

珍稀濒危蕨类植物原始观音座莲的光合生理生态特性研究

张光飞¹, 翟书华², 苏文华¹ (1. 云南大学生态学与地植物学研究所, 云南昆明 650091; 2. 昆明学院生物系, 云南昆明 650031)

摘要 利用 CO₂ 光合测定仪分析了引种栽培的原始观音座莲叶片的光合补偿点和饱和光强, 通过控制叶室的光合有效辐射、CO₂ 浓度、温度和相对湿度, 分析了叶片的羧化效率和 CO₂ 补偿点, 并进行光合有效辐射、温度和相对湿度对光合速率的影响研究。结果表明, 原始观音座莲叶片的光合补偿点为 5.3 μmol/(m²·s), 饱和光强为 500 μmol/(m²·s), 有明显的光抑制现象; 叶片的羧化效率为 0.009 2, CO₂ 补偿点为 51.8 μmol/mol; 光合速率在叶温 10~20 °C 内随温度升高上升, 20~35 °C 随温度升高下降, 最适温度为 16~31 °C; 相对湿度 20%~80% 内, 叶片光合速率随湿度增加而增大, 最适相对湿度条件在 80% 以上。

关键词 原始观音座莲; 光合特性; 光; 温度; 湿度; CO₂ 浓度

中图分类号 O 945.79 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)30-14682-02

Study on the Photosynthetic and Ecophysiological Characteristics of Endangered Pteridophytes *Archangiopteris henryi*

ZHANG Guang-fei et al (Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming, Yunnan 650091)

Abstract With CO₂ photosynthetic analyzer, light compensation point and saturation light intensity for the pteridophyte *Archangiopteris henryi* grown in greenhouse were studied. By controlling light intensity, CO₂ concentration, temperature and humidity in the leaf chamber, carboxylation efficiency and CO₂ compensation point were analyzed and laboratory studies were conducted to investigate the relations between photosynthetic rate and light intensity, temperature and humidity. The results showed that the compensation irradiance was 5.3 μmol/(m²·s). Saturation light intensity was about 500 μmol/(m²·s). *Archangiopteris henryi* with obvious phenomenon of photoinhibition. Carboxylation efficiency of leaves was about 0.009 2 and CO₂ compensation point was 51.8 μmol/mol. The photosynthetic rate was at the leaf temperature 10~20 °C, raised with the temperature increased, when 20~35 °C, reduced with the temperature decreased, the optimal temperature was from 16 to 31 °C. When humidity went up from 20% to 80%, the rate of net photosynthesis increased. The optimum condition for the relative humidity was above 80%.

Key words *Archangiopteris henryi*; Photosynthesis; Light; Temperature; Humidity; CO₂ concentration

原始观音座莲(*Archangiopteris henryi* Christ et Gies.) 属观音座莲科(Angiopteridaceae)原始观音座莲属(*Archangiopteris* Christ et Gies.) 草本蕨类植物, 为中国(云南)特产的蕨类植物, 仅分布于云南东南部的马关、屏边和金平三县境内。其通常生长在海拔 900~1 600 m 的山坡下部沟谷边缘的节性雨林下, 喜温暖阴湿的森林环境, 可作为反应热带森林植被的指示植物, 是研究生物进化和植物系统发育理论的重要材料。它的存在是地球历史变迁的见证, 也是植物由低等向高等发展的一环^[1], 数量稀少。在 1999 年国务院正式公布的“国家重点保护野生植物名录(第一批)”中列为国家二级保护植物^[2]。

光合作用是植物重要的生理过程, 探讨光合特性及环境因子对植物影响有着极其重要的意义, 目前国内外有关蕨类植物光合作用的研究报道较少^[3-7]。为此, 笔者对原始观音座莲光合生理特性进行研究, 旨在分析其光合作用适宜的生态环境, 探讨光合作用对环境因子的需求规律, 寻求影响其光合作用的限制因子, 为进一步揭示种群濒危机理以及合理保护途径提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料 为取自云南大学生态学与地植物学研究所温室的 5 盆盆栽原始观音座莲, 引自云南屏边大围山。每个测定项目选定其中的 3 盆, 每盆各选 2 片成熟展开的叶片, 每片叶片重复 3 次。测定的前 1 d 下午充分浇水, 保持土壤水分充足。

光合速率及叶片温度、湿度、大气 CO₂ 浓度等用美国生

产的 LiCor-6400 型便携式光合系统进行测定。测定时的叶温、光强及 CO₂ 浓度等均由该仪器自控系统控制。以一容积约 25 L, 壁上有 3 个面积为 0.785 4 cm² 的小孔的塑料容器缓冲仪器吸入空气, 减弱进入叶室空气中 CO₂ 浓度的波动。

1.2 测定方法

1.2.1 光合曲线及光补偿点和饱和点的测定。 9:00~11:00, 采用 LiCor-6400 光合测定仪加红蓝人工光源, 启动光合曲线自动测定程序。每日 3 盆, 各测 1 次, 连续 3 d, 根据光合曲线确定光合补偿点和饱和光强。

1.2.2 光合速率对温度变化响应的测定。 将待测的盆栽原始观音座莲移入预先调至试验温度的人工气候箱(德国 KB-WF720)内适应 1 h。之后, 将光合测定仪叶室温度调至试验温度, 并将空气湿度和大气 CO₂ 浓度保持在较小的变动范围内。试验在 9:00~11:00 进行, 第 1 天试验自 20 °C 开始, 逐渐升温。第 2 天试验自 20 °C 开始, 逐渐降温。叶片在叶室内适应 5 min 后, 每 3 s 测定 1 次光合速率, 测 20 个数据。降温 and 升温试验交替各作 3 d, 每盆共 2 片叶片, 共 6 次。

1.2.3 光合速率对空气湿度响应的测定。 将待测的盆栽原始观音座莲移入处于试验湿度的人工气候箱内预处理 1 h。通过调节光合测定仪的水分吸收管气体通过量, 在叶室形成试验空气湿度, 每次测定由低湿度至高湿度依次进行。测定的方式和叶片次数与“1.2.2”相同。

1.2.4 CO₂ 补偿点和饱和点的测定。 将叶室关闭后, 利用光合测定仪的碱石灰管吸收入气路内空气中的 CO₂, 使用光合测定仪的 CO₂ 供应器及浓缩 CO₂ 气瓶, 造成一系列 CO₂ 浓度梯度, 测定各浓度下的光合速率和胞间 CO₂ 浓度。以 CO₂ 浓度低于 150 μmol/(m²·s) 的 CO₂ 交换速率进行直线回归, 求得羧化效率和 CO₂ 补偿点。

1.3 数据处理 用 Excel 和 SPSS 软件进行数据处理和

基金项目 国家自然科学基金(30760043); 教育部高等理工工教育教学改革与实践项目(239)。

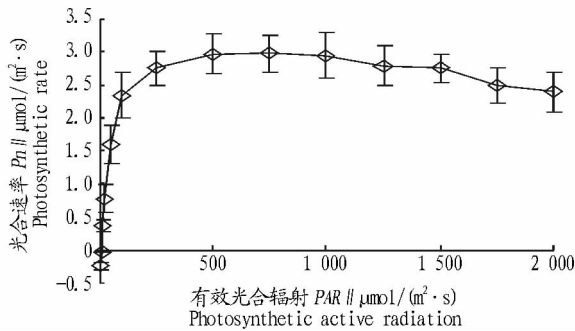
作者简介 张光飞(1966-), 男, 云南宣威人, 讲师, 从事蕨类学与生理生态学的教学与研究。

收稿日期 2009-06-25

绘图。

2 结果与分析

2.1 光合速率对光照强度变化的响应 光合作用是植物生长的重要决定因素,植物叶片对环境的光合响应提供了植物对不断变化的环境条件适应能力的信息^[8]。原始观音座莲叶片光合速率对光照强度变化的响应曲线见图1。根据光响应曲线推测,原始观音座莲叶片光合作用的光补偿点为 $5.3 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,大小与二回原始观音座莲蕨(*Archangiopteris bipinnata*)^[3]和扇蕨(*Neocheiropteris palmatopedata*)^[5]接近,光补偿点与阴生植物相当^[9-10]。100 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 光照强度以内,随着光强增加光合速率迅速直线升高。光照强度在100~500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,随着光强增加光合速率也在增加,但速度明显减缓,至500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时光合速率达到最大值。光照强度在500~2 000 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 时,随着光强增加光合速率减小。这说明原始观音座莲有强光抑制现象,其饱和光强约为500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$,略高于典型的阴生草本植物,明显低于典型的阳生草本植物^[10]。



注:试验条件:叶室温度(20.0 ± 0.5) °C,空气相对湿度60% ± 5%,大气CO₂浓度(400 ± 5) $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

Note: Test conditions: Leaf chamber temperature (20.0 ± 0.5) °C, relative humidity 60% ± 5%, atmospheric CO₂ concentration (400 ± 5) $\mu\text{mol}/\text{mol}$.

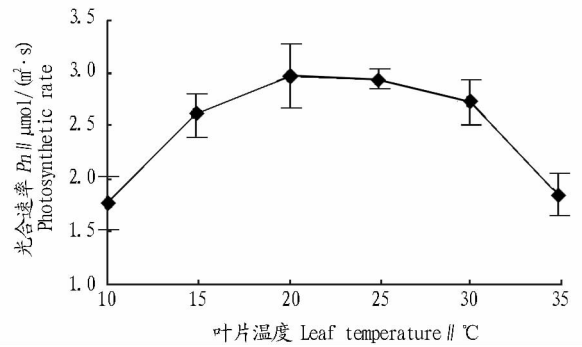
图1 原始观音座莲光合速率的光响应曲线

Fig. 1 Light response of net photosynthetic rate (Pn) in *Archangiopteris henryi* Christ et Gies.

2.2 温度变化对光合速率的影响 按 Larcher 净光合作用最适温度的概念^[10],原始观音座莲净光合速率的最适温度为16~31 °C,最大值约为2.97 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ (图2)。原始观音座莲光合作用的最适温度比阴生植物略高,接近于阳生植物,但范围比阳生植物更广。其最适温度范围比二回原始观音座莲^[3]的广,后者的分布区范围及海拔幅度都比原始观音座莲的窄。

2.3 空气湿度对光合速率的影响 从图3可以看出,在20%~80%空气相对湿度内,原始观音座莲的光合速率随着相对湿度的增加而升高。500 $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 有效光合辐射和20 °C的温度条件下,80%的空气相对湿度时扇蕨的光合速率比20%空气相对湿度的增加了90%。尽管80%以上空气相对湿度超过光合测定仪工作的条件范围,光合速率未能进行测定,但试验结果也能充分表明原始观音座莲最适于空气相对湿度较高的环境。

2.4 光合速率胞间对CO₂浓度变化的响应 根据低CO₂

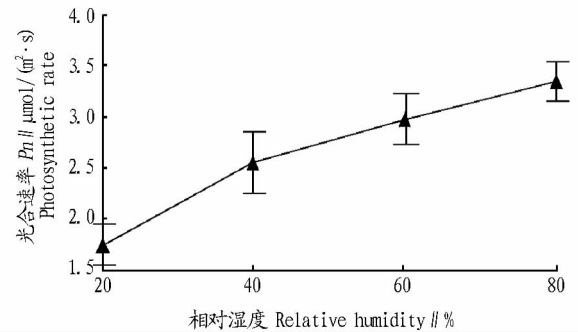


注:试验条件:空气相对湿度60% ± 5%,大气CO₂浓度(400 ± 5) $\mu\text{mol}/\text{mol}$,有效光合辐射(500 ± 2) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

Note: Test conditions: Relative air humidity 60% ± 5%, atmospheric CO₂ concentration (400 ± 5) $\mu\text{mol}/\text{mol}$, and PAR (500 ± 2) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$.

图2 温度对原始观音座莲光合速率的影响

Fig. 2 Influence of different temperatures on photosynthetic rate (Pn) of *Archangiopteris henryi*



注:叶室温度(20.0 ± 0.5) °C,大气CO₂浓度(395 ± 5) $\mu\text{mol}/\text{mol}$,有效光合辐射(500 ± 2) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

Note: Leaf chamber temperature (20.0 ± 0.5) °C, atmospheric CO₂ concentration (395 ± 5) $\mu\text{mol}/\text{mol}$ and PAR (500 ± 2) $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$.

图3 空气湿度对原始观音座莲光合速率的影响

Fig. 3 Influence of different relative humidity on photosynthetic rate of *Archangiopteris henryi*

浓度下叶片光合速率的CO₂响应数据(图4),通过计算,原始观音座莲的羧化效率为0.009 2,低于二回原始观音座莲^[3]和扇蕨^[5],CO₂补偿点为51.8 $\mu\text{mol}/\text{mol}$,与典型的C₃植物的CO₂补偿点相当^[10]。

3 讨论

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。典型的阴生植物其光饱和点与光补偿点均低,典型的阳生植物正好相反。光补偿点较低、光饱和点较高的植物对光环境的适应性较强,而光补偿点较高、光饱和点较低的植物对光环境的适应性较窄^[11]。原始观音座莲的光补偿点较低,光饱和点也较低,表明原始观音座莲较强的耐阴能力,只能适应较弱的光照强度,对光适应的生态幅度较窄,有明显的光抑制现象,这可能是导致原始观音座莲种群濒危的一个原因。

原始观音座莲的羧化效率较低,导致了较低的光合速

(下转第14692页)

1.2.5.2 稳定性试验。取供试品溶液 20 μl , 分别在制备后 0、4、8、12、16、20、24 h 进样, 测得槲皮素峰面积的 $RSD = 1.82\%$, 表明供试品溶液在 24 h 内稳定。

1.2.5.3 重现性试验。取同一批样品 5 份, 按“1.2.1”的方法平行处理, 按上述色谱条件测定槲皮素的峰面积, 带入回归方程, 计算槲皮素峰面积的 $RSD = 1.14\%$, 表明方法的重复性良好。

1.2.6 回收率试验。精密称定已知含量的金花茶叶粉末 5 份, 均加入已知含量的对照品溶液槲皮素 100 μl , 按供试品溶液制备方法平行处理。依上述色谱条件测定, 计算加样回

收率。

1.2.7 样品含量测定。采用“1.2.2”的方法平行制备供试品溶液 3 份, 各吸取 20 μl 注入高效液相色谱仪, 测定槲皮素的含量。

2 结果与分析

2.1 回收率试验结果 由表 1 可知, 平均回收率为 98.27%, $RSD = 1.18\%$ 。

2.2 样品含量测定 测得样品中槲皮素平均含量为 129.56 $\mu\text{g/g}$ 。

表 1 加样回收率试验结果 ($n=5$)

Table 1 The average recovery rate experiment results ($n=5$)

编号 Code	样品含量/ μg Sample content	加入量/ μg Adding amount	测得量/ μg Measured amount	回收率/% Recovery rate	平均回收率/% Average recovery rate	RSD %
1	129.56	100	229.01	99.76	98.27	1.18
2	128.58	100	225.23	98.53		
3	129.87	100	224.98	97.87		
4	129.14	100	221.35	96.60		
5	130.03	100	226.78	98.59		

3 结论与讨论

(1) 提取条件的选择。笔者曾经选取滤液加 20%、30% 和 40% 盐酸溶液 (4:1) 以及 1、2 和 3 h 不同酸浓度和水解时间进行提取条件考察, 发现 40% 盐酸溶液水解 2 h 得到的槲皮素的相对含量最高。

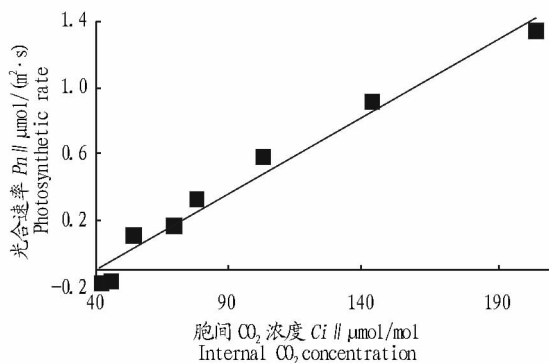
(2) 流动相的选择。笔者曾经选用甲醇-0.1% 磷酸水溶液 (50:50)、甲醇-0.4% 磷酸水溶液 (50:50) 和甲醇-0.4% 磷酸水溶液 (52:48) 等体系进行洗脱, 发现流动相为甲醇-0.4% 磷酸水溶液 (52:48) 时得到的色谱峰形较好, 且较稳定。

(3) 该研究建立的 RP-HPLC 提取方法和条件, 能测定金花茶叶中槲皮素的含量, 且该方法简单快捷、分离度好, 测定结果可靠, 有助于金花茶进行质量控制和质量标准的制定。

参考文献

- [1] 国家中医药管理局中华本草编委会. 中华本草第 3 卷 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1999: 557.
- [2] 曹伟国, 刘志勤, 邵云, 等. 黄酮类化合物药理作用的研究进展 [J]. 西北植物学报, 2003, 23(12): 2241-2247.
- [3] 李爱红, 胡文军. HPLC 法测定复方银杏叶胶囊中总黄酮苷的含量 [J]. 中国药房, 2008, 19(12): 927-928.

(上接第 14683 页)



注: 叶室温度 $(20.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$, 空气相对湿度 $45\% \pm 5\%$, 有效光合辐射 $(1\ 000 \pm 2) \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

Note: Leaf chamber temperature $(20.0 \pm 0.5) ^\circ\text{C}$, relative air humidity of $45\% \pm 5\%$ and PAR $(1\ 000 \pm 2) \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

图 4 原始观音座莲光合作用对低 CO_2 浓度响应

Fig. 4 Low CO_2 concentration response of photosynthetic rate (Pn) in *Archangiopteris henryi* leaves

率, 其最大光合速率远低于其他典型的阴生植物, 说明其光

合能力较差, 很难与其他阴生植物竞争, 而且喜高湿环境, 一旦植被遭到破坏, 会直接影响到原始莲座蕨的生存环境。因此, 要保护原始莲座蕨种群的延续, 保护植被至关重要。

参考文献

- [1] 宋朝樞, 徐荣章, 张清华. 中国珍稀濒危保护植物 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1989.
- [2] 于永福. 中国野生植物保护工作的里程碑——《国家重点保护野生植物名录》(第一批) 出台 [J]. 植物杂志, 1999(5): 3-4.
- [3] 苏文华, 张光飞. 二回原始观音座莲蕨光合作用的生理生态学研究 [J]. 广西植物, 2002, 22(5): 449-452.
- [4] 蔡志全, 曾坤芳, 李宝贵. 热带雨林剑叶凤尾蕨 (*Pteris ensiformis*) 对光强变化的适应 [J]. 武汉植物学研究, 2002, 20(4): 283-287.
- [5] 张光飞, 苏文华, 施荣林, 等. 珍稀蕨类植物原始观音座莲光合速率与环境因子的关系 [J]. 武汉植物学研究, 2004, 22(2): 125-128.
- [6] WATKINS J E, MACK M C, SINCLAIR T R, et al. Ecological and evolutionary consequences of desiccation tolerance in tropical fern gametophytes [J]. New Phytol, 2007, 176: 708-717.
- [7] 张强, 陈军文, 陈亚军, 等. 西双版纳热带雨林中两种生态型蕨类植物光合特性比较研究 [J]. 植物学通报, 2008, 25(6): 673-679.
- [8] SCHOLES J D, PRESS M C, ZIPPERLEN S W. Differences in light energy utilization and dissipation between dipterocarpaceae forest tree seedlings [J]. Oecologia, 1997, 109: 41-48.
- [9] LARCHER W. 植物生理生态学 [M]. 李博, 张陆德, 岳绍先, 等, 译. 北京: 科学出版社, 1980.
- [10] 蒋高明. 植物生理生态学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [11] 武维华. 植物生理学 [M]. 北京: 科学出版社, 2003.