,虽然处于幼苗期,但并未受到光强抑制.

一般来说,植物光合作用受到限制的方式可分为气孔限制和非气孔限制. 气孔限制是指气孔导度(G_s)下降导致 CO_2 进入叶片受阻,非气孔限制是指因光合机构和功能受到损害而导致光合速率下降^[13]. 许大全等^[14]认为,当 P_n 和 G_s 下降时,如果 L_s 增大和 C_i 降低,才可认为光合速率下降主要是由气孔导度引起的,即气孔限制;如果 L_s 减小和 C_i 增大或不变,即为非气孔限制,光合速率下降应归因于叶肉细胞羧化能力的降低. 本研究结果显示,大叶竹节树的光合速率在多数时段是非气孔限制(图 7),在低光照时,气孔限制减小. C_i 是影响植物光合速率非气孔限制的主要因子,结合 L_s 值分析结果都表明,大叶竹节树幼苗除具有气孔开闭机制以外,其光合速率更多的是受其内部光合因素所控制,说明气孔张开虽然有利于提高大叶竹节树的光合速率,但是大叶竹节树尚能通过内部光合机制提高光合速率.

PSII 潜在活性(F_v/F_o)和 PSII 最大光化学效率(F_v/F_m)可作为是否发生光抑制的指标. F_v/F_o 和 F_v/F_m 值与光合作用效率密切相关,任何环境因素对光合作用的影响都可以通过叶绿素荧光反映出来. 环境胁迫将引起 F_o 的升高和 F_m 的降低. 本研究中大叶竹节树 F_v/F_m 的日变化曲线与 P_n 变化相反, F_v/F_m 和 F_v/F_o 日变化均呈“单谷”曲线,且随着遮阴程度的提高, F_v/F_m 和 F_v/F_o 依次上升,更进一步说明大叶竹节树具有很强的耐荫性.

叶绿素在光合作用中直接参与光能的吸收与转换. 叶绿素 a 在红光部分的吸收带偏向长光波方面,叶绿素 b 则在蓝紫光部分的吸收带较宽. 因此,叶绿素 b 的质量比相对提高(a/b 值减小)可使植物提高蓝紫光的利用效率^[15-16],适应于荫蔽环境生长. 一般说来,叶绿素质量比高、叶绿素 a/b 比值小的植物具有较强的耐荫性. 遮阴条件下,总叶绿素、叶绿素 b 均增加,叶绿素 a/b 值降低,是植物利用弱光能力强的判断指标^[17]. 本试验结果表明,遮阴条件下大叶竹节树叶片总叶绿素、叶绿素 a、叶绿素 b 的质量比均显著高于全光照,且随遮阴度增加叶绿素质量比呈上升趋势,而叶绿素 a/b 的值则随着遮阴程度的提高而下降,同样表明大叶竹节树对遮阴环境有较强的适应能力.

参考文献:

- [1] 谭家得,薛克娜,王志云,等. 抗污染树种等级划分及其应用 [J]. 中国城市林业, 2005, 3(6): 40—45.
- [2] 梁丽丽,谢腾芳,薛立,等. 3 种松树林林分改造树种的生长格局 [J]. 生态科学, 2009, 28(1): 9—12.
- [3] 黄世满,吴庆书,符气浩. 海南岛新绿化树种——竹节树 [J]. 海南大学学报(自然科学版), 1996, 14(1): 43—46.
- [4] 殷爱华,胡羨聪,吴小英,等. 珠三角地区优良降噪树种的初步选择 [J]. 广东林业科技, 2006, 22(4): 79—82.
- [5] 陈香,谭家得,丁岳炼,等. 干旱胁迫对竹节树幼苗生长的影响 [J]. 福建林业科技, 2016, 43(2): 129—133.
- [6] BIERHUIZEN J F, SLATYER R O. Effect of Atmospheric Concentration of Water Vapor and CO_2 in Determining Transpiration-Photosynthesis Relationships of Cotton Leaves [J]. Agric Meteorol, 1965, 2(4): 259—270.
- [7] 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.
- [8] 万盼,熊兴政,黄小辉,等. 2 种农药胁迫对油桐幼苗叶绿素荧光特性及生长的影响 [J]. 林业科学, 2016, 52(7): 22—29.
- [9] ARNON D I. Copper Enzymes in Isolated Chloroplasts. Polyphenoloxidase in Beta Vulgaris [J]. Plant Physiology, 1949, 24(1): 1—15.
- [10] 舒海燕,江洪,马锦丽,等. 施用竹炭对卷心菜叶绿素含量和荧光参数的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(9): 49—57.
- [11] 武海,张树源,许大全,等. 珊瑚树叶片叶绿素荧光非光化学猝灭的日变化和季节变化 [J]. 植物生理学报, 1997, 23(2): 145—150.
- [12] BOARDMAN N K. Comparative Photosynthesis of Sun and Shade Plants [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1977, 28(1): 355—377.

[13] FARQUHAR G D, SHARKEY T D. Stomatal Conductance and Photosynthesis [J]. Annual Review of Plant Physiology, 1982, 33(1): 317—345.

[14] 许大全. 光合作用效率 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002: 39—96.

[15] GOODWIN T W. The Biochemistry of the Carotenoids [M]. USA: Springer, 1980: 529.

[16] AbRAM M D. Leaf Structural and Photosynthetic Pigments Characteristics of Tree Gallery Forest Hardwood Species in Northeast Kansas [J]. For Ecol. Manage, 1987, 22(3): 261—266.

[17] 赵顺, 黄秋娟, 李玉灵, 等. 遮荫处理对臭柏幼苗光合特性的影响 [J]. 生态学报, 2014, 34(8): 1994—2002.

Effects of Shading on the Photosynthetic Characteristics and Chlorophyll Fluorescence Parameters of *Carallia garciniaefolia*

HUANG Jing, WEI Li-ping, SUN Xiao-long,
YUAN Hui-fang, TIAN Yao-hua

Yunnan Institute of Tropical Crops, Jinghong Yunnan 666100, China

Abstract: To study the adaptability of *Carallia garciniaefolia* to low light conditions, the effects of different shading treatments (25%, 50% and 75% shading) on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence of *C. garciniaefolia* seedlings were studied in a pot experiment. The results showed that net photosynthetic rate (P_n), stomatal conductivity (G_s), transpiration rate (T_r), water use efficiency (WUE) and photosynthetic active radiation (PAR) of the plant decreased, while its stomatal CO_2 concentration (C_i) increased significantly with increasing shading, suggesting that non-stomatal limitation is the main cause of the reduction in photosynthesis rate of *C. garciniaefolia*. The contents of total chlorophyll (a+b), chlorophyll a and chlorophyll b in the leaves of the plants grown under different shading conditions were all significantly higher than under full day light, and increased with increasing shading, while chlorophyll a/b decreased. F_v/F_m and F_v/F_o in the shading treatments were significantly higher than under full day light and increased with increasing shading, indicating that *C. garciniaefolia* is a strongly shade-tolerant plant. Under the shading conditions, the light saturation point, light compensation point and chlorophyll a/b of *C. garciniaefolia* decreased, but the contents of its total chlorophyll, chlorophyll a and chlorophyll b, and the F_v/F_m and F_v/F_o values increased, thus improving its adaptability to shading conditions.

Key words: *Carallia garciniaefolia*; shading treatment; photosynthetic characteristic; fluorescence parameter

责任编辑 潘春燕

