

杜仲光合特性的研究*

郭连旺 沈允钢

武海

中国科学院上海植物生理研究所, 上海 200032

中国科学院西北高原生物研究所, 西宁 810001

李悦丰 向言词 徐东翔

湖南武陵高等专科学校, 张家界 416600

Q94.9.751.5

摘要 杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliv.)叶片的光饱和光合速率为 $6\sim 10 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 表观光合量子需要量最低约为 17。光合作用的 CO_2 补偿点略大于 $100 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$, 属 C_3 型光合作用类型。其光合日变化有明显的中午降低现象, 降低的原因除气孔限制外可能还有光抑制等其它因素。光合作用进行时光合产物只有约 14% 输出叶片。

关键词 杜仲; 光合作用; 日变化; 光合产物输出

STUDY ON THE PHOTOSYNTHETIC CHARACTERISTICS OF
EUCOMMIA ULMOIDES LEAVES

Guo Lian-wang and Shen Yun-gang

Shanghai Institute of Plant Physiology, Academia Sinica, Shanghai 200032

Wu Hai

Northwest Institute of Biology, Academia Sinica, Xining 810001

Li Yue-feng, Xiang Yan-ci and Xu Dong-xiang

Wuling Higher Professional College, Hunan Zhangjiajie 416600

Abstract A field study on the photosynthetic characteristics in *Eucommia ulmoides* Oliv. was conducted using a LI-6200 Portable Photosynthesis Analysis System as a measuring device and the modified half-leaf method. It was revealed that the light-saturating photosynthetic rate measured in leaves was in a range of $6\sim 10 \mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, and the lowest apparent quantum requirement was about 17. The CO_2 compensation concentration of photosynthesis was a little more than $100 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$, indicating that *E. ulmoides* was a C_3 type plant. Besides stomatal limitation, photoinhibition of photosynthesis was a possible cause of the midday depression in photosynthetic rate. Only about 14 percent of the photosynthetic product was transported from the leaves during photosynthesis.

Key words *Eucommia ulmoides*; Photosynthesis; Diurnal variation; Transportation of photosynthetic product

杜仲是第三纪孑遗珍贵树种, 为我国特产, 属国家二级保护植物。杜仲皮是我国传统出口的中药材, 杜仲的叶、木材和种子均可利用, 因此是重要经济林木, 其应用范围广阔, 大有发展前途^[1]。湖南武陵山区是我国杜仲的中心栽培区, 至今还残存山野原生杜仲^[2]。

收稿日期: 1994-11-04 接受日期: 1994-12-27

* 国家自然科学基金重点资助项目。

了解该地区杜仲的光合特性是很有意义的,但至今尚未见有人测定过。为此,我们对这问题进行了研究。

1 材料和方法

实验材料为栽培于张家界市武陵高等专科学校校园内的杜仲(*Eucommia ulmoides* Oliv.),选取上部枝条上已完全伸展的第五或第六向阳叶片用于光合作用测定。

在田间用美国 LI-Cor 公司生产的 LI-6200 便携式光合测定系统测定叶片的光合速率(Pn, $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)及气孔导度(Gs, $\text{mol H}_2\text{O} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、光量子通量密度(PFD, $\mu\text{mol photons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、气温(Ta, C)和相对空气湿度(RH, %)等指标,胞间 CO_2 浓度(Ci , $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1}$)由测得的光合速率和气孔导度算出。测得的气温和空气湿度用日本产 YH-12 型温湿度计校正。用纱布为叶室遮光,测得从高到低一系列光强下叶片的光合速率,对光响应曲线直线部分的数据进行直线回归求得表观量子效率(AQY, $\text{mol CO}_2 \cdot \text{mol}^{-1} \text{ photons}$),方法参考 Long 和 Hallgren^[3]。

关闭叶室后,利用光合仪的碱石灰管吸收闭合气路内的部分 CO_2 ,以造成若干 CO_2 浓度梯度,测得各浓度下叶片的光合速率,对低浓度下的点进行直线回归求得羧化效率(CE),方法参考 Davis 等^[4]。

用改良半叶法测定叶片光合速率及光合产物输出情况^[5],分环割与不环割叶柄两种情况。在叶柄基部环割 5 mm 左右,并用开水烫环割处,以阻止光合产物外运。

2 结果和讨论

2.1 光合作用的光响应

在早晨测定杜仲叶片的光合作用,其饱和光强在 $1000 \mu\text{mol photons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,中午则降至 $1000 \mu\text{mol photons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下(图 1)。叶片光补偿点在 $20 \mu\text{mol photons} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以下(图 5)。光合作用 AQY 在早晨 9 时左右测得为 0.0586(图 5),即表观量

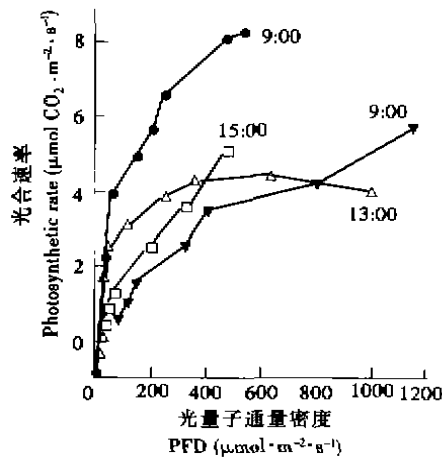


图 1 杜仲叶片光合作用的光响应
Fig. 1 Light response of photosynthesis in *Eucommia ulmoides* leaves
■, ▲. Measured on Aug. 28, 1994;
□, △. Measured on Aug. 27, 1994

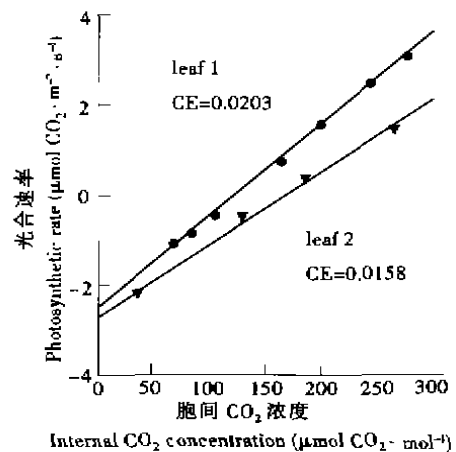


图 2 杜仲叶片光合作用的 CO_2 响应
Fig. 2 CO_2 response of photosynthesis in *Eucommia ulmoides* leaves
CE. Carboxylation efficiency

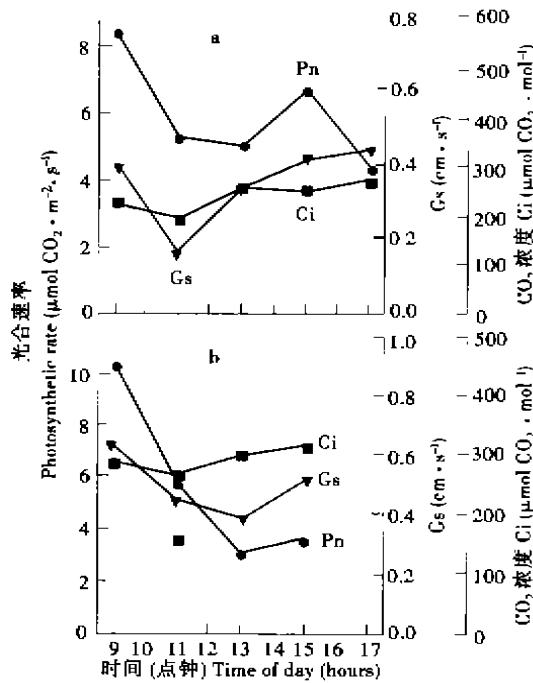


图3 杜仲叶片光合速率、气孔导度和CO₂浓度的日变化
Fig. 3 Diurnal variations of photosynthetic rate (Pn), stomatal conductance (Gs) and internal CO₂ concentration (Ci) in *Eucommia ulmoides* leaves
a. Measured on Aug. 27, 1994; b. Measured on Aug. 28, 1994. Each point was a mean for 5~6 leaves

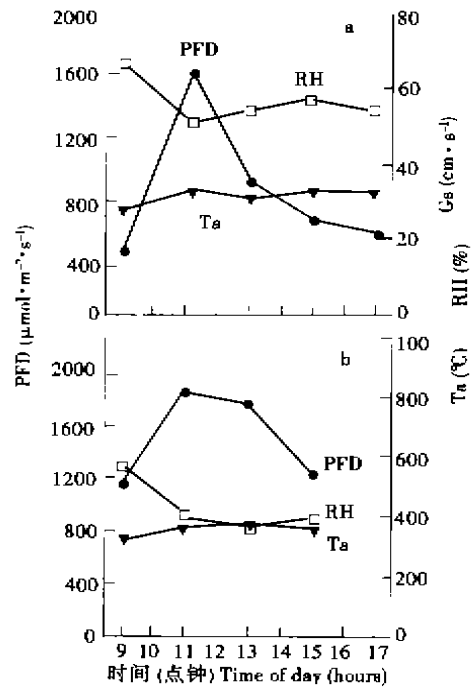


图4 光子通量密度、气温和空气湿度的日变化
Fig. 4 Diurnal variation of photon flux density (PFD), air temperature (Ta) and relative air humidity (RH)
a. Measured on Aug. 27, 1994; b. Measured on Aug. 28, 1994

子需要量约为17。这说明在早晨杜仲向阳叶片光合机构在弱光下的光能转化效率处于正常状态。测定大量叶片在强光下的Pn为6~10 μmol CO₂ · m⁻² · s⁻¹,同时测定的杜仲林边红薯叶片的Pn为(23.3 ± 2.4) μmol CO₂ · m⁻² · s⁻¹,说明杜仲叶片光饱和的Pn与一般树木类似,低于红薯等草本的C₃植物。

2.2 光合作用的CO₂响应

按叶片光合作用的CO₂响应数据绘图,可以得出杜仲叶片的羧化效率为0.02左右,CO₂补偿点在100以上(图2)。这些结果与测定珊瑚树的情况相仿^[6],说明杜仲属C₃类型,但所测得的羧化效率较前者低些,CO₂补偿点略高。这些差别是因为它们的特性有些不同还是与测定方法有关(前者用ADC开放式光合仪测定,后者用LI-Cor光合仪的密闭系统测定),有待作深入的了解。

2.3 光合作用的日变化

杜仲叶片的Pn在晴天中午有明显的降低。图3是在一个晴转多云天气和一个晴天测得的杜仲叶片Pn的日变化,从图中可以看出,两天结果类似,不过晴天更显著一些。在早晨9时左右最高,近中午11时Pn迅速下降,从图4中可以看出,这一天的光强很高,达

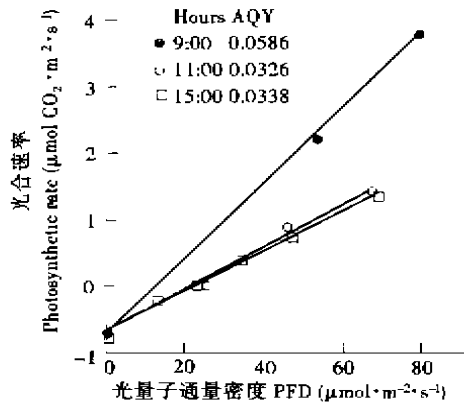


图5 强太阳光下杜仲叶片表观量子效率的变化(8月27日)

Fig. 5 Variation of apparent quantum yield (AQY) in a *Eucommia* leaf in strong sunlight (Aug. 27)

结果均与过去我们测定的毛竹的光合特性类似^[11]。

2.4 光合作用进行时光合产物的输出情况

我们用改良的半叶法测 Pn, 分环割和不环割的两组叶片进行对比, 以便观察光合产物的输出情况。环割的叶片光合产物不能输出, 全部留在叶片内, 在 2 h 光合作用以后, 其干重增加了 $0.51 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$, 换算其 Pn 为 $10.2 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 而不环割叶片干重增加 $0.44 \text{ mg} \cdot \text{cm}^{-2}$, Pn 为 $8.8 \text{ mg} \cdot \text{dm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$, 说明在进行光合作用的 5 h 期间, 只有约 14% 的光合产物输出叶片, 这与我们测得的一些树木的情况类似^[5]。在一般植物中, 这时叶中积累的光合产物为淀粉, 但因杜仲叶片含有杜仲胶等, 问题较复杂, 值得深究。

参 考 文 献

- 1 张康健主编. 中国杜仲研究. 西安: 陕西科学技术出版社, 1992.
- 2 张维涛, 刘湘民, 沈绍华等. 中国杜仲区划初探. 武陵生物研究, 1994, 2(1): 20~25
- 3 Long S P, Hallgren J E. Measurement for CO₂ assimilation by plants in the field and in the laboratory. In: Hall D O, Scurlock J M O, Bohar-Nordenkamp H R *et al.* eds., *Photosynthesis and Production in a Changing Environment A Field and Laboratory Manual*. London: Chapman and Hall, 1993. 129~154
- 4 Devis J E, Arkebauer T J, Norman J M *et al.* Rapid measurement of the assimilation rate versus internal CO₂ concentration relationship in green ash (*Fraxinus pennsylvanica* Marsh.). The influence of light intensity. *Tree Physiol.* 1987, 3: 387~398
- 5 沈允钢, 李德耀, 魏家绵等. 改进干重法测定光合作用的应用研究. 植物生理学通讯, 1980, (2): 37~41
- 6 许大全, 徐宝基, 李德耀. 冰冻对珊瑚树叶片光合效率的影响. 植物生理学报, 1988, 14: 199~202
- 7 Farquar G D, Sharkey T D. Stomatal conductance and photosynthesis. *Ann Rev Plant Physiol.* 1982, 33: 317~345
- 8 Demmig-Adams B, Adams W W, Winter K *et al.* Photochemical efficiency of photosystem II, photon yield of O₂ evolution, photosynthetic capacity, and carotenoid composition during the midday depression of net CO₂ uptake in *Arbutus unedo* growing in Portugal. *Planta.* 1989, 177: 377~387
- 9 Beyschlag W, Pfanz H, Ryel R J. Stomatal patchiness in mediterranean evergreen sclerophylls: Phenomenology and consequences for the interpretation of the midday depression in photosynthesis and transpiration. *Planta.* 1992, 187: 546~553
- 10 Long S P, Humphries S, Falkowski P G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. *Ann Rev Plant Physiol Plant Mol Biol.* 1994, 45: 633~662
- 11 Shen Y K, Qiu G X, Xu D Q *et al.* Studies on the photosynthesis of bamboo. In: Long S P *et al.* eds., *Primary Productivity of Grass Ecosystems of the Tropics and Subtropics*. London: Chapman and Hall, 1992. 485~490

到 $1600 \mu\text{mol photos} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上, 气温也很高, 空气湿度降低, 因而引起气孔部分关闭, Gs 和 Ci 都显著降低(图 3)。按 Farquar 和 Sharkey^[7] 的推论, Gs 和 Ci 同时下降说明这时的 Pn 下降主要是因气孔关闭造成的。到下午 13 时 Pn 降到最低点, Gs 和 Ci 却略有回升(8 月 28 日与 27 日有些不同, 13 时 Gs 继续下降, 可能因这一天是晴天, 温度较高), 如叶片各部分不存在气孔不均匀关闭, 则仅用气孔关闭已不能解释 Pn 的下降^[8,9], 可能还有其它原因。如从 8 月 27 日弱光下 AQY 变化来看(图 5), 9 时以后光合 AQY 显著下降, 说明已有光抑制发生^[10], 这可能和强光下 Pn 降低有关。这些