

# 7 个荷花品种光合特性的研究

刘颖嘉 程习梅 荣俊冬 陈瑞芳 薛艺敏 郑郁善\*

(福建农林大学 工业原料林研究所 福建 福州 350002)

**摘要:** 使用 LCpro + 便携式植物光合测量系统对 7 个荷花品种的光合特性日变化及其光合-光响应曲线进行研究。结果表明: 7 个荷花品种的光合特性日变化没有明显的“午休”现象, 其光补偿点在  $3.99 \sim 12.45 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 光饱和点在  $699.37 \sim 855.00 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 表观量子效率在  $0.0342 \sim 0.0433 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。品种间光合特性存在一定差异。

**关键词:** 荷花; 光合特性; 光合日变化; 光响应

中图分类号: Q945.11; Q949.746.1 文献标志码: A 文章编号: 1000-2286(2012)01-0040-04

## The Photosynthetic Characteristics of Seven Varieties of *Nelumbo nucifera* Gaertn.

LIU Ying-jia, CHENG Xi-mei, RONG Jun-dong,  
CHEN Rui-fang, XUE Yi-min, ZHENG Yu-shan\*

(Institute of Industrial Forest, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China)

**Abstract:** An experiment was conducted to study the photosynthetic characteristics of seven varieties of *Nelumbo nucifera* Gaertn. by LCpro + photosynthesis system. The results showed that the seven varieties of *Nelumbo nucifera* Gaertn. did not exhibited a midday depression. The minimum value of light compensation points was  $3.99 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , the maximum value of light compensation points was  $12.45 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . The minimum value of light saturation points was  $699.37 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , the maximum value of light saturation points was  $855.00 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . The minimum value of apparent quantum efficiencies was  $0.0342 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , the maximum value of apparent quantum efficiencies was  $0.0433 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ . Different varieties of *Nelumbo nucifera* Gaertn had a few differences in their photosynthetic characteristics.

**Key words:** *Nelumbo nucifera* Gaertn.; photosynthetic characteristics; photosynthetic diurnal variation; Light response

荷花(*Nelumbo nucifera* Gaertn.) 属于睡莲科莲属, 是多年生水生草本。荷花栽培品种很多, 依用途不同可分为藕莲、子莲和花莲三大系统。莲荷生长的地区在我国非常广泛, 绝大多数省份都有莲荷生长<sup>[1]</sup>。荷花全身都是宝, 其食用、药用、观赏价值都很高<sup>[2-3]</sup>。

光合作用是植物利用光能同化  $\text{CO}_2$  和水, 制造有机物并释放  $\text{O}_2$  的过程。光合作用不仅是植物体内最重要的生命活动, 同时也是地球上最重要的化学反应过程<sup>[4]</sup>。目前针对荷花的研究在栽培<sup>[5-6]</sup>、

收稿日期: 2011-04-01 修回日期: 2011-11-01

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAI73B01)、福建省科技重大专项(2004YZ02-05)和福建省中药材 GAP 工程技术研究中心项目(2008Y2001)

作者简介: 刘颖嘉(1984—), 女, 硕士生, 主要从事森林培育和中药材栽培研究, E-mail: liu375783024@126.com; \* 通讯作者: 郑郁善, 教授, 博士生导师, E-mail: zys1960@163.com。

有效成分<sup>[7-8]</sup>、药理<sup>[9-10]</sup>、育种、分子鉴定<sup>[11]</sup>、遗传多样性<sup>[12]</sup>等方面都有不少成果,但现阶段尚没有关于荷花的光合特性研究的报道。本研究收集了 7 个主要用于生产莲子的荷花品种,并对其光合特性进行研究,以为荷花的生物学特征和栽培技术研究提供理论依据。此外,比较此 7 个荷花品种的光合特性的差异,可以更深入地研究荷花品种间的差异,为荷花优良品种选育提供理论依据,也为研究荷花的光合特性与其实际产量的相关性研究提供基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料和仪器

供试 7 个不同品种荷花的材料由建宁县莲科所提供。于 2010 年 4 月采集其莲藕,种植于福建农林大学工业原料林研究所的实验地中。7 个品种分别为冬荷、白花建莲、建选 17 号、太空莲 1 号、宣芙蓉 1 号、白洋淀红莲、冬瓜莲和处州白莲,依次编号为 1-7 号品种。选择叶面积较大、颜色较深、健康无病虫害的荷花挺叶作为试验对象。使用 LCpro+ 便携式植物光合测量系统进行测定。

### 1.2 方法

1.2.1 光合作用日变化的测定 在 2010 年 7—8 月,选择无风晴天的日子进行试验。试验当地时间 08:00—18:00 进行,每隔 2 h 测定 1 次,每个品种测定 3 片叶子,每片叶子测定 1 次。每片叶子在净光合速率( $A$ )的变化幅度小于 0.5 时连续记录 5 个值,结果取其平均。其中测定的生理指标包括植物的净光合速率( $A$ )、蒸腾速率( $E$ )、气孔导度( $G_s$ )和胞间  $CO_2$  浓度( $C_i$ )等,环境参数包括光合有效辐射( $Q_{leaf}$ )、叶温( $T_l$ )、空气湿度( $e_{ref}$ )、大气  $CO_2$  浓度( $c_{ref}$ )、温度( $T_{ch}$ )等。

1.2.2 光响应曲线测定 在 2010 年 7—8 月,选择无风晴天的日子进行试验。测定前,测定对象在  $1\ 000\ \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光强下诱导 20~30 min(仪器自带的红蓝光源)以充分活化光合系统。使用开放气路, $CO_2$  浓度设定固定在  $360\ \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。设定的光强梯度为 1 500、1 200、1 000、800、500、300、200、100、80、50、20、10、0  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。

测定对象与日变化测定使用的测定对象相同。测定每片叶子时,在每一光强下停留直到净光合速率( $A$ )的变化幅度小于 0.5 时连续记录 5 个值,结果取其平均。

光响应曲线的拟合曲线方程使用  $A = a [1 - c_0 \cdot e^{(-b \cdot PAR/a)}]$ <sup>[13]</sup>。其中  $c_0$  为度量弱光下净光合速率趋于 0 时的指标; $a$  为光响应曲线中最大光合速率; $b$  为表观量子效率。光补偿点( $LCP$ )为净光合等于 0 时的光照值,光饱和点( $LSP$ )为光合速率达到最大值 99% 时的光照,采用  $LCP = a \cdot \ln(c_0) / b$ 。

$LSP = a \cdot \ln(100 \cdot c_0) / b$  公式计算。

## 2 结果与分析

### 2.1 7 个荷花品种的光合特性日变化分析

2.1.1 试验当天的环境因素变化 光合作用受多种环境因素影响,光、 $CO_2$ 、温度、水分是影响光合作用的主要环境因素。试验当天 08:00—18:00 的环境因素变化见表 1。表中可见环境中光强、湿度、气温都在 12:00 最高;空气中  $CO_2$  含量在清晨 08:00 最大,之后逐渐下降,到 12:00 达到最低,之后略回升。

表 1 测定当天的环境因素变化

Tab. 1 Changes in environmental factors of the determination day

时间 Time	光强/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ Light intensity	空气 $CO_2$ 含量/% The air content of $CO_2$	空气湿度/% Air humidity	环境温度/ $^{\circ}\text{C}$ Temperature
08:00	146.06	0.038 557	29.22	32.39
10:00	385.17	0.036 191	30.55	36.36
12:00	390.83	0.035 263	30.98	38.27
14:00	160.06	0.035 346	29.92	36.93
16:00	27.49	0.036 299	29.09	34.23
18:00	1.94	0.038 042	24.79	27.31

2.1.2 净光合速率日变化 净光合速率实际上是植物实际光合速率与呼吸速率的差,又称为表观光合速率,受到光强、环境 CO<sub>2</sub> 浓度、水分、温度等因素的影响。从图 1 中可看出 7 个荷花品种的净光合速率日变化曲线都呈现单峰型,其中 1-3 和 6 号荷花品种在 12:00 达到最高,4、5 和 7 号荷花品种在 10:00 达到最高,都没有出现“午休”现象。而 12:00 之后 7 个荷花品种的净光合速率都迅速下降,到 18:00 光强接近 0 时,净光合速率也降到低于 0。其中最大净光合速率出现在 6 号品种 12:00 为 7.746 μmol/(m<sup>2</sup>·s)。

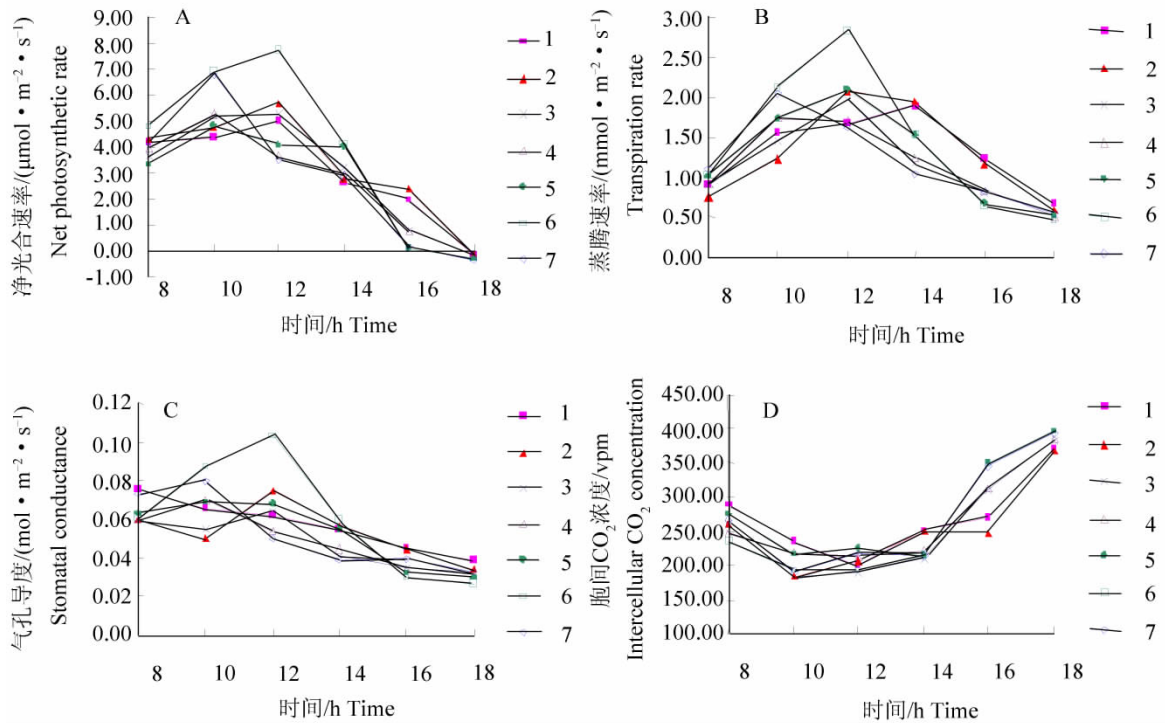


图 1 荷花光合参数的日变化

Fig. 1 Photosynthetic parameters of *Nelumbo nucifera* Gaertn. on diurnal variation

在影响光合作用的 4 个环境因素中,光强和 CO<sub>2</sub> 浓度对光合作用影响最明显。但在日变化的环境因素中,光强变化幅度最大,CO<sub>2</sub> 浓度和其他因素变化不明显,因此可看出此变化与日光强变化呈现明显的正相关,净光合速率随着日光强的增加而增加,随着日光强的减少而减少。

2.1.3 蒸腾速率日变化 蒸腾速率是指植物在单位时间内单位面积通过蒸腾作用所散失的水分,也可称蒸腾强度,是表征蒸腾作用强弱的参数。从图 1 中可看出 7 个荷花品种的蒸腾速率日变化呈“单峰型”,其中 2、3、5 和 6 号荷花品种在 12:00 达到最高,4 和 7 号荷花品种在 10:00 达到最高,1 号荷花品种在 14:00 达到最高,其变化规律与测定当天的温度变化的基本一致。其中 4 和 7 号荷花品种可能由于气温过高导致在 12:00 蒸腾速率稍微下降。最大蒸腾速率出现在 6 号品种 12:00 为 2.840 μmol/(m<sup>2</sup>·s)。

2.1.4 气孔导度日变化 气孔导度是气孔对水蒸气、二氧化碳等气体的传导度,表示气孔张开的程度,影响光合作用、呼吸作用及蒸腾作用。从图 1 中可看出 7 个荷花品种的气孔导度日变化差异比较大。1 号品种呈现一直下降趋势,其中 2、3 和 6 号荷花品种在 12:00 达到最高,4、5 和 7 号荷花品种在 10:00 达到最高。

水蒸气通过气孔的量远远大于二氧化碳通过的量,气孔从其结构上就决定了其与植物水分循环的密切关系,因此其与蒸腾作用有直接的相关性。从图中也可看出,除了 1 号品种,其它品种的气孔导度变化规律与其蒸腾速率变化规律基本一致。1 号品种的特殊性可能与该植物的生长特性有关,有待进一步研究。

2.1.5 胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化 从图 1 中可看出 7 个荷花品种的胞间 CO<sub>2</sub> 浓度日变化的总体趋势比较,一直都是先下降后上升。其变化趋势与净光合速率变化趋势呈明显的负相关。净光合速率上升时胞间 CO<sub>2</sub> 浓度下降,净光合速率下降时胞间 CO<sub>2</sub> 浓度上升。在 18:00 净光合速率降到低于 0,胞间 CO<sub>2</sub> 浓度都上升到略大于环境 CO<sub>2</sub> 浓度的水平,说明此时植物呼吸作用占主导地位,CO<sub>2</sub> 开始在细胞内和

细胞间积累, 导致其浓度上升。

此外, 根据空气  $\text{CO}_2$  浓度和胞间  $\text{CO}_2$  浓度可计算出其气孔限制值的日变化规律是与胞间  $\text{CO}_2$  浓度日变化规律呈负相关的。也就是说, 综合以上各个指标的日变化规律, 可看出, 当净光合速率下降时, 胞间  $\text{CO}_2$  浓度不变或增加, 气孔限制值减小, 因此导致光合作用下降的主要因素是非气孔限制, 气孔的张开程度并没有影响光合作用。

## 2.2 荷花光合作用的光响应

试验在  $0 \sim 1\ 500 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$  光强范围内测定荷花的光合 - 光响应曲线, 使用  $A = a [1 - c_0 \cdot e^{(-b \cdot \text{PAR}/a)}]$  对其进行拟合, 计算出这 7 个荷花品种的光补偿点、光饱和点和表观量子效率, 结果见表 2。可以看出, 7 个荷花品种的光补偿点在  $3.99 \sim 12.45 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 平均值是  $9.57 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 光饱和点在  $699.37 \sim 855.00 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 平均值是  $753.67 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 表观量子效率在  $0.0342 \sim 0.0433$ , 平均值是  $0.0375$ 。其中光补偿点最小的是 1 号品种, 最大的是 6 号品种; 光饱和点最小的是 2 号品种, 最大的是 6 号品种; 表观量子效率最小的是 3 号品种, 最大的是 6 号品种。此外, 在光强达到高于光饱和点的强度时, 7 个荷花品种的净光合速率都在较大的光强范围内维持平稳的水平, 没有明显的光抑制现象。

表 2 7 个荷花品种的光补偿点、光饱和点和表观量子效率

Tab. 2 LCP, LSP and AQY of seven varieties of *Nelumbo nucifera* Gaertn.

品种编号 No. of variety	光补偿点/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ Light compensation point	光饱和点/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ Light saturation point	表观量子效率/ $(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$ Apparent quantum efficiency
1	3.99	702.16	0.0386
2	9.58	699.37	0.0374
3	12.05	749.95	0.0342
4	6.44	732.08	0.0350
5	10.14	760.52	0.0367
6	12.45	855.00	0.0433
7	12.34	776.58	0.0373

## 3 讨论与结论

在荷花日变化中, 净光合速率变化没有表现出明显的“午休”现象。这可能是因为荷花为水生植物, 较陆生植物容易补充水分, 中午的高温, 增强了其蒸腾作用, 但不会造成水分丧失过多而关闭气孔, 从而影响其光合作用。而且从荷花的光合 - 光响应曲线可看出其净光合速率在较大的光强范围内维持平稳的水平, 表明荷花没有明显的光抑制现象, 因此中午的高光强也不会影响其光合作用。

植物光补偿点是表现植物在弱光条件下光合作用能力的重要指标<sup>[14]</sup>, 光补偿点低说明植物利用弱光能力强, 有利于有机物质的积累。光补偿点低, 光饱和点较高的植物, 能适应多种光照环境<sup>[15-16]</sup>。本试验中, 测得 7 个荷花品种都有较低的光补偿点, 较高的光饱和点, 喜阳但也具有耐阴性, 能适应多种光照环境。特别是 1 号和 4 号品种, 光补偿点与阴生植物的光补偿点十分接近, 说明其耐阴性很强, 有利于营养物质的积累。而荷花的表观量子效率在  $0.03 \sim 0.05$ , 居于较高水平, 说明其在弱光下的光能利用率较高。

此 7 个品种的荷花主要是用于生产莲子的, 它们之间光合特性的差异是否对其莲子的产量和营养成分的含量造成差异有待进一步研究, 而其光合特性的差异也对其最佳栽培条件提出不同的要求。

### 参考文献:

- [1] 郑连群, 张庆宝, 符秀玉. 荷花品种分类研究现状及建议[J]. 现代农业科技, 2009(15): 221-222.  
[2] 李依环, 潘远智, 陈延启. 荷花种质资源遗传多样性研究进展[J]. 四川林业科技, 2008, 29(4): 66-70.

(下转第 58 页)

- [J]. *Biotechnol Letters*, 2005, 27(23/24): 1897-1900.
- [21] Franklin D C. Synchrony and asynchrony: observation and hypotheses for the flowering wave in a long-lived semelparous bamboo [J]. *J Biogeogr*, 2004, 31(5): 773-786.
- [22] Mcstee P. Hormonal regulation of branching in grasses [J]. *Plant Physiology*, 2009, 149(1): 46-55.
- [23] Liang Y, Harris J M. Respond of root branching to brasicic acid is correlated with nodule formation both in legumes and nonlegumes [J]. *Am J Bot*, 2005, 92: 1675-1683.
- [24] 曾庆斌, 阳著平, 顾国东. 毛竹实生林生长发育进程研究 [J]. *中国林业* 2009(8): 46.
- [25] 程晓阳, 方乐金, 詹鸿章, 等. 立地条件对毛竹实生林生长发育影响的研究 [J]. *世界竹藤通讯* 2004, 2(4): 26-27.
- [26] 陈双林, 吴柏林, 吴明, 等. 新造毛竹林林分结构年际演替规律及影响因子 [J]. *浙江林学院学报* 2004(4): 393-397.
- [27] 张卓文, 汤景明, 熊艳平, 等. 雷竹引种后地下鞭生长规律研究 [J]. *华中农业大学学报* 2001, 20(1): 77-80.

(上接第43页)

- [3] 张玉环. 荷花的花文化及园林应用 [J]. *现代农业科技* 2009(4): 64-65.
- [4] 潘瑞炽. *植物生理学* [M]. 北京: 高等教育出版社 2004: 56-57.
- [5] 任全伟. 荷花的栽培繁殖 [J]. *中国花卉园艺* 2008(12): 12-15.
- [6] 张尚法, 孔向军. 太空莲子优质高效栽培技术 [J]. *四川农业科技* 2005(12): 12.
- [7] 黄素英, 郑宝东. 微波法乙醇提取莲子酚类物质的工艺 [J]. *亚热带农业研究* 2009, 5(3): 203-206.
- [8] Wu Jinzhong, Zheng Yuanbin, Chen Tiqiang et al. Evaluation of the quality of lotus seed of *Nelumbo nucifera* Gaertn. from outer space mutation [J]. *Food Chemistry*, 2007, 105: 540-547.
- [9] Yen Gowchin, Duh Pinder, Su Huiju. Antioxidant properties of lotus seed and its effect on DNA damage in human lymphocytes [J]. *Food Chemistry* 2005, 89: 379-385.
- [10] 刘伯康, 陈惠英, 颜国钦. 数种传统之食用植物甲醇萃取物抗氧化性之研究 [J]. *中国农业化学会志(中国台北)*, 1999, 37(1): 105-116.
- [11] 魏英辉, 黄新忠, 罗银华, 等. 子莲新品种“建选17号”亲本分子鉴定 [J]. *江西农业学报* 2007, 19(2): 43-45.
- [12] 郑宝东, 郑金贵, 曾绍校. 中国莲子种质资源遗传多样性的 RAPD 分析 [J]. *中国食品学报* 2006, 6(1): 138-143.
- [13] 唐辉, 李锋, 王满莲, 等. 广西岩溶特有药用植物广西美登木的光合生理特性研究 [J]. *河南农业科学* 2009(8): 113-116.
- [14] 曾小平, 赵平, 蔡锡安, 等. 25种南亚热带植物耐阴性的初步研究 [J]. *北京林业大学学报* 2006, 28(4): 88-95.
- [15] 白伟岚, 任建武, 高永伟, 等. 园林植物的耐荫性研究 [J]. *林业科技通讯*, 1999(2): 12-15.
- [16] 采列尼克. 木本植物耐阴性的生理学原理 [M]. 北京: 科学出版社, 1986: 180-196.