

光照强度对苦槠幼苗生长与光合作用的影响

方江保¹, 殷秀敏¹, 余树全¹, 江洪¹, 李修鹏²

(1. 浙江农林大学 林业与生物技术学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江省宁波市林业技术推广中心, 浙江 宁波 315000)

摘要: 为了研究弱光环境对林下亚热带常绿阔叶树种苦槠 *Castanopsis sclerophylla* 幼苗光合生理和生长的影响, 进行了不同生长光强(100%, 40%和15%自然光强)处理, 并在5月和9月对苦槠幼苗光合以及荧光参数进行测定。结果表明: 无论5月和9月, 随着生长光强的降低, 苦槠幼苗叶片的最大净光合速率、光补偿点和光饱和点均有减小的趋势, 尤其在9月, 在15%自然光强下分别为 $13.08 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $9.62 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $198.80 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 显著低于对照($P<0.05$), 分别是对照($19.47 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $22.53 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, $350.33 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)的48.9%, 76.2%和74.6%; 遮光处理下叶片的相对叶绿素含量、叶绿素荧光参数光系统(PS)最大光化学效率(F_v/F_m)和潜在活性(F_v/F_o)值均高于对照的, 存在显著差异($P<0.05$), 且随遮光程度的增加其值均依次增加。这说明, 苦槠是一种耐荫树种, 遮光可降低其最大净光合速率、光补偿点和光饱和点, 以及增加叶绿素相对含量、PS最大光化学效率和潜在活性, 以增强在弱光条件下的生长发育能力。这些现象表明, 强光环境对苦槠幼苗的光合作用具有一定的负效应, 但对林下的幼苗光合作用与生长却是有利的。图4表2参23

关键词: 森林生物学; 光强; 苦槠; 生长; 光合特性

中图分类号: S718.4 文献标志码: A 文章编号: 1000-5692(2010)04-0538-07

Growth and photosynthesis of *Castanopsis sclerophylla* seedlings with three light intensity treatments

FANG Jiang-bao¹, YIN Xiu-min¹, YU Shu-quan¹, JIANG Hong¹, LI Xiu-peng²

(1. School of Forestry and Biotechnology, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China;

2. Forest Technology Extension Center of Ningbo City, Ningbo 315000, Zhejiang, China)

Abstract: *Castanopsis sclerophylla* is one of the first growing species in secondary succession after destruction of subtropical evergreen broad-leaved forests. The objective is to study the effects of low light level on growth and photosynthesis of the seedlings. Photosynthesis and chlorophyll II fluorescence traits of *C. sclerophylla* seedlings were determined under shading (treatments of 100%, 40%, and 15% of daylight) in May and September, 2008. Results showed that in May and September, with decreasing light intensity, the maximum net photosynthetic rate, light compensation point, and light saturation point of *C. sclerophylla* leaves decreased. In September the 15% of daylight treatment was significantly lower ($P<0.05$) than the control (100% of daylight). Also, the SPADR value and the chlorophyll II fluorescence parameters (F_v/F_m , F_v/F_o) of leaves of significantly increased ($P<0.05$) with a decrease of light. Thus, in a high light environment, photosynthesis of *C. sclerophylla* seedlings decreased, whereas the seedlings beneath the forest crown benefited. [Ch, 4 fig. 2 tab. 23 ref.]

Key words: forest biology; light intensity; *Castanopsis sclerophylla*; growth; photosynthetic characteristics

收稿日期: 2009-02-16; 修回日期: 2009-12-09

基金项目: 浙江省科学技术攻关项目(2006C12060; 2005D70020)

作者简介: 方江保, 从事恢复生态学研究。E-mail: fangjiangbao@hotmail.com。通信作者: 余树全, 教授, 博士, 从事恢复生态学等研究。E-mail: yushq@zjfc.edu.cn

光是影响植物形态和生理功能的重要环境因子^[1-2]。光照不足可引起植物体内养分供应出现障碍, 可能导致叶片黄化或早期死亡^[3]。过剩的光能可能会引起植物光化学效率的降低, 发生光合作用的光抑制^[4-5]。植物对生长光强的适应也因植物生态习性的差异而有所不同。前人的研究表明, 喜光树种在强光下光合速率较高, 生长较为健壮, 根系发达; 而耐荫树种在适度的遮光下叶绿素含量较高, 植株生长快, 叶片较大, 植株光合速率较高^[6-7]。苦槠 *Castanopsis sclerophylla* 为壳斗科 Fagaceae 桃属 *Castanea* 的高大乔木, 主要产于长江中下游以南各地, 在湿润肥沃土壤及干旱瘠薄山坡、山脊地均能生长, 是亚热带地区最常见的常绿阔叶树种之一, 常与马尾松 *Pinus massoniana*, 木荷 *Schima superba* 和甜槠 *Castanopsis eyrei* 等混生^[8]。以苦槠为优势种的常绿阔叶林是中国东部中亚热带常绿阔叶林破坏后, 次生演替过程中最先出现的常绿阔叶林类型之一。目前, 有关苦槠更新和生长、光合特性等方面开展了一些研究^[9-11], 但对不同月份苦槠幼苗叶片的光合生理生态特征的研究报道很少。为此, 我们利用光合作用和叶绿素荧光测定技术, 系统测定了不同生长光强下苦槠幼苗叶片在不同月份光合生理指标和生长量的变化, 以探讨苦槠幼苗生长对光强的需求状况和光合作用的季节动态, 为亚热带常绿阔叶林生态系统的植被恢复和研究提供基础理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地自然概况

试验地位于浙江省临安市境内的浙江林学院野外试验地, 属中亚热带季风气候区, 温暖湿润, 四季分明。多年平均气温为 15.8 ℃, 7 月为最热月, 历年平均气温为 28.1 ℃, 1 月为最冷月, 历年平均气温为 3.4 ℃。极端最高气温 41.9 ℃, 极端最低气温-13.3 ℃。历年平均日照时数为 1 939 h, 年无霜期 250 d 左右。土壤为黄壤。

1.2 试验材料与处理

试验在用黑色尼龙网布遮光的大棚和全自然光照下进行, 于 2008 年 5 月 16 日和 9 月 19 日的晴天用与 HOBO 小型自动气象站数据采集器(Onset Computer Corporation, USA)相连的光合有效辐射传感器, 测定全自然光下和 2 个遮光棚内的光合有效辐射, 隔 10 s 测定 1 次, 隔 10 min 自动记录 1 次平均值。测得 5 月和 9 月全光下和不同遮光度的 2 个遮光棚内的光合有效辐射(图 1)。1 d 中 2 个遮光棚内的总光合有效辐射(或平均光合有效辐射)与全自然光的总光合有效辐射(或平均光合有效辐射)相比, 得出 2 个遮光处理的光强均为全自然光的 40% 和 15%。本研究所用材料为 2 年生、长势基本一致的苦槠健康幼苗, 来源于宁波林业技术推广中心。于 2007 年 3 月移栽于水肥条件基本一致的试验大棚内, 幼苗在 40% 自然光下的荫棚下生长 3 个月后设置 40% 和 15% 等 2 种光环境, 全光照为对照(ck), 每个遮光棚选取 15~20 株大小一致长势良好的幼苗挂牌, 各个植株之间保持一定距离, 避免相互遮光。常规管理, 随时除草。

用钢管搭建长×宽为 15 m×9 m 的弧形棚, 分别固定 40% 和 85% 的遮光网各 1 层, 做成 2 种遮

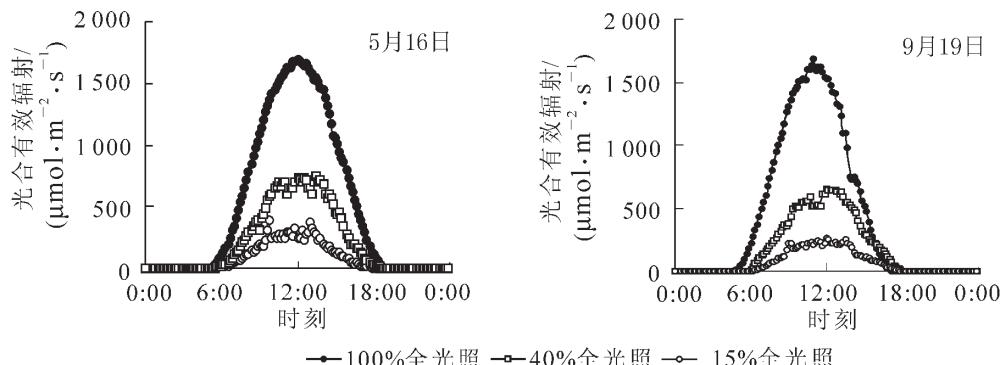


图 1 典型晴天全光下和遮光度不同的 2 个遮光棚内的光合有效辐射

Figure 1 Diurnal fluctuation of photosynthetically active radiation in the open site and two shade houses on a typical sunny day

光罩。遮光罩四周底线离地面约15 cm, 便于通风。各个处理小区面积为8 m×4 m, 植苗20株。

1.3 试验方法

1.3.1 叶片气体交换参数的测定 选择晴天上午在自然二氧化碳(CO_2)摩尔分数条件下($380 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$), 利用Li-6400便携式光合仪(Li-Cor, USA)测定光响应曲线, 测定时使用分析仪自带的6400-02 LED红蓝光源, 设定叶室温度为25 °C, 流量为 $500 \mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$, 相对湿度60%。先将叶片置于 $1000 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的光强下充分诱导, 依次测定光强梯度为2 000, 1 500, 1 000, 600, 300, 200, 150, 100, 80, 50, 20, 0 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 下的净光合速率, 待测定值稳定后开始读数。以光合有效辐射(P_{AR})为横轴, 净光合速率(P_n)为纵轴绘制光响应曲线。

1.3.2 叶绿素荧光参数的测定 用便携式调制叶绿素荧光仪(PAM-2100, Walz, Germany)于晴天进行测定。获得的参数为: F_o (初始荧光), F_m (最大荧光), $F_v = F_m - F_o$ (可变荧光), F_v/F_m (PS最大光化学效率)和 F_v/F_o (PS的潜在活性)等, 测定 F_o , F_m 和 F_v/F_m 前, 叶片经过了25 min的暗适应。测定方法见文献[12]。气体交换参数和叶绿素荧光参数的测定时间为2008年5月16日-17日和9月19日-20日9:00-11:00, 各种植物每个梯度随机选取3~5株植物, 逐从冠层选取1片当年生功能叶片进行测定。

1.3.3 叶绿素相对含量的测定 叶绿素相对含量用便携式叶绿素含量测定仪(SPAD-502, Konica Minolta, Japan)测定。测定时, 不同光强处理下随机选取6片完好的功能叶, 在各个叶片中脉两侧, 均匀选取3个点读取相对叶绿素含量的值, 取平均值作为该叶片的叶绿素相对含量。测定时间为2008年5月和9月。

1.3.4 生长量指标测定 生长量指标包括株高及地径, 测量工具为游标卡尺和卷尺, 测定时间为2007年8月和2008年9月。

1.3.5 数据分析 用SPSS 13.0软件, 采用单因素方差分析, 分析在不同处理下各个参数的显著性, 在数据分析前, 对所有数据进行正态性与齐性检验。用SigmaPlot 10.0作图。

2 结果与分析

2.1 不同生长光强下苗木生长量的变化

苗木生长量是植物所在外部自然环境条件综合作用的反应结果。由表1可以看出, 不同光强对苗木的生长量影响较大。在水肥状况一致的条件下, 就苦槠高生长而言, 全光照条件的年生长量是40%光照条件下年生长量的1.69倍, 是15%光照条件下年生长量的2.47倍; 就地径生长而言, 全光照条件下苦槠的年生长量是40%光照条件下年生长量的1.62倍, 是15%光照条件下年生长量的2.92倍。方差分析表明, 40%和15%生长光强下苗木的苗高、地径生长量与全光照条件下苗木的苗高、地径生长量差异显著($P<0.05$)。说明低光会影响苗木的生长, 造成苗低矮, 质量下降。

表1 2008年9月不同光强下苗木苗高和地径的生长情况

Table 1 Growth of *Castanopsis sclerophylla* seedlings under different light intensity on September, 2008

生长光强/%	平均苗高/cm	平均地径/cm	苗高年生长量/cm	地径年生长量/cm
100	131.4 ± 8.44 a	2.044 ± 0.152 a	83.90 ± 7.67 a	1.508 ± 0.157 a
40	101.5 ± 7.25 b	1.643 ± 0.149 b	49.53 ± 8.55 b	0.931 ± 0.145 b
15	83.5 ± 3.08 c	1.098 ± 0.083 c	33.98 ± 3.00 b	0.516 ± 0.668 b

说明: 所有数据为平均值±标准误差。具有相同字母的处理表示没有达到显著性差异($P<0.05$)。

2.2 不同生长光强下苦槠叶片叶绿素相对含量的变化

叶绿素是树木光合作用中重要的和最有效的光能吸收色素, 在光合作用过程中起到接受和转换能量的作用^[13]。叶绿素相对含量是一个相对叶绿素含量读数, 也称绿色度。叶绿素相对含量与叶绿素含量具有显著的相关性, 能较好地反映植物叶绿素含量的变化^[14-15]。由图2可以看出, 不同苦槠叶片在

5 月叶绿素相对含量较低, 随着幼叶的成长, 至 9 月叶片逐渐发育成熟, 叶绿素相对含量也逐渐增加。苦槠叶片的叶绿素相对含量随着生长光强的减弱, 逐渐增加, 而且 40% 和 15% 的生长光强下苦槠叶片叶绿素相对含量显著高于全光照 ($P < 0.05$)。

2.3 不同生长光强下苦槠叶片气体交换参数的变化

由图 3 可以看出, 苦槠叶片的最大净光合速率随着光强的降低呈下降趋势, 不同月份苦槠叶片的最大净光合速率降幅不同。在 5 月, 苦槠叶片最大净光合速率在各光强处理下差异不显著。9 月, 苦槠叶片的最大净光合速率在 15% 生长光强下明显低于全光照和 40% 生长光强。无论是在 5 月还是 9 月, 最大净光合速率最大值均为全光照下生长的苦槠幼苗, 分别高达 $14.13 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $19.47 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 较 40% 的生长光强分别高 4.8% 和 11.8%, 较 15% 的生长光强分别高 15.4% 和 48.9%。

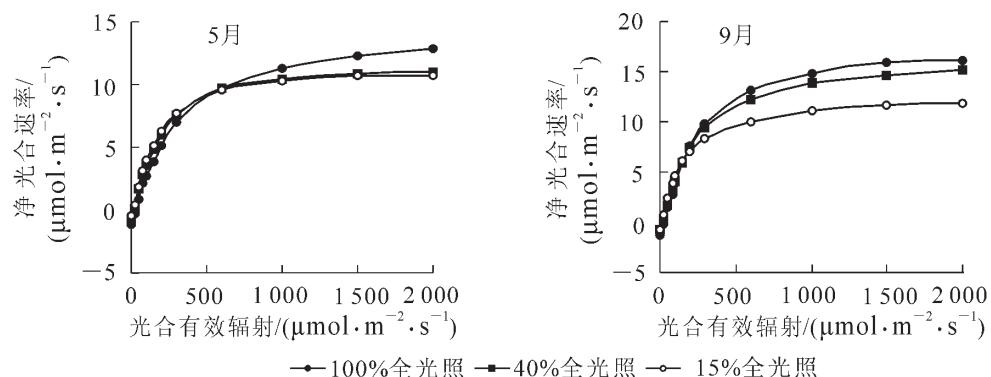


图 3 不同光强下苦槠叶片的光合-光强响应曲线

Figure 3 Photosynthetic light response curves of *Castanopsis sclerophylla* seedlings leaves under different light intensity

光补偿点、光饱和点和表观量子效率是指示植物光响应特征的重要指标。表 2 表明, 不同月份苦槠叶片的光补偿点、光饱和点和表观量子效率不同。植物叶片的光饱和点与光补偿点反映了植物对光照条件的要求, 分别体现了对强光和弱光的利用能力^[16-17]。无论 5 月与 9 月, 随着生长光强的减弱, 苦槠叶片的光饱和点和光补偿点有所下降。全光照条件下 5 月和 9 月苦槠叶片光补偿点分别为 $18.58 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 和 $22.53 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。5 月时生长在全光照条件下和 40% 光强下的苦槠叶片光补偿点均较 9 月有所下降。相同月份不同生长光强下叶片光补偿点差异不同, 40% 生长光强下叶片光补偿点在

表 2 不同光强下苦槠叶片的气体交换参数

Table 2 Gas exchange parameter of *Castanopsis sclerophylla* seedlings leaves under different light intensity

月份	光强/%	表观量子效率/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	最大净光合速率/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光饱和点/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)	光补偿点/($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)
5	100	0.046 ± 0.002 a	14.13 ± 1.48 a	331.25 ± 38.18 a	18.58 ± 1.33 a
	40	0.053 ± 0.002 a	13.48 ± 0.64 a	279.20 ± 18.70 ab	13.41 ± 1.39 b
	15	0.055 ± 0.002 a	11.96 ± 0.55 a	227.00 ± 7.92 b	10.23 ± 0.44 b
9	100	0.059 ± 0.002 a	19.47 ± 0.79 a	350.33 ± 6.64 a	22.53 ± 0.46 a
	40	0.061 ± 0.001 a	17.38 ± 0.66 a	301.66 ± 10.06 b	17.25 ± 1.39 a
	15	0.074 ± 0.006 a	13.08 ± 0.74 b	198.80 ± 16.63 c	9.62 ± 1.37 b

5月时显著低于全光照,9月时与全光照差异不明显。而无论5月与9月,在15%生长光强下叶片光补偿点明显低于全光照条件,说明苦槠叶片对低光环境的适应能力较强,利用低光的能力强。

不同光照条件下光饱和点差异不同。5月时15%生长光强下叶片光饱和点明显低于全光照,而在40%生长光强下与全光照差异不明显。9月不同光强下叶片光饱和点差异显著。

表观量子效率是指植物吸收一个光量子所固定的二氧化碳或释放的氧气的分子数,是表示光合作用光能利用效率高低的参数^[18]。从表2中可以看出,在所测定的2个月份,全光照条件的苦槠叶片由较高的光能转化效率,且随着生长光强的降低,叶片表观量子效率虽逐渐增加,但不显著。这说明,随着生长光强降低,叶片光能转换效率有所增加。

2.4 不同生长光强下苦槠叶片叶绿素荧光参数的变化

由图4可以看出,5月在15%光强下生长的苦槠叶片,PS最大光化学效率(F_v/F_m)和PS潜在活性(F_v/F_o)最高,其次为40%生长光强,而生长在全光照条件下的叶片 F_v/F_m 和 F_v/F_o 最低,不同生长光强下当年生叶片 F_v/F_m 和 F_v/F_o 差异显著。9月在15%光强下生长的苦槠叶片 F_v/F_m 和 F_v/F_o 最高,显著高于全光照,而40%生长光强下次之,但与全光照差异不明显,表明适当的遮光环境处理能提高苦槠叶片的光化学效率和潜在活性。与5月相比,9月时叶片的 F_v/F_m 和 F_v/F_o 有所增加。

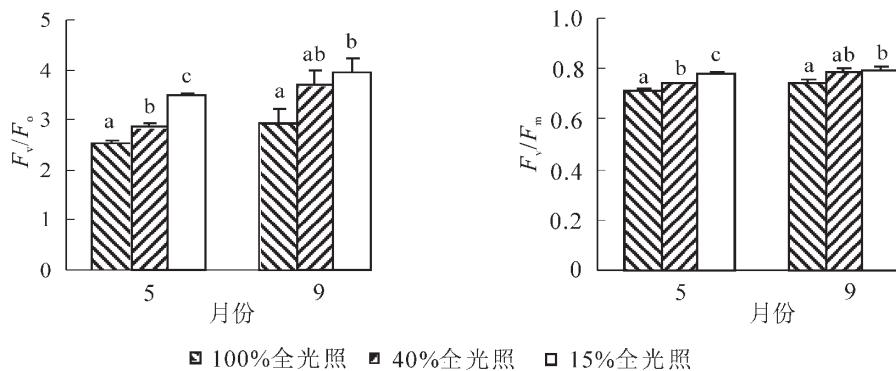


图4 不同光强下苦槠叶片叶绿素荧光参数的变化

Figure 4 Chlorophyll fluorescence parameters of *Castanopsis sclerophylla* seedling leaves under different light intensity

3 讨论

不同生长光强对苦槠幼苗的生长量影响较大。不同光照条件下苦槠幼苗的苗高、地径生长量差异明显,弱光会影响苦槠苗木的生长,造成苗木低矮,质量下降。

一般情况下,适当遮光的叶片其叶绿素相对含量较全光照高,这是因为全光照条件下叶片吸收的过剩光能使得部分激发态的叶绿素不能及时通过激发能传递和光化学反应予以猝灭,与环境中的分子氧反应,生成单线态氧,引起叶绿素的漂白,从而使得叶绿素含量有所降低^[19-20]。但是如果在光照强度很弱的环境条件,则有可能不利于叶绿体的发育,从而导致叶绿素含量下降。本研究中,苦槠叶片叶绿素相对含量与其所处的光环境有关,15%生长光强下最高,其中9月叶绿素相对含量较高。

不同月份苦槠幼苗叶片光合作用对生长光强的响应有所不同。无论5月与9月,随着生长光强的降低,最大净光合速率依次降低,其中在9月,生长在全光照条件下的叶片有较高的最大净光合速率,在15%生长光强下叶片最大净光合速率显著低于全光照和40%生长光强(表2,图3);光补偿点和光饱和点也随着生长光强的降低而下降,说明苦槠幼苗的光合作用特性对生长光强的变化有很强的可塑性。

叶绿素荧光参数分析在植物生理方面应用广泛,是研究植物光合生理状态的重要参数^[21-22]。 F_v/F_o 和 F_v/F_m 随着生长光强的减小而增加的植物能适应弱光环境,而 F_v/F_o 和 F_v/F_m 下降的植物则相反^[23]。本研究结果表明:无论是5月与9月,在15%生长光强下苦槠叶片的 F_v/F_o 和 F_v/F_m 显著高于全光照;在40%生长光强下苦槠叶片5月时 F_v/F_o 和 F_v/F_m 显著高于全光照,而9月时与全光照差异不显著,

是苦槠能适应弱光环境的表现。

通过本次对苦槠生长量及光合生理参数的试验研究可以看出: 苦槠能够成为常绿阔叶林群落的优势树种在于它对生长光强的适应性, 低光环境下它有较低的光饱和点和光补偿点、较大的表观量子效率和光化学效率以及相对叶绿素含量, 证明它有充分利用低光光环境的潜力, 但低光会影响苦槠苗木的生长。

参考文献:

- [1] 蔡志全, 曹坤芳, 冯玉龙, 等. 热带雨林 3 种树苗叶片光合机构对光强的适应[J]. 应用生态学报, 2003, **14** (4): 493–496.
CAI Zhiqian, CAO Kunfang, FENG Yulong, et al. Acclimation of foliar photosynthetic apparatus of three tropical woody species to growth irradiance [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2003, **14** (4): 493–496.
- [2] CHOW W S, LUPING Q, GOODCHILD D J, et al. Photosynthetic acclimation of *Alocasia macrorrhiza* (L.) G. Don to growth irradiance: structure, function and composition of chloroplasts [J]. *Aust J Plant Physiol*, 1988, **15** (1–2): 107–122.
- [3] 李博. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2004: 21.
- [4] 王博轶, 冯玉龙. 生长环境光强对 2 种热带雨林树种幼苗光合作用的影响[J]. 生态学报, 2005, **25** (1): 23–30.
WANG Boyi, FENG Yulong. Effects of growth light intensities on photosynthesis in seedlings of two tropical rain forest species [J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, **25** (1): 23–30.
- [5] SHIRKE P A, PATHREU V. Diurnal and seasonal changes in photosynthesis and photosystem 2 photochemical efficiency in *Prosopis juliflora* leaves subjected to natural environmental stress [J]. *Photosynthetica*, 2003, **41** (1): 83–89.
- [6] 迟伟, 王荣富, 张成林. 遮荫条件下草莓的光合特性变化[J]. 应用生态学报, 2001, **12** (4): 566–568.
CHI Wei, WANG Rongfu, ZHANG Chenglin. Changes of photosynthetic characteristics of strawberry leaf under shading [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2001, **12** (4): 566–568.
- [7] 范燕萍, 余让才, 郭志华. 遮荫对匙叶天南星生长及光合特性的影响[J]. 园艺学报, 1998, **25** (3): 270–274.
FAN Yanping, YU Rangcui, GUO Zhihua. Effects of shading on the growth and photosynthetic characteristics in *spathiphyllum* palls [J]. *Acta Hortic Sin*, 1998, **25** (3): 270–274.
- [8] 郑万钧. 中国树木志[M]. 北京: 中国林业出版社, 1998: 2213–2214.
- [9] 张欣, 徐高福, 沈栋, 等. 千岛湖岛屿苦槠(*Castanopsis sclerophylla*)种群的维持和天然更新[J]. 生态学报, 2007, **27** (2): 424–431.
ZHANG Xin, XU Gaofu, SHEN Dong, et al. Maintenance and natural regeneration of *Castanopsis sclerophylla* populations on islands of Qiandao Lake Region [J]. *Acta Ecol Sin*, 2007, **27** (2): 424–431.
- [10] 王兵, 赵广东, 李少宁, 等. 江西大岗山常绿阔叶林优势种丝栗栲和苦槠栲光合日动态特征研究[J]. 江西农业大学学报, 2005, **27** (4): 576–579.
WANG Bing, ZHAO Guangdong, LI Shaoning, et al. Diurnal photosynthetic change characteristics of the dominant species *Castanopsis fargesii* and *Castanopsis sclerophylla* in evergreen broad-leaved forest in Dagangshan Mountain, Jiangxi Province [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2005, **27** (4): 576–579.
- [11] 赵广东, 王兵, 李少宁, 等. 江西大岗山常绿阔叶林优势种丝栗栲和苦槠栲不同叶龄叶片光合特性研究[J]. 江西农业大学学报, 2005, **27** (2): 161–165.
ZHAO Gangdong, WANG Bing, LI Shaoning, et al. Photosynthetic characteristics of dominant species *Castanopsis fargesii* and *Castanopsis sclerophylla* in different leaf ages in Dagangshan Mountain, Jiangxi Province [J]. *Acta Agric Univ Jiangxi*, 2005, **27** (2): 161–165.
- [12] 徐德聪, 吕芳德, 栗彬. 不同立地美国山核桃叶绿素荧光特性及叶性状比较[J]. 经济林研究, 2005, **23** (4): 17–20.
XU Decong, LÜ Fangde, LI Bin. Comparison of chlorophyll fluorescence characteristics and leaf characters of pecan in different site conditions [J]. *Nonwood For Res*, 2005, **23** (4): 17–20.
- [13] 黄瑞冬, 王进军, 许文娟. 玉米和高粱叶片叶绿素含量及动态的比较[J]. 杂粮作物, 2005, **25** (1): 30–31.
HUANG Ruidong, WANG Jinjun, XU Wenjuan. Comparison of chlorophyll contents and their dynamics between maize and sorghum [J]. *Rain Fed Crops*, 2005, **25** (1): 30–31.

- [14] 姜丽芬, 石福臣, 王化田, 等. 叶绿素计 SPAD-502 在林业上应用[J]. 生态学杂志, 2005, 24 (12): 1543 – 1548.
JIANG Lifen, SHI Fucheng, WANG Huatian, et al. Application tryout of chlorophyll meter SPAD-502 in forestry [J]. *Chin J Ecol*, 2005, 24 (12): 1543 – 1548.
- [15] 宋绪忠, 赵永军, 张金凤, 等. 茶树叶片叶绿素含量与叶色值相关性研究[J]. 山东林业科技, 2002 (6): 10 – 12.
SONG Xuzhong, ZHAO Yongjun, ZHANG Jinfeng, et al. Relationship between chlorophyll meter readings (SPAD Readings) and chlorophyll content of tea leaves [J]. *J Shandong For Sci Technol*, 2002 (6): 10 – 12.
- [16] 冯玉龙, 曹坤芳, 冯志立, 等. 4 种热带雨林树种幼苗比叶重、光合特性和暗呼吸对生长光环境的适应[J]. 生态学报, 2002, 22 (6): 901 – 910.
FENG Yulong, CAO Kunfang, FENG Zhili, et al. Acclimation of lamina mass per unit area, photosynthetic characteristics and dark respiration to growth light regimes in four tropical rainforest species [J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, 22 (6): 901 – 910.
- [17] 蔡仕珍, 陈其兵, 潘远智, 等. 遮光对花叶细辛光合特性和荧光参数的影响 [J]. 四川农业大学学报, 2004, 22 (4): 326 – 331.
CAI Shizhen, CHEN Qibing, PAN Yuanzhi, et al. Effect of photosynthetic characteristic and chlorophyll () fluorescence parameters on *Asarum splendens* under different sun-shading treatments [J]. *J Sichuan Agric Univ*, 2004, 22 (4): 326 – 331.
- [18] 许大全. 气孔的不均匀关闭与光合作用的非气孔限制[J]. 植物生理学通讯, 1995, 31 (4): 246 – 252.
XU Daquan. Non-uniform stomatal closure and non-stomatal limitation of photosynthesis [J]. *Plant Physiol Commun*, 1995, 31 (4): 246 – 252.
- [19] SHEN Y K. Some factors limiting photosynthesis in nature [M]//BALTSCHEFFSKY M. *Current Research in Photosynthesis*: 4. Dordrecht: Kluwer Academic, 1990: 843.
- [20] 柯世省, 金则新, 林恒琴, 等. 天台山东南石栎光合生理生态特性[J]. 生态学杂志, 2004, 23 (3): 1 – 5.
KE Shisheng, JIN Zexin, LIN Hengqin, et al. Photosynthetic eco-physiological characteristics of *Lithocarpus harlandii* in Tiantai Mountain of Zhejiang Province, China [J]. *Chin J Ecol*, 2004, 23 (3): 1 – 5.
- [21] 温国胜, 田海涛, 张明如, 等. 叶绿素荧光分析技术在林木培育中的应用[J]. 应用生态学报, 2006, 17 (10): 1973 – 1977.
WEN Guosheng, TIAN Haitao, ZHANG Mingru, et al. Application of chlorophyll fluorescence analysis in forest tree cultivation [J]. *Chin J Appl Ecol*, 2006, 17 (10): 1973 – 1977.
- [22] 田海涛, 高培军, 温国胜. 7 种箬竹抗寒特性比较[J]. 浙江林学院学报, 2006, 23 (6): 641 – 646.
TIAN Haitao, GAO Peijun, WEN Guosheng. Comparative study of cold resistance characteristics in seven *Indocalamus* spp. [J]. *J Zhejiang For Coll*, 2006, 23 (6): 641 – 646
- [23] 魏胜利. 6 种药用植物耐阴性研究[D]. 保定: 河北农业大学, 2000.
WEI Shengli. *The Study on the Negative-resistance of Six Chinese Traditional Medical Herbs* [D]. Baoding: Hebei Agricultural University, 2000.