

刺栲(*Castanopsis hystrix*)的气体交换和叶绿素 a 荧光特征

李 静^{1,2}, 叶万辉¹, 徐志防^{1*}

(1. 中国科学院华南植物园, 广州 510650; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

摘要: 用 LI-6400 便携式光合测定系统和 PAM-2100 便携式植物荧光分析仪分别在初夏和秋季测定了广州龙眼洞林场刺栲(*Castanopsis hystrix*)幼树叶片的气体交换和叶绿素 a 荧光参数。结果表明:1) 刺栲冠层阳生叶的光饱和点为 $400 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 最大光合速率在 $4-6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之间, 说明刺栲幼树保持阳生植物的特征。阴生叶与阳生叶的叶绿素 a/b 值相似, 均约为 2.4, 而阴生叶叶绿素 b 含量高于阳生叶, 表明阴生叶具有潜在利用弱光的能力;2) 刺栲幼树冠层叶片的 PS II 的最大光化学效率 Fv/Fm 和光化学量子产额 (Yield) 的日动态变化在中午略有下降, 说明其在强光下能发生可逆性的光抑制。刺栲冠层阳生叶的最大光合能力比较低, 整个冠层叶能高效而稳定地利用散射和透射光, 这些特征使得常绿的刺栲幼树能在林边或林下良好生长, 较好地适应不同的光环境并成功渡过幼苗期, 最终成为群落中的上层优势种。

关键词: 刺栲; 气体交换; 叶绿素荧光; 光适应性

中图分类号: Q945.79

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2006)05-0382-07

Characteristics of Gas Exchange and Chlorophyll a Fluorescence in Leaves of *Castanopsis hystrix*

LI Jing^{1,2}, YE Wan-hui¹, XU Zhi-fang^{1*}

(1. South China Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China;

2. Graduate University of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Photosynthetic characteristics in leaves of *Castanopsis hystrix* saplings in Longyandong Forestry, Guangzhou, were studied during early summer and autumn under natural conditions by leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence techniques. The light saturation point (LSP) of sun leaves in canopy was $400 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$, and the maximum net photosynthetic rate was $4-6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$. These data showed that *C. hystrix* saplings are sun plants. The values of chlorophyll a/b in sun leaves and shade leaves were both upto 2.4, and the content of chlorophyll b in shade leaves was higher than that in sun leaves, indicating that shade leaves in canopy had the potential ability to utilize low light intensity. The daily changes in chlorophyll fluorescence parameters recorded that maximum photochemical efficiency of PS II (Fv/Fm) and photochemical quantum yield of PS II (Yield) in sun leaves of *C. hystrix* canopy declined slightly at the midday, suggesting the occurrence of reversible photoinhibition. Owing to the lower maximum net photosynthetic rate in sun leaves and the ability to effectively and consistently utilize the scattered light and/or transmitted light, *C. hystrix* saplings could survive low light intensity, grow well at the edge of the forest and in the understorey, and eventually become one

收稿日期: 2006-03-02 接受日期: 2006-06-23

基金项目: 中国科学院华南植物园领域前沿项目资助

* 通讯作者 Corresponding author

of the dominant species in upper layer of the community.

Key words: *Castanopsis hystrix*; Gas exchange; Chlorophyll a fluorescence; Light adaptability

常绿阔叶林是亚热带地区典型的地带性植被,在世界植被中占有重要地位^[1]。我国由于独特的地理位置,发育出了世界上面积最大、最典型的南亚热带常绿阔叶林,而在北回归线的南亚热带地区则是著名的荒漠带,因而引起了研究人员的关注。壳斗科(Fagaceae)栲属(*Castanopsis*)植物是我国常绿阔叶林的主要组成物种,其中,刺栲(*Castanopsis hystrix*)作为建群种对生境有着很强的适应能力^[2],在我国南亚热带、中亚热带南部有广泛分布。刺栲为壳斗科常绿乔木,在群落中位于乔木层,为优势种,对于维持群落的稳定具有重要作用。同时,它还是我国南方各地的优良速生阔叶树种,特别适宜人工营造用材林和水源涵养林或工业专用原料林。但由于其木材非常珍贵,因此近些年遭到了大量采伐,其天然林遭受了严重破坏。目前,对刺栲的研究多集中于幼苗的筛选和培育及混交林营造^[3-9],林下调落物^[10],植株生长规律和生物量^[11],群落学^[12-14]等的研究和调查。有关刺栲光合生理生态的研究仅见于陈应龙等^[15]报道,但对刺栲在自然状况下如何利用光能的基本特性的研究还未有涉及。为了对刺栲进行有效的保护,合理地进行人工林栽培,本文研究了刺栲的光合特征,为进一步探讨在南亚热带广泛分布的刺栲在种间优势竞争中的地位提供基础资料。

1 研究区自然概况

试验于2005年11月份进行,选择晴朗的天气。研究地点位于广东省广州市东北郊的龙眼洞林场,地理位置为23°11'N,113°11'E,海拔200 m。属亚热带季风气候,年平均气温21℃,最冷月1月份平均为13.3℃,最热月7月份平均为28.4℃,气温年际变化不大,年均降雨量约2000 mm左右,降雨主要集中在4-9月份,占全年降雨量的82%,干湿季节比较明显。本区地貌为低山丘陵,土壤为花岗岩及砂页岩发育而成的赤红壤,土层一般较深厚,土壤有机质中等^[16]。

2 材料和方法

选择生长状况良好的林边人工栽培的刺栲幼

年植株作为样株,树高约2.5 m;在树的向阳面选取外层和内层发育成熟叶片(分别为阳生叶和阴生叶),在不同时间测定它们的光合速率和叶绿素荧光参数。

2.1 叶片气体交换测定

光合指标的测定采用便携式光合作用测定系统(LI-6400, LI-COR, 美国)。该系统能测定净光合速率 P_n ($\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 并同时记录光合有效辐射(PAR, $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) 等环境因子。测定过程中,用 LI-COR 公司生产的 LI-6400-01 液化 CO_2 钢瓶提供稳定浓度的 CO_2 , LI-6400-02B 红蓝光光源提供不同强度的光合有效辐射。

测定植株叶片光合作用光响应曲线时设定叶室内温度为25℃, CO_2 浓度为380 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, 在光强0-2000 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 范围内,测定不同光强下的净光合速率。根据光响应曲线求得该植物的光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)等气体交换参数。同时还测定了饱和 CO_2 浓度下的光合作用光响应曲线。另外,为检测阴生叶和阳生叶的光合能力,设定固定的光强(800 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$),在 CO_2 浓度为380 $\mu\text{mol mol}^{-1}$, 叶室温度25℃的条件下,测定它们的净光合速率。

2.2 叶片叶绿素荧光参数测定

荧光参数的测定用便携式植物荧光分析仪(PAM-2100, WALZ, 德国)完成。充分暗适应(至少1 h)的叶片照射检测光(PPFD为0.12 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 600 Hz)后测得初始荧光 F_0 , 然后照射饱和脉冲光(PPFD为4000 $\mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 0.8 s, 1个脉冲)测得最大荧光 F_m , 两者之差即为可变荧光 F_v 。计算 F_v/F_m , 即为PSII最大光化学效率(暗)。

为获得叶片在光诱导过程中可能发生的光抑制,将经历自然光照的叶片在一天的不同时间用叶夹夹住叶片暗适应10 min以消除建立pH梯度的能量猝灭(qE)和在PSII和PSI之间的状态转换产生的能量猝灭^[17],然后用仪器的R2程序测量PSII当时的最大量子产量 F_v/F_m (光)。同时用R1程序测定每个测定时段自然光下真实的光系统II的光

化学量子产额 Yield ($Y = (Fm' - F_2) / Fm' = \Delta F / Fm'$)^[18]。这时系统自动计算并存储电子传递速率 ($ETR = Y \times 0.84 \times 0.5 \times PAR$)^[19]。一天中从早晨 10 点, 样树受到全光照时开始 (由于地势的影响, 此时样树才处于全光照条件), 到下午 4 点, 每隔 90 min, 测定一次 Yield、ETR 和 Fv/Fm (暗和光), 每个参数测定处于相似叶位和叶龄的叶片至少 3 片, 得出这些荧光参数的日变化曲线。

2.3 不同部位叶光合色素含量测定

参考 Arnon^[20]的方法。选取冠层阴生叶和阳生叶一定面积的叶片, 剪碎, 称鲜重, 用 5 ml 80% 丙酮于黑暗中提取至叶碎片成白色, 用 UV-3802 型分光光度计分别在 663、646 和 470 nm 处测定吸光度 (D) 值, 按下列公式计算叶绿素和类胡萝卜素的含量。

$$C_A = 12.21A_{663} - 2.81A_{646}$$

$$C_B = 20.13A_{646} - 5.03A_{663}$$

$$C_T = C_A + C_B$$

$$C_{XC} = (1000A_{470} - 3.27C_A - 104C_B) / 229$$

叶绿素含量 (mg g^{-1}) = (色素浓度 \times 提取液体积 \times 稀释倍数) / 样品鲜重。本文稀释倍数为 1。

上述测定均重复 4 次以上, 求其平均值。

3 结果

3.1 刺栲的光合状态

早上当刺栲的叶片还未照及阳光的时候, 让叶片在叶夹内暗适应 1 h 以上, 然后测定叶片的最大光化学效率 Fv/Fm (暗), 其值为 0.81 ± 0.03 。它表示所有 PSII 反应中心处于氧化态时的潜在的最大量子产量。它的降低, 表示 PSII 光化学效率下降。在非胁迫条件下 C_3 植物健康叶片的 Fv/Fm 均在 0.80–0.85^[21] 之间。光响应曲线中在低光强范围内 (图 1) Pn 随光强增加呈线性增加, 其斜率为表观量子效率 (AQY)。对 C_3 植物来说, 正常状态下 AQY 都会保持在一个稳定值, 它表征叶片吸收一个摩尔的光量

子固定的 CO_2 摩尔数, 实测的 AQY 在 0.053^[22] 左右。本实验测定的刺栲叶片 AQY 接近 0.04, 稍微偏低一些, 可能与测定时期该地区长期干旱有关。叶片的初始荧光 (F_0) 和最大荧光 (F_m) 分别为 0.46 ± 0.04 和 2.53 ± 0.05 。叶绿素含量测定显示 (表 1), 冠层阳生叶叶绿素总含量 (Chl a + Chl b) 为 0.56 mg g^{-1} , 其中 Chl a 为 0.40 mg g^{-1} , Chl b 为 0.16 mg g^{-1} ; 阴生叶为 1.77 mg g^{-1} , 其中 Chl a 和 Chl b 分别为 1.25 mg g^{-1} 和 0.52 mg g^{-1} 。冠层阳生叶和阴生叶的 Chl a/Chl b 比值分别为 2.45 和 2.41。另外, 类胡萝卜素 (Car) 的含量阴生叶和阳生叶分别为 0.37 mg g^{-1} 和 0.10 mg g^{-1} (表 1), 有较大的差别。这些数据表明: (1) 阴生叶显然比阳生叶含有更多的叶绿素 (chl a+b); (2) 特别是含有较多量的 Chl b, 可以吸收和利用更多的散射光和透射光; (3) 刺栲冠层阳生叶的 Chl a/b 值为 2.45, 阴生叶的为 2.41, 两者相差不大。这样的水平显然不是阴生种类的特点。通常, 阴生植物的 Chl a/b 值为 2.0–2.2 以下, 阳生植物在 2.6–3.6 之间^[23]。(3) 冠层阳生叶的 Car 并不比阴生叶高。

3.2 叶片光合作用特征

测定植物光合作用对光强变化的响应可以了解这种植物在它所处的生态环境中长期适应而形成的固有的特性^[24]。光强发生变化对植物的净光合速率产生直接影响时, 这种影响实际上表达了植物对环境适应的调节能力。图 1 为刺栲叶片在 CO_2 浓度分别为 $380 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 和 $1000 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 时, 不同光合有效辐射通量密度 (PPFD) 下的光合作用光响应曲线。在相当于大气 CO_2 浓度 ($380 \mu\text{mol mol}^{-1}$) 下, 刺栲的光合作用光饱和光强在 $400 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 左右 (图 1), 比初夏测定的 $500 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 低一些 (图 2); 光饱和点下的光合速率接近 $4 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 比初夏的 $6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 下降 30%。在饱和 CO_2 浓度下的光饱和和光合速率也不高, 在 $7 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 上下,

表 1 叶片的光合色素含量 (mg g^{-1})

Table 1 Photosynthetic pigment contents (mg g^{-1}) in leaves of *Castanopsis hystrix*

	叶绿素a Chl a	叶绿素b Chl b	Chl a + b	Chl a/b	胡萝卜素 Carotenoid
阳生叶 Sun leaves	0.39	0.16	0.56	2.45	0.10
阴生叶 Shade leaves	1.25	0.52	1.77	2.41	0.37

与初夏测量值相同(图2)。从这些结果可以看出, (1) 刺栲幼树单叶的光合能力偏低, 即使在温度较高的季节也如此; (2) 光饱和和光强在 $400 - 500 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$, 属于阳生植物的特性^[25]; (3) 饱和 CO_2 浓度下的光合速率主要取决于 Rubisco 的含量^[26], 可能 RuBP 不足, 抑制了光呼吸。秋季 (21°C) 在正常 CO_2 浓度下的 Pn 和饱和 CO_2 浓度下的 Pn 之间存在较大差别 (4 和 $6 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$), 而初夏 (5 月气温为 30°C) 测得的这两个 Pn 值之间却相差很小, 在 $6 - 7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之间 (图 1, 2; 5 月测定的饱和 CO_2 浓度下的 Pn 数据未显示)。不同季节测定的结果不同, 秋季两种 CO_2 浓度之间有较明显的差异, 可能是因为低温的影

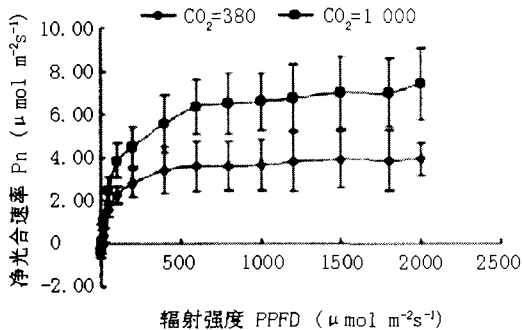


图1 不同 CO_2 浓度下刺栲叶片净光合速率对光强的响应曲线 (2005 年 11 月)

Fig. 1 The net photosynthetic rates (Pn) in leaves of *Castanopsis hystrix* at different CO_2 concentrations (November, 2005)

3.3 刺栲冠层对光能的利用特点

用光合测定仪给出一个固定光强 ($800 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$), 以测定刺栲阴生叶和冠层阳生叶的净光合速率, 以了解阴生叶利用光能的水平。阴生叶有两类叶片组成, 一类是当年新生的成熟叶, 另一类可能是过去一两年的老化叶。对一个个体来说阴生叶的总量大大超过冠层叶数。结果显示, 在给定的光强下, 冠层阳生叶和阴生叶的净光合速率分别为 $5.89 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 和 $1.50 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。冠层阳生叶的光合能力虽然是阴生叶的 3 倍多, 但阴生叶也具有一定的光合能力。

PSII 最大光化学效率 Fv/Fm (暗) 常用来表征植物是否处于胁迫状态^[28]。通过对 Fv/Fm (光) 日变化的测定可以检测到植物在它所处的环境 (特别是光环境) 下是否发生光抑制和发生光抑制的程度。

响; 而初夏差异很小很可能表明刺栲在较高的温度和光强下具有比较低的光呼吸。

从图 1 和 2 还可以看出, 刺栲幼树有低的光补偿点 ($\text{LCP} = 37.86 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$), 这个结果与同样用幼龄栲树 (*Castanopsis fargesii*) 所测的结果相似^[27], 也与四川灰木 (*Alnus cremastogyne*)、广东钓樟 (*Lindera kwangtungensis*) 等几种对弱光利用能力强的植物相似^[27]。同样, 刺栲幼树的 LSP (图 1、2) 和在其它环境下生长的幼龄栲树^[27], 以及一些较为耐荫的植物, 如四川灰木、广东钓樟、薄果猴欢喜 (*Sloanea leptocarpa*) 有相似的 LSP 值^[27]。虽然刺栲在群落中是上层树种, 但从这些结果来看, 刺栲幼树仍具有一些耐荫性的特征。

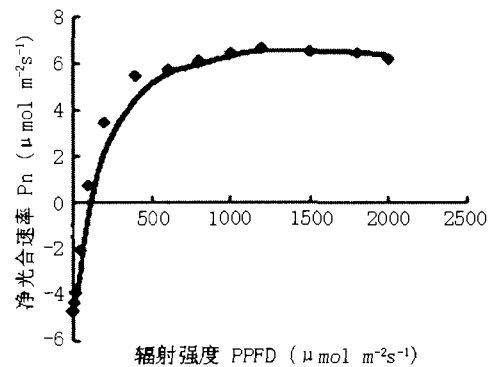


图2 CO_2 浓度为 $380 \mu\text{mol mol}^{-1}$ 下刺栲叶片净光合速率对光强的响应曲线 (2005 年 5 月)

Fig. 2 The net photosynthetic rates (Pn) in leaves of *Castanopsis hystrix* at limited CO_2 concentration ($380 \mu\text{mol mol}^{-1}$) (May, 2005)

实验从上午 10 点到下午 16 点, 对样地的刺栲冠层叶片的 Fv/Fm (光) 进行了测定 (图 3)。结果表明, 刺栲在中午最大光照 $1200 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 时 Fv/Fm 降到 0.69, 比 10 点时的 0.75 下降 8%, 说明刺栲受到一定的光抑制, 利用于光化学反应的激发能减少, 过剩的光能通过热或其它方式耗散, 导致刺栲叶片光合速率的下降。另外, 从图 4 可以看出, Fv/Fm 的降低主要是由于 Fm 的降低, 而不是 Fo 的升高。通常 Fo 上升表明光合器官可能受到伤害^[29]。虽然刺栲未受到伤害, 但 Fv/Fm 长时间仍不能恢复到正常值 (0.8) (见 5 月的数据), 说明可能由于 2005 年秋季很长一段时期的干旱导致刺栲下调了光合速率。

ETR 为 PS II 的非循环光合电子传递速率, 它反映了实际光强条件下的表观电子传递效率。ETR

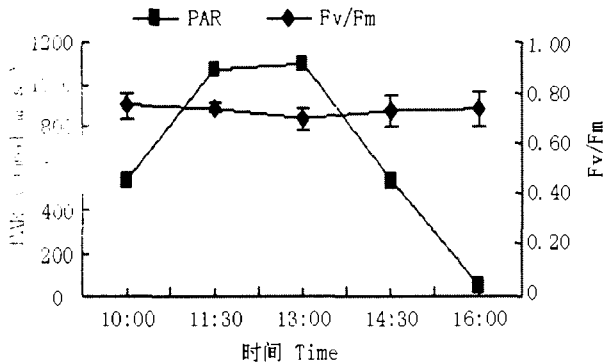


图 3 光合有效辐射 (PAR) 和刺栲叶片 Fv/Fm 的日变化
Fig. 3 Daily changes in photosynthetic active radiation (PAR) and Fv/Fm in leaves of *Castanopsis hystrix*

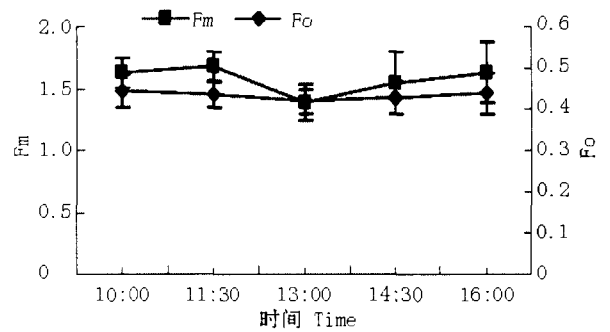


图 4 刺栲叶片的最大荧光(Fm)和初始荧光(Fo)的日变化
Fig. 4 Daily changes in maximum fluorescence (Fm) and initial fluorescence (Fo) in leaves of *Castanopsis hystrix*

刺栲幼树的实际光强的强弱密切相关, 且中午时上它和光合作用氧释放或 CO_2 固定之速率的日变化趋势是一致的^[30]。刺栲冠层叶片的 ETR 日变化呈单峰型(图 5), 中午当 PAR 提高时达最高, 中午时 PAR 为 $1\ 200\ \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 时刺栲幼树的光合作用未产生明显抑制作用, 这与图 3 的 Fv/Fm 的中午仅有轻微下降是一致的。

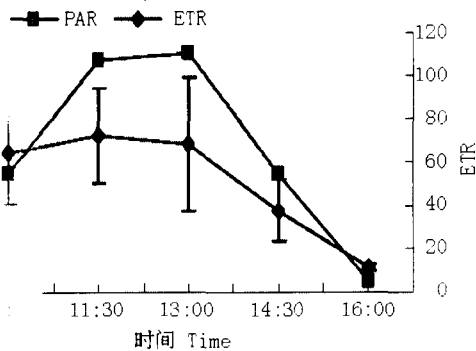


图 5 光合有效辐射 (PAR) 和刺栲叶片电子传递速率(ETR)的日变化
Fig. 5 Daily changes in photosynthetic active radiation (PAR) and photosynthetic electron transport rate (ETR) in leaves of *Castanopsis hystrix*

4 讨论

刺栲是南亚热带的常绿阔叶树种, 在群落中占据上层林冠, 具有典型的阳生特征。从本实验对幼年树的测定也表明这一点 ($\text{LSP} = 400 - 500\ \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$) (表 1, 图 1, 2)。但其中也有一些特点表现出具有中生性的性质, 如 chl a/b 比值偏小 (chl a/b=2.4), 光饱和和光合能力较低等。这

可能与刺栲幼树对林下的低光环境的驯化有关。常杰等^[31]研究了两种不同类型的常绿植物青冈 (*Quercus glauca*) 和石栎 (*Lithocarpus glaber*), 结果表明, 虽然青冈和石栎的光合速率接近, 但青冈作为耐荫种, 其紧密的树冠截取了大部分的阳光, 限制了群落中其它植物的生长, 成为群落中的优势种。而石栎主要利用较强的光, 其大而稀疏的树冠使大部分叶片截取了充分的光照, 从而具有较高的单位叶面积光合速率, 以保持与青冈相似的生长速率。Chang 等^[32]将这种以叶面积比率高为特点的生长策略称为“F 策略”, 而将以单位叶面积光合速率为特点的生长策略, 称为“E 策略”。刺栲也具有茂密的林冠, 对弱光具有一定的利用能力, 因此我们认为刺栲与青冈相似, 具有“F 生长策略”。

从本实验的结果还可以看出刺栲在对光能利用上的一些特点: (1) 常绿树种所具有的特点是, 整株树几乎所有的叶片都可能对光能的吸收作出贡献 (阴生叶 chl a+b = $1.77\ \text{mg g}^{-1}$), 而且也正是为了长期维持这样庞大数量的叶片, 它必须采取低消耗高效率的光合策略: 低的光合速率—节约水分和迅速调节的能力—利用低光与散射光。(2) 刺栲中午未出现明显的光抑制(Fv/Fm 值仅下降 8%), 说明刺栲对强光有一定的耐性, 是其为阳生树种的一种反映。(3) 刺栲大量的阴生叶的光合能力为阳生叶的约 1/4 (表 2)。常杰等^[31]对青冈叶片光合日进程的研究表明, 其阴生叶的光合速率为阳生叶的 1/4-1/5, 仍具有一定的对弱光的利用能力。本研究结果与这一研究相似, 说明常绿的刺栲幼树对弱光的利用能力。因为, 大量的阴生叶片能够保持一定的光合能力

对维持植物的正常生长起着重要的作用。(4) 刺栲的光合作用能力(最大光合速率 $P_n=6.7 \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$)较落叶树种(如鹅掌楸 *Liriodendron chinense*, 台湾栎木 *Alnus formosana*, 栓皮栎 *Quercus variabilis*)^[3]低,这是常绿植物共同的特点,因为落叶树种的光合器官的寿命是有限的,它们要在比较短的时间内最大限度地完成对能量的摄取,因此提高单位时间下的光合能力是它们的主要选择之一^[9],而且刺栲的光饱和光强也比较低, LSP 在 $400\text{--}500 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 。当面对经常高于 $400 \mu\text{mol photons m}^{-2}\text{s}^{-1}$ 的光胁迫和强光与其他环境压力相结合的胁迫下时,刺栲是如何处理可能出现的过量光? 根据本文的初步结果,刺栲的光反应中心和天线的非光化学耗散机制并不是很强(NPQ为0.82)。因此,很可能在林下生长的幼年刺栲耗散过剩光的能力还不很强是由于生境的限制,随着以后的生长发育,它的光保护机制是否会发生适应性变化,还有待进一步的研究。

参考文献

- [1] Ke S X(柯世省), Jin Z X(金则新), Lin H Q(林恒琴), et al. Photosynthetic ecophysiological characteristics of *Lithocarpus harlandii* in Tiantai Mountain of Zhejiang Province, China [J]. Chin J Ecol(生态学杂志), 2004, 23(3):1-5.(in Chinese)
- [2] 朱积余. 广西红锥适宜生态条件区划 [J]. 广西林业科技, 1990, (3):18-24.
- [3] 蒋葵, 朱积余. 广西红锥初选优树子代苗期变异性和相关性研究 [J]. 广西林业科学, 2003, 22(4):169-174, 196.
- [4] Xu C J(许春锦). A test study on growing seedlings for *Castanopsis hystrix* by cutting roots [J]. J Southwest For Coll(西南林学院学报), 2001, 21(3):138-141.(in Chinese)
- [5] 潘坚. 红锥的繁育与栽培 [J]. 林业实用技术, 2003, (2):29-30.
- [6] 吴振基. 红锥育苗技术 [J]. 广东林业科技, 2003, 19(3):66-67.
- [7] Tan S M(谭绍满), Ding H(丁海), Luo R S(罗人深), et al. The evaluation and analysis of *Pinus massoniana* and *Castanopsis hystrix* mixed forest [J]. Acta Phytoecol Sin(植物生态学报), 1997, 21(6):571-578.(in Chinese)
- [8] 梁建平. 马尾松, 红锥混交林营养元素循环的研究初报 [J]. 广西林业科技, 1990, (4):12-17.
- [9] Yang M J(杨茂精), Huang J G(黄镜光), Huang S G(黄色贵), et al. Microclimatic characteristics in the sparse stand of *Pinus massoniana* mixed with *Castanopsis hystrix* [J]. For Res(林业科学研究), 1998, 11(5):560-563.(in Chinese)
- [10] Huang Q N(黄全能), Chen D H(陈东华), Dai Q L(代全林), et al. Studies on soil physical and chemical properties and on the water conservation function of *Castanopsis hystrix* natural forest [J]. J Fujian For Sci Techn(福建林业科技), 2001, 28(2):17-19, 28.(in Chinese)
- [11] Huang Q N(黄全能). Investigation on the growth law and biomass of *Castanopsis hystrix* natural forest [J]. J Fujian For Sci Techn(福建林业科技), 1998, 25(2):20-23.(in Chinese)
- [12] Huang Q N(黄全能), Chen C J(陈存及), Qiu E F(邱尔芬), et al. The community characteristics of natural forests of *Castanopsis hystrix* [J]. Subtrop Plant Res Commun(亚热带植物通讯), 1998, 27(2):7-11.(in Chinese)
- [13] Hong W(洪伟), Liu J(柳江), Wu C Z(吴承祯). A study on structure and spatial distribution pattern of *Castanopsis hystrix* population [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 2001, 37:6-10.(in Chinese)
- [14] Li J(李静), Cao H L(曹洪麟), Lian J Y(练璐菡), et al. Study on classification and geographical distribution of *Castanopsis hystrix* forest in China [J]. Guihaia(广西植物), 2006, 26(1):22-27.(in Chinese)
- [15] Chen Y L(陈应龙), Gong M Q(弓明钦), Chen Y(陈羽), et al. Effects of inoculation with 11 ectomycorrhizal fungal isolates on growth and photosynthesis of *Castanopsis hystrix* saplings [J]. For Res(林业科学研究), 2001, 14(5):515-522.(in Chinese)
- [16] Lian J Y(练璐菡), Cao H L(曹洪麟), Wang Z G(王志高), et al. The community characteristics for invading damage of the forest killer—*Merremia boissiana* [J]. Guihaia(广西植物), (accepted) (in Chinese)
- [17] Johns P, Krause G H. Xanthophyll cycle and energy-dependent fluorescence quenching in leaves from pea plant grown under intermittent light [J]. Planta, 1994, 192:176-182.
- [18] Genty B, Briantais J M, Baker N R. The relationship between the quantum yield of photosynthetic electron transport and quenching of chlorophyll fluorescence [J]. Biochim Biophys Acta, 1989, 990:87-92.
- [19] Zhang S R(张守仁). A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance [J]. Chin Bull Bot(植物学通报), 1999, 16(4):444-448.(in Chinese)
- [20] Arnon D I. Copper enzymes in isolated chloroplasts. Polyphenol oxidase in *Beta vulgaris* [J]. Plant Physiol, 1949, 24:1-15.
- [21] Schreiber U, Bilger W. Rapid assessment of stress effects on plant leaves by chlorophyll fluorescence measurements [A]. In: Tenhunen J D, Catarino F M, Lange O L, et al. Plant Response to Stress [C]. Berlin: Springer-Verlag, 1987. 27-53.
- [22] Ehleringer J, Pearcy R W. Variation in quantum yield for CO₂ uptake among C₃ and C₄ plants [J]. Plant Physiol, 1983, 73:555-559.
- [23] Lin Z F(林植芳), Lin G Z(林桂珠), Kong G H(孔国辉), et al. Effect of irradiance and winter temperature on physiological properties of leaves of three subtropical trees [J]. J Trop Subtrop Bot(热带亚热带植物学报), 1994, 2(3):54-61.(in Chinese)
- [24] Sun G C(孙谷畴), Zhao P(赵平), Zeng X P(曾小平), et al. Changes of leaf photosynthetic parameters in leaves of *Woonyoungia septentrionalis* and *Tsoongiodendron lotungensis*

- under different growth-irradiation [J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), 2002, 26(3):355-362.(in Chinese)
- [25] 王宝山. 植物生理学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003. 93.
- [26] Makino A, Nakano H, Mae T. Responses of Rubisco, Cyf₂ and sucrose enzymes in rice leaves to leaf nitrogen and their relationship to photosynthesis [J]. *Plant Physiol*, 1994, 105:173-179.
- [27] Zhou L(周莉), Zhong Z C(钟章成). A study on the photosynthetic ecophysiology of young *Castanopsis fargesii* in the evergreen broad-leaved forest of Jinyun Mountain [J]. *J Southwest China Norm Univ (Nat Sci)*(西南师范大学学报 自然科学版), 1994, 19(2):187-193.(in Chinese)
- [28] Xu D Q(许大全), Zhang Y Z(张玉忠), Zhang R X(张荣铎). Photoinhibition of photosynthesis in plants [J]. *Plant Physiol Commun*(植物生理学通讯), 1992, 28:237-243.(in Chinese)
- [29] Thomas D S, Turner D W. Banana (*Musa* sp.) leaf gas exchange and chlorophyll fluorescence in response to soil drought, shading and lamina folding [J]. *Sci Hort*, 2001, 90(1-2): 93-108.
- [30] Shreiber U. Pulse-amplitude-modulation (PAM) fluorometry and saturation pulse method: an overview [A]. In: Papageorgiou G C, Govindjee. *Chlorophyll a Fluorescence: A Signature of Photosynthesis* [C]. Dordrecht: Springer, 2004. 279-319.
- [31] Chang J(常杰), Ge Y(葛滢), Chen Z H(陈增鸿), et al. Characteristics of the leaf net photosynthesis of the evergreen broad-leaved forest dominated by *Quercus glauca* and their significance in coenology [J]. *Acta Phytoecol Sin*(植物生态学报), 1999, 23(5):393-400.(in Chinese)
- [32] Chang J, Chen Q C, Ge Y. A study on the growth strategies of dominant species *Cyclobalanopsis glauca* and sub-dominant species *Lithocarpus glaber* in the subtropical forest in Zhejiang, Southeast China [A]. In: Jiang H. *Vegetation - Structure, Function and Dynamics* [C]. Beijing: Science Press, 1992. 59-67.
- [33] Guo Z H(郭志华), Zhang H D(张宏达), Li Z A(李志安), et al. The photosynthetic characteristics in leaves of *Liriodendron chinense* seedlings in MT Lushan [J]. *Acta Ecol Sin*(生态学报), 1999, 19(2):164-169.(in Chinese)
- [34] Guo Q R(郭起荣), Yu Z X(余志雄), Shi J M(施建敏). A physio-ecological study on photosynthesis of *Sinomanglietia glauca* and two species in *Manglietia* Bl. [J]. *Acta Agri Univ Jiangxi*(江西农业大学学报), 2003, 25(5):645-651.(in Chinese)

《中国长白山观赏植物彩色图志》介绍

《中国长白山观赏植物彩色图志》(100万字, 550页, ISBN 7-5383-4301-6/Q.2)为吉林省通化师范学院周繇、朱俊义和于俊林教授编著, 由吉林教育出版社出版。本书收录了长白山区的观赏植物 104 科 332 属 609 种 42 变种 9 变型。根据植物的园林用途将这些植物分为园景树类、行道树类、庭阴树类、垂直绿化类、绿篱类、花坛类、花境类、地被类、水景类、岩生类等, 并系统翔实介绍了每一种植物的中名、拉丁名、别名、形态特征、生境、分布、园林用途、繁殖方法及主要经济价值等。该书所收录的 1248 张的植物照片, 绝大部分都是作者及摄影人员在野外拍摄的, 且每张照片都有很强的科学性和观赏性。该书对于长白山区植物的研究和长白山区野生观赏植物的开发利用均有重要的参考价值, 同时可作为植物学工作者、农林院校学生及植物爱好者鉴定植物的参考用书。(夏念和)