

二回原始观音座莲蕨光合作用的生理生态学研究

苏文华, 张光飞

(云南大学生态学与地植物学研究所, 云南昆明 650091)

摘要: 利用 CO₂ 光合测定仪分析了引种栽培的二回原始观音座莲叶片的光合补偿点和光合饱和点及其日变化, 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, 温度或相对湿度对光合速率的单因子影响研究。二回原始观音座莲的二回羽状复叶上午、中午和下午的光合补偿点分别为 6.1、6.4 和 3.1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, 光合饱和点分别为 250、500 和 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 。最适光合有效辐射为 100~500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 。叶片的羧化效率为 0.019 1, CO₂ 补偿点为 59.1 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。光合速率在叶温 22~28 °C 范围内, 随温度升高上升; 28~33 °C 随温度升高下降, 最适温度为 24~30 °C。相对湿度 30%~85% 的试验范围内, 叶片光合速率随湿度增加而增大, 最适相对湿度条件在 75% 以上。

关键词: 蕨类植物; 二回原始观音座莲; 光合特性; 环境因子

中图分类号: Q945.79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2002)05-0449-04

Studies on the physiological ecology of photosynthesis of *Archangiopteris bipinnata*

SU Wen-hua, ZHANG Guang-fei

(Institute of Ecology and Geobotany, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: With LI-6400 Portable Photosynthesis Analysis System, light compensation point, light saturation point and their diurnal variation for a pteridophyte *Archangiopteris bipinnata* planted in greenhouse were studied. By controlling light, CO₂ concentration, temperature and humidity in the leaf chamber, carboxylation efficiency and CO₂ compensation point were analyzed and laboratory studies were conducted to investigate relations between photosynthetic rate and light, temperature or humidity. Compensation irradiance has diurnal variation, 6.1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ in the morning, 6.4 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ at noon and 3.1 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ in the afternoon. Saturation irradiance in the morning and afternoon was 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ at noon. The optimal photosynthetic active radiation was from 100 to 500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Carboxylation efficiency of leaves was about 0.019 1 and CO₂ compensation point was 59.1 $\mu\text{mol}/\text{mol}$. The rate of net photosynthesis increased when leaf temperature increased from 22 to 28 °C, but decreased above 28 °C. The optimal temperature was from 24 to 30 °C. When humidity provided in the leaf chamber went up from 30% to 85%, the rate of net photosynthesis increased. The optimal humidity was above 75%.

Key words: pteridophyte; *Archangiopteris bipinnata*; photosynthesis; environmental factors

收稿日期: 2001-06-21

作者简介: 苏文华(1962-), 男, 云南昆明人, 硕士, 副教授, 植物生理生态学专业。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(编号: 39360018)

二回原始观音座莲 (*Archangiopsis bipinnata* Ching) 属于厚囊蕨类植物, 是云南特有种, 分布范围极为狭窄, 仅分布于云南省东南部的马关县^[1], 数量极为稀少。该种被列入 1999 年 8 月 4 日国务院正式批准公布的“国家重点保护野生植物名录”(第一批), 定为二级保护植物。然而, 对二回原始观音座莲的研究很少, 尤其是生态适应性方面尚属空白。本研究通过对二回原始观音座莲光合特性及其环境因子影响的分析研究, 探讨生长的适生环境。研究结果对二回原始观音座莲的保护生物学研究有重要意义。光合作用是植物重要生理过程, 光合特性及环境因子对其影响的研究很多^[2~6], 但蕨类植物的研究很少。而且, 研究方法多是通过测定光合速率的日变化并同时记录环境因子, 通过两者间的拟合关系来探讨各环境因子对光合作用的影响。本研究利用 Lic-6400 光合测定可控制叶室光照、温度、湿度和 CO₂ 浓度的功能, 稳定非试验环境因子, 进行单因子影响试验, 揭示各因子对光合作用的直接影响程度。

1 材料与方 法

1.1 实验材料

实验材料为在云南大学生态学与地植物学研

表 1 二回原始观音座莲上午、中午和下午的光合补偿点、光合饱和点、暗呼吸速率和最大光合速率

Table 1 Light compensation point (LCP), light saturation point (LSP), dark respiration rate (DRR) and maximum net photosynthetic rate (Amax) for *A. bipinnata* in the morning, at noon and in the afternoon

时间 Time	光合补偿点 LCP ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	光合饱和点 LSP ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	暗呼吸速率 DRR ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)	最大光合速率 Amax ($\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$)
上午 In the morning	6.1 ± 0.24	250	0.343 ± 0.016	2.90 ± 0.22
中午 At noon	6.4 ± 0.25	500	0.407 ± 0.027	1.43 ± 0.37
下午 In the afternoon	3.1 ± 0.53	250	0.218 ± 0.074	1.24 ± 0.093

1.4 湿度对光合作用的影响

每次测定由低湿度至高湿度依次进行, 测定湿度低于当时大气湿度时调节光合测定仪的水份吸收管气体通过量, 形成低的空气湿度。测定湿度高于当时大气湿度时, 用加湿器向进气缓冲器中补充水气, 并调节光合测定仪的水份吸收管气体通过量, 造成高于大气湿度的湿度梯度。测定的方式与温度影响实验的程序相同。

1.5 光合作用的 CO₂ 响应

关闭叶室后, 利用光合测定仪的碱石灰管吸收气路内的 CO₂, 调节碱石灰管气体通过量, 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。以低 CO₂ 浓度下的数据进行直线回归求得羧化效率和 CO₂ 补偿点。

究所温室中盆栽的 6 盆二回原始观音座莲。每测定项目选定 3 盆, 1 盆中选择 3~5 片完全成熟的二回羽状复叶的小叶片, 每叶片重复 3 次。测定的前一天下午充分浇水, 测定过程中保持土壤水份充足。试验于 2001 年 3 月和 4 月间进行。

1.2 光合曲线及光补偿点和饱和点的测定

光合速率及叶片温度、湿度、大气 CO₂ 浓度等用 Lic-6400 光合测定仪测定。以一容积约 25 L, 壁上有 3 个 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。

1.3 温度对光合速率的影响

在 9:00~10:00、13:00~14:00 和 17:00~18:00 时, 采用 Lic-6400 光合测定仪加红兰人工光源, 启动光合曲线自动测定程序。每个时段 3 盆各测 1 次, 连续 3 d, 根据光合曲线确定光合补偿点和光合饱和点。

利用 Lic-6400 光合测定仪叶室温度控制功能在可调控的范围内, 将叶室温度分别调至 18、22、26、28、30 °C 和 33 °C, 并将空气湿度和大气 CO₂ 浓度保持在较小的范围内变动。叶片在测定温度叶室内适应 5 min 后, 每 5 s 测定 1 次光合速率, 测 20 个数据。试验在早上 9:00~10:00 进行, 每天测 1 个温度系列, 连续测 5 d, 共 5 张叶片。

列 CO₂ 浓度梯度, 测定各浓度下的光合速率和胞间 CO₂ 浓度。以低 CO₂ 浓度下的数据进行直线回归求得羧化效率和 CO₂ 补偿点。

2 结果与分析

2.1 光合补偿点和光合饱和点及其日变化

二回原始观音座莲的二回羽状复叶的光合补偿点和光合饱和点在一天中的上午、中午和下午有所变化(表 1), 光合补偿点上午和中午相似, 下午有明显的降低; 中午的光合饱和点高于上午和下午。二回原始观音座莲光合补偿点和光合饱和点与生

于青冈林下的狗脊蕨 (*Woodwardia japonica*) 相似⁽⁷⁾, 表现为典型的阴生植物光合特征⁽⁸⁾。最大光合速率低于生于林窗的蕨类植物铁芒萁 (*Dicranopteris linearis*)⁽⁹⁾, 而且从早上到下午明显下降。

根据测绘出的光合曲线(未列出), 二回原始观音座莲的最适光照条件上午为 150~500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, 中午为 100~500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$, 下午为 50~500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 。二回原始观音座莲只能在林下才能生长良好。

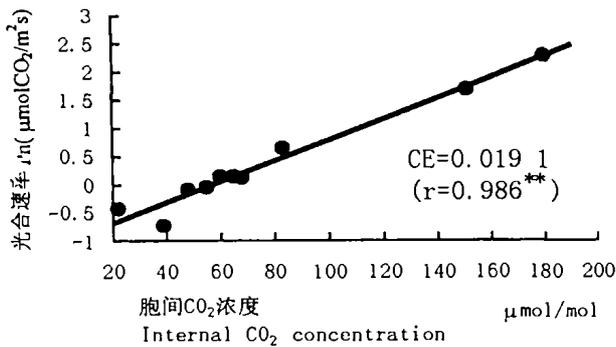


图 1 二回原始观音座莲光合作用的 CO₂ 响应
Fig. 1 CO₂ response of photosynthetic rate (Pn) in *A. bipinnata* leaves

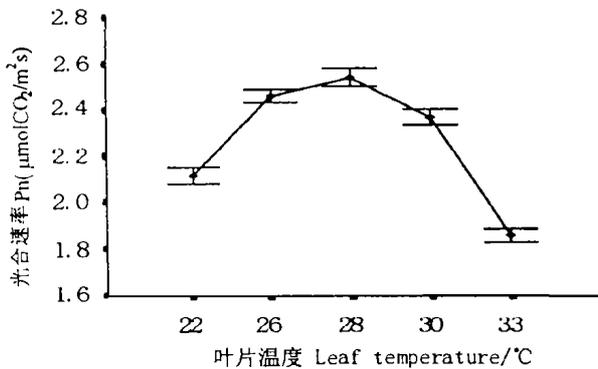


图 2 二回原始观音座莲光合作用的温度响应
Fig. 2 Relation between net photosynthetic rate (Pn) of *A. bipinnata* and temperature

试验条件: 空气相对湿度 $40 \pm 5\%$, 大气 CO₂ 浓度 $400 \pm 5 \mu\text{mol}/\text{mol}$, 有效光合辐射 $250 \pm 2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 。
Measured in relative humidity $40 \pm 5\%$, in air CO₂ concentration $400 \pm 5 \mu\text{mol}/\text{mol}$, in PAR $250 \pm 2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 。

2.2 光合作用的 CO₂ 响应

根据最适光照条件和温度条件下叶片光合作用的 CO₂ 响应数据计算(图 1), 二回原始观音座莲的叶片的羧化效率为 0.019 1, CO₂ 补偿点为 59.1 $\mu\text{mol}/\text{mol}$, CO₂ 补偿点与典型的 C₃ 植物相当⁽¹⁰⁾。

2.3 光合作用对温度变化的响应

通过改变叶室温度测定不同温度下二回原始

观音座莲叶片的光合速率, 在 22~33 °C 的试验范围内, 22~28 °C 随温度上升光合速率增高, 28 °C 时饱和光合速率最高, 从 28~33 °C 光合速率显著下降, 最适温度为 24~30 °C(图 3)。二回原始观音座莲的最适温度低于热带 C₄ 植物, 但高于阴生植物⁽¹⁰⁾。对高温的适应能力不及生长在温带的羊草 (*Aneurolepidium chinenses*)⁽¹¹⁾。不同温度下的光合曲线显示(图 4), 随着温度升高, 暗呼吸作用增强, 光合补偿点相应地升高。温度对光合饱和点的影响则不同, 在最佳温度条件下光合饱和点最高, 高于或低于最适温度, 光合饱和点都下降。

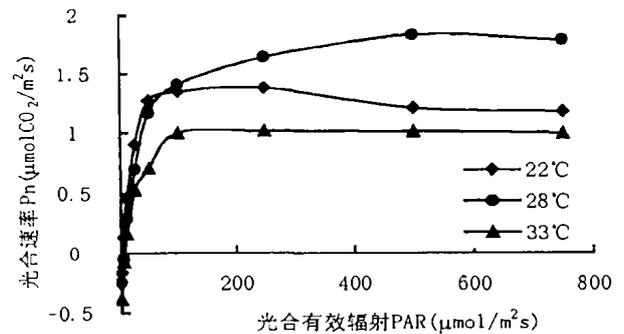


图 3 不同温度条件下二回原始观音座莲光合作用的光响应曲线

Fig. 3 Light response of net photosynthesis rate (Pn) in *A. bipinnata* in different temperatures
试验条件: 空气相对湿度 $45 \pm 5\%$, 大气 CO₂ 浓度 $390 \pm 5 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。Measured in relative humidity $45 \pm 5\%$, in air CO₂ concentration $390 \pm 5 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

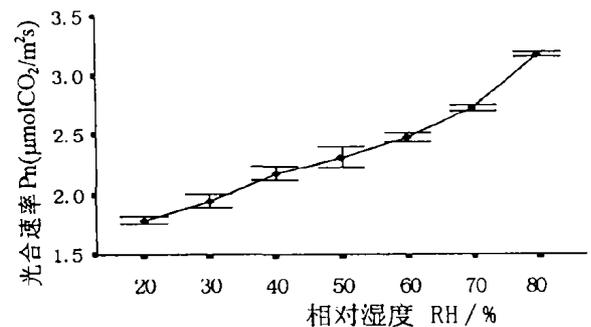


图 4 二回原始观音座莲光合作用的湿度响应
Fig. 4 Relation between net photosynthetic rate of *A. bipinnata* and relative humidity (RH)

试验条件: 叶室温度 $22.0 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$, 大气 CO₂ 浓度 $392 \pm 5 \mu\text{mol}/\text{mol}$, 有效光合辐射 $250 \pm 2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 。Measured at leaf temperature $22.0 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$, in air CO₂ concentration $392 \pm 5 \mu\text{mol}/\text{mol}$, in PAR $250 \pm 2 \mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 。

2.4 空气湿度对光合作用的影响

二回原始观音座莲的光合速率与空气湿度关

系密切,在 30%~80%的实验相对空气湿度内,光合速率随相对湿度的增加升高(图 4)。在 250 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ 有效光合辐射,22 $^{\circ}\text{C}$ 条件下 80%的相对空气湿度的光合速率比 30%相对空气湿度的增加了 64.1%。90%空气湿度超过光合测定仪工作的湿度条件范围,90%及以上湿度条件下的光合速率未能进行测定。从图 5 中还可看出,在高湿度环境中二回原始观音座莲不仅光合速率增高,光合饱和点也增高,饱和光照条件下的光合速率明显提高。所测得的数据表明,二回原始观音座莲适于高湿度的环境,最适湿度条件在 75%以上。光合作用对湿度的这种特殊要求可能就是造成二回原始观音座莲分布地极为狭窄的原因之一。

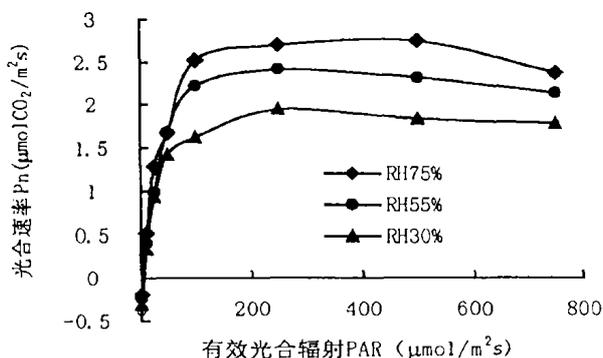


图 5 不同湿度条件下二回原始观音座莲的光合曲线
Fig. 5 Light response of net photosynthetic rate in *A. bipinnata* in different relative humidity (RH)
试验条件:叶室温度 22.0 \pm 0.5 $^{\circ}\text{C}$, 大气 CO_2 浓度 400 \pm 5 $\mu\text{mol}/\text{mol}$ 。Measured at leaf temperature 22.0 \pm 0.5 $^{\circ}\text{C}$, in air CO_2 concentration 392 \pm 5 $\mu\text{mol}/\text{mol}$.

表 2 二回原始观音座莲的光合速率
日变化与环境因子相关系数

Table 2 Correlation coefficients between net photosynthetic rate of *A. bipinnata* and environmental factors

气温 Air temperature	空气湿度 Relative humidity	CO_2 浓度	光照强度 Light intensity	土壤含水量 Soil water
-0.171	0.257	0.035	0.594	0

3 讨论

二回原始观音座莲的光合速率自上午到下午逐渐下降,即使在相同光照、气温、空气湿度条件,下午光合速率也会明显低于上午。光合速率的日变化与光照、气温、空气湿度、土壤含水量和 CO_2 浓度

的日变化相关性较低(表 2)。二回原始观音座莲下午光合速率的下降非这几项环境因素所致。

在二回原始观音座莲光合作用日变化测定过程中,始终都保持土壤水份饱和。但到下午二回原始观音座莲的小羽片都会略有下垂,表现出轻微缺水。植物内的水份状况是植物光合作用的一个重要因素^[4,10]。因而推测:二回原始观音座莲下午植物体缺水是导致光合能力下午降低的原因。是什么原因造成在土壤水份饱和的情况下二回原始观音座莲叶片水份供应不足,叶片水份状况对光合作用的影响,还有待对其进行水份生理生态学研究。

参考文献:

- [1] 钱崇澍, 陈焕镛. 中国植物志(第二卷)[M]. 北京: 科学出版社, 1959. 60.
- [2] 岳春雷, 刘亚群. 濒危植物南川升麻光合生理生态的初步研究[J]. 植物生态学报, 1999, 23(1): 71-75.
- [3] 郭志华, 张宏达, 李志安, 等. 鹅掌楸(*Liriodendron chinense*)苗期光合特征的研究[J]. 生态学报, 1999, 19(2): 164-169.
- [4] 葛莹, 常杰, 陈增鸿, 等. 青冈(*Quercus glauca*)净光合作用与环境因子的关系[J]. 生态学报, 1999, 19(5): 683-688.
- [5] 苏文华, 张光飞, 王崇云, 等. 短葶飞蓬光合生理生态的初步研究[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2001, 23(2): 142-145.
- [6] 郭连旺, 沈允钢, 武海, 等. 杜仲光合特性的研究[J]. 植物学报, 1996, 38(4): 283-286.
- [7] 常杰, 葛滢, 陈增鸿, 等. 青冈常绿阔叶林主要植物种叶片的光合特性及其群落学意义[J]. 植物生态学报, 1999, 23(5): 393-400.
- [8] W. Larcher(李博, 张陆德, 岳绍先, 等). 植物生理生态学[M]. 北京: 科学出版社, 1980. 57.
- [9] Ann E Russell, J W Raich, P M Vitousek. The ecology of the climbing fern *Dicranopteris linearis* on windward Mauna Loa, Hawaii[J]. *Journal of Ecology*, 1998, 89: 765-779.
- [10] 曹仪植, 宋占午. 植物生理学[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 1998. 154.
- [11] 王德利, 王正文, 张喜军. 羊草两个趋异类型的光合生理特性比较的初步研究[J]. 生态学报, 1999, 19(6): 837-843.