

# 合果木光合生理特性及水分利用特点的研究

马小英 焦根林\* (广东省深圳市仙湖植物园, 广东深圳518004)

**摘要** [目的] 了解合果木深圳大面积引种栽培后导致林下生物量少、土壤干燥等生态问题的原因。[方法] 采用Li-6400 便携式光合测定系统, 研究合果木的光合生理特性, 分析合果木的水分利用特点。[结果] 经过充分光诱导和CO<sub>2</sub> 诱导的合果木叶片光响应曲线符合非直角双曲线模型, CO<sub>2</sub> 响应曲线符合二次曲线方程。合果木光饱和点低, 为116.2 μmol/(m<sup>2</sup>·s), 表观光量子效率高达0.068 ± 0.005 μmol/mol, 合果木利用低强度光的效率高。合果木水分需求量大。当达到光饱和后, 净光合速率增长缓慢, 但气孔导度和蒸腾速率仍随光强的增强明显增大, 显示合果木在高光强下利用水分的能力差, 水分需求量大。[结论] 该研究对合理进行合果木的迁地保护和引种栽培有指导意义。

**关键词** 光响应曲线; CO<sub>2</sub> 响应曲线; 气孔导度; 蒸腾速率

中图分类号 S718.43 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)25-10787-03

## Photosynthetic Characteristics and Water Use Efficiency of *Paranichelia baillonii* of Magnoliaceae

MA Xiao ying et al (Shenzhen Fairy Lake Botanical Garden, Shenzhen, Guangdong 518004)

**Abstract** [Objective] The research aimed to find out the reasons for dried soil and few living plants under the trees of *Paranichelia baillonii* after which was introduced into Shenzhen. [Method] The photosynthetic characteristics and water use efficiency of *P. baillonii* were measured in the field with Li-6400 Portable Photosynthesis System. [Result] The response of photosynthesis to photon flux density fitted well with the non-rectangular hyperbola model and the response of photosynthesis to CO<sub>2</sub> concentration fitted well with a quadratic equation after the leaf induced by light and CO<sub>2</sub> adequately. The light saturation point of *P. baillonii* was rather low of only 116.2 μmol/(m<sup>2</sup>·s), and the apparent quantum yield were high to 0.068 ± 0.005 μmol/mol, indicating the plant's high efficiency in using low intensity light. *P. baillonii* needed mass water. The net photosynthetic rate leveled off when approximating the light saturation point, but the stomatal conductance and the transpiration rate kept the trend of rising, indicating *P. baillonii* was not efficient under the conditions of high light intensity. [Conclusion] This study had guiding significance in introduced culture and in ex situ conservation of *P. baillonii*.

**Key words** Light response curve; CO<sub>2</sub> response curve; Stomatal conductance; Transpiration rate

合果木 *Paranichelia baillonii* (Hérre) Hu] 生长迅速, 树干通直, 材质优异, 是国家2级重点保护植物, 渐危种, 全国各地对其进行了大量的迁地保护与引种栽培。笔者观测了引种栽培于深圳仙湖植物园的合果木林, 发现速生特性不明显, 林下草灌木种类和数量少, 土壤干燥, 生态效果差(图1)。因目前尚未见合果木水分利用特点及光合特性的相关研究报道, 笔者利用Li-6400 光合测定仪首次对其进行了研究, 以期从光合生理方面了解合果木的生理生态行为, 为合理保护和应用提供参考。



注:A 合果木林下; B 黄兰树下; C 深山含笑林下。

Note :A, Under the forest of *Paranichelia baillonii*; B, Under the tree of *Mchelia champaca*; C, Under the forest of *Mchelia maudiae*.

图1 植物生长情况

Fig.1 The growth situations of plants

## 1 材料与方法

**1.1 试验材料** 供试合果木于1997年从云南昆明采种育苗, 栽培于深圳仙湖植物园木兰园, 10年生。在2007年9月

中下旬的晴朗天气, 随机选取健康植株中下部冠层第3~4叶位上充分展开的成熟功能叶进行测定, 重复5次, 取平均值。

**1.2 测定项目与方法** 光合作用参数的测定采用Li-6400 便携式光合测定系统, 采用内置红蓝光源控制光合有效辐射强度, CO<sub>2</sub> 钢瓶提供碳源并由内置控制系统调节CO<sub>2</sub> 浓度。测定指标有净光合速率(Pn)、气孔导度(Cond)、胞间CO<sub>2</sub> 浓度(G)、蒸腾速率(T<sub>mmol</sub>)、气温(T<sub>air</sub>)、叶温(T<sub>leaf</sub>)、样品室相对湿度(RH<sub>S</sub>)、参比室相对湿度(RH<sub>R</sub>)和光合有效辐射强度(PAR)等。

**1.2.1 光响应曲线的测定。** 设定叶温28℃, CO<sub>2</sub> 浓度370 μmol/mol, 光强梯度为2000、1500、1000、800、600、500、450、400、350、300、250、200、150、100、50、25、0 μmol/(m<sup>2</sup>·s)。测定光响应曲线之前, 参考陈根云等的方法<sup>[1]</sup>, 对测定叶片进行1000 μmol/(m<sup>2</sup>·s) 光诱导60 min。利用Li-6400 光合仪的自动光响应曲线程序进行测量, 设置最小等待时间为120 s, 最长等待时间为240 s。测量过程中及时对仪器进行自动匹配操作。

**1.2.2 CO<sub>2</sub> 响应曲线的测定。** 设定叶温28℃, 光合有效辐射强度(PAR) 1200 μmol/(m<sup>2</sup>·s), CO<sub>2</sub> 浓度梯度为50、100、200、300、400、600、800、1000、1200、1500 μmol/mol。测定CO<sub>2</sub> 响应曲线之前, 先对测定叶片进行1000 μmol/(m<sup>2</sup>·s) 光诱导60 min, 然后按Flexas 等的方法<sup>[2]</sup> 在50 μmol/mol CO<sub>2</sub> 浓度下稳定30 min, 用Li-6400 自动程序进行CO<sub>2</sub> 响应曲线的测定, 设置最小等待时间为120 s, 最长等待时间为240 s, 测量过程中及时对仪器进行自动匹配操作。

**1.3 数据分析** 记录数据导入计算机后, 用Excel 读取, 并用Origin 软件进行光合作用响应曲线拟合分析。光响应曲线采用非直角双曲线模型<sup>[3]</sup> 分析, 方程如下:

$$A = \frac{Q + A_{max} - [(Q + A_{max})^2 - 4KQA_{max}]^{1/2}}{2K} - R_d \quad (1)$$

式中, A 为净光合速率; Q 为光有效辐射; 为表观量子效

作者简介 马小英(1977-), 女, 湖北云梦人, 硕士, 从事木兰科植物保护生物学方面的研究。\* 通讯作者。

收稿日期 2008-06-24

率;  $A_{\max}$  为最大光合速率;  $k$  为曲角;  $R_d$  为暗呼吸速率。

光饱和点 ( $LSP = A_{\max}/$  )、最大净光合速率 ( $P_n$ )、表观光合量子效率 ( )、暗呼吸速率 ( $R_d$ ) 均由非直角双曲线模型拟合得到。

$CO_2$  响应曲线用二次曲线进行拟合。 $CO_2$  饱和点为  $P_n$  最大时胞间  $CO_2$  浓度。 $CO_2$  补偿点 ( )、羧化效率 (CE) 的计算按蔡时青等的方法<sup>[4]</sup>, 以胞间  $CO_2$  浓度 ( $G$ ) 为横坐标,  $P_n$  为纵坐标作图, 在胞间  $CO_2 < 400 \mu\text{mol}/\text{mol}$  时用  $P_n$  和  $G$  作线性回归分析, 所得回归方程的斜率和在  $x$  轴的截距即为  $CE$ 。

## 2 结果与分析

### 2.1 光合特性

**2.1.1 光照强度对光合速率的影响。**测定植物对光强变化的生理反应, 可以了解其对生态环境条件的适应性<sup>[5]</sup>。图2是合果木叶片光响应的测量数据和利用非直角双曲线模型进行拟合得到的曲线, 拟合曲线相关系数  $R^2 = 0.9988$ , 拟合效果非常好, 表明经过充分光诱导的合果木叶片光响应曲线符合非直角双曲线模型。拟合结果表明, 表观光量子效率 ( )  $0.068 \pm 0.005 \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 暗呼吸速率 ( $R_d$ )  $0.62 \pm 0.08 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 最大净光合速率 ( $P_n$ )  $7.90 \pm 0.12 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 光饱和点 ( $LSP$ )  $116.2 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ , 光补偿点 ( $LCP$ )  $8.6 \mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ 。合果木表观光量子效率高, 在低光强区域净光合速率上升很快, 表明合果木有较高的弱光利用率。

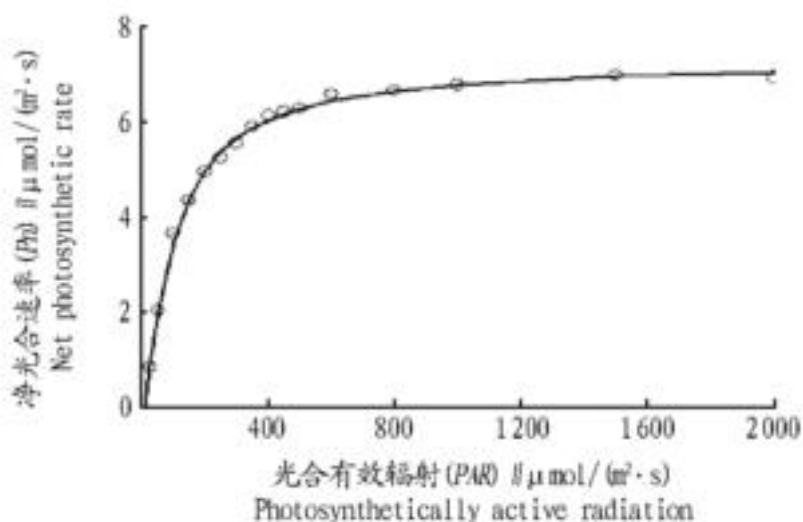


图2 光照强度对合果木叶片光合速率的影响

Fig 2 The effects of light intensity on the photosynthetic rate of *P. baillonii* leaves

**2.1.2  $CO_2$  浓度对光合速率的影响。** $CO_2$  作为光合作用的底物, 其浓度的高低直接影响植物光合作用。图3是合果木叶片净光合速率 ( $P_n$ ) 对胞间  $CO_2$  浓度 ( $G$ ) 的响应情况, 用二次曲线进行拟合的结果显示合果木叶片  $P_n$  对  $G$  的响应符合二次曲线。图4为外界提供的  $CO_2$  浓度与胞间  $CO_2$  浓度 ( $G$ ) 的关系, 可见当外界  $CO_2$  浓度在  $50 \sim 1500 \mu\text{mol}/\text{mol}$  时, 胞间  $CO_2$  浓度 ( $G$ ) 与外界  $CO_2$  浓度线性关系明显,  $R^2$  达  $0.9974$ 。结合图3、图4, 胞间  $CO_2$  浓度在  $0 \sim 300 \mu\text{mol}/\text{mol}$  (外界  $CO_2$  浓度在  $0 \sim 400 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ) 时,  $P_n$  与胞间  $CO_2$  浓度呈线性关系, 相关系数  $R^2$  高达  $0.9972$ , 羧化效率 (CE) 与  $CO_2$  补偿点 ( ) 分别为  $0.0278 \pm 0.0007$  和  $80.6 \mu\text{mol}/\text{mol}$ ; 光合作用的最大值出现在胞间  $CO_2$  浓度 ( $G$ )  $768.7 \mu\text{mol}/\text{mol}$  时, 对应的外界  $CO_2$  浓度为  $1051.8 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。合果木的  $CO_2$  饱和点 (CSP) 为  $768.7 \mu\text{mol}/\text{mol}$ 。

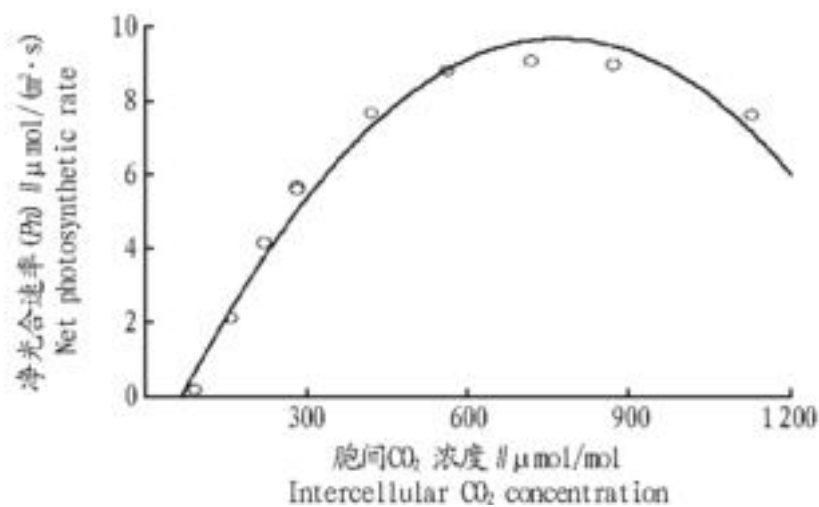


图3 合果木叶片光合速率 ( $P_n$ ) 对胞间  $CO_2$  浓度的响应

Fig 3 The response of the photosynthetic rate in *P. baillonii* leaves to the intercellular  $CO_2$  concentration

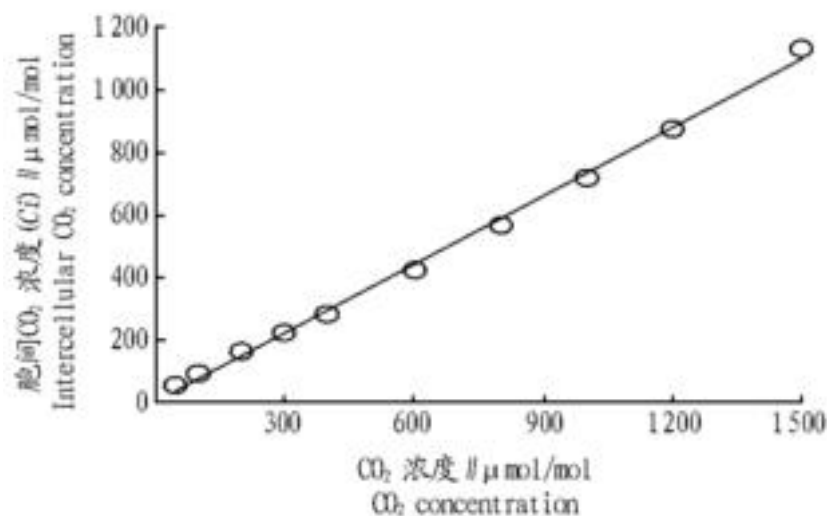


图4 外界  $CO_2$  浓度与胞间  $CO_2$  浓度的关系

Fig 4 The correlation between the external  $CO_2$  concentration and the intercellular  $CO_2$  concentration

**2.1.3 合果木的气孔行为。**由图5、6可知, 随着光强的增加, 气孔导度不断增加, 与此同时, 在光强小于光饱和点时,

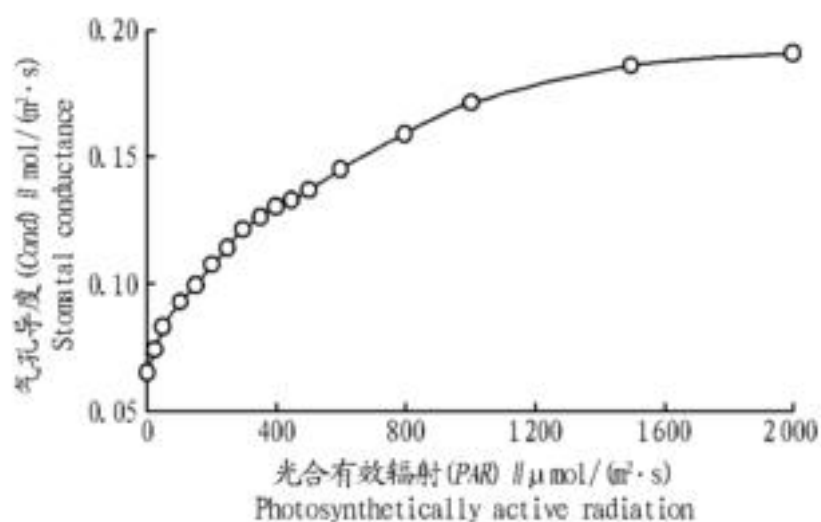


图5 光照强度对合果木叶片气孔导度的影响

Fig 5 The effects of light intensity on the stomatal conductance of *P. baillonii* leaves

胞间  $CO_2$  浓度 ( $G$ ) 呈线性下降趋势, 推测该阶段光强的增强诱导了光合相关酶的活性, 及时同化了胞间  $CO_2$ , 使胞间  $CO_2$  浓度呈线性下降。光强大于光饱和点之后, 胞间  $CO_2$  浓度的变化逐渐发生逆转, 但变化幅度较小, 基本维持在  $270 \sim 280 \mu\text{mol}/\text{mol}$ , 推测该阶段叶片同化  $CO_2$  的能力可能主要受到外界  $CO_2$  浓度的限制, 气孔导度的增加对胞间  $CO_2$  浓度的影响有限。

**2.2 水分利用特点** 由图7可知, 随着光强的增加, 蒸腾速率持续上升, 其变化趋势与光照强度对叶片气孔导度的影响一致。可见, 光照强度的增加刺激了植物叶片气孔导度的增

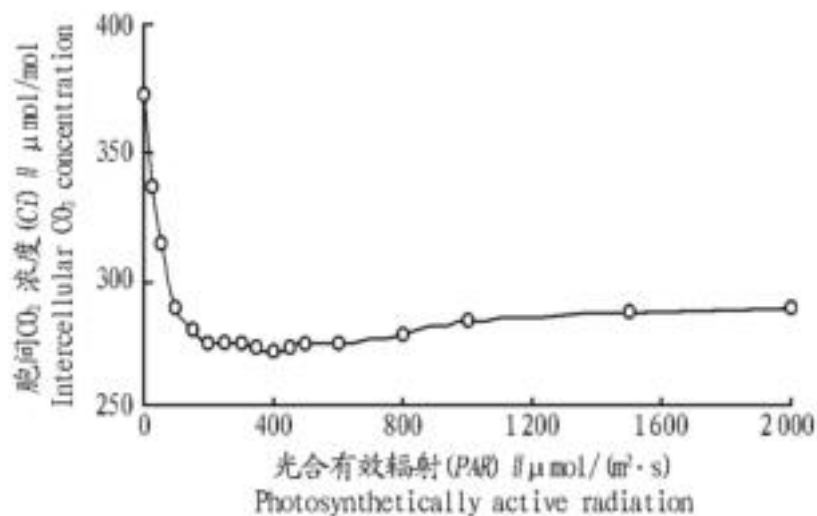


图6 光照强度对合果木叶片胞间CO<sub>2</sub>浓度的影响

Fig.6 The effects of light intensity on the intercellular CO<sub>2</sub> concentration in *P. baillonii* leaves

加,使植物通过蒸腾作用更容易失水,致使蒸腾速率持续上升。结合图2、5,净光合速率接近最大净光合速率后,净光合速率增加不明显,但气孔导度、蒸腾速率保持继续上升。水分利用效率(WUE) = 净光合速率/蒸腾速率,可见在净光合速率接近最大值后,大量水分随气孔导度的增加通过叶片蒸腾丧失,对植物光合产物的积累没有明显贡献,水分利用效率低。

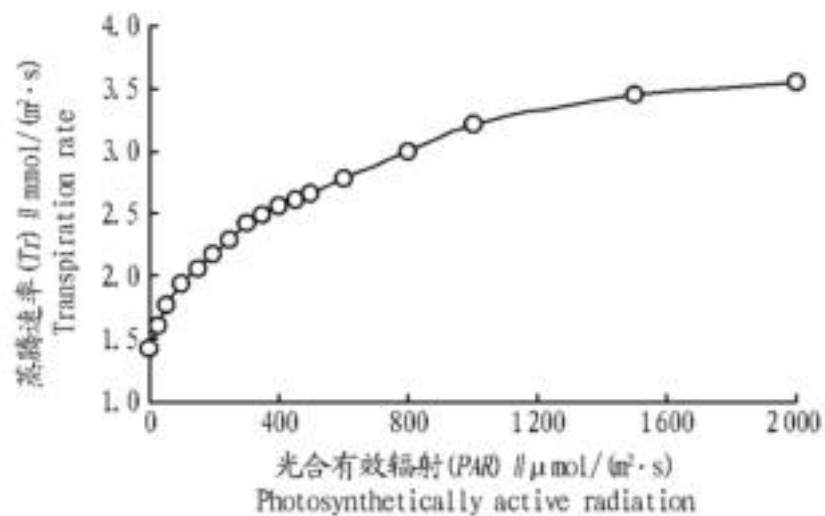


图7 光照强度对合果木蒸腾速率的影响

Fig.7 Effects of light intensity on the transpiration rate in *P. baillonii* leaves

### 3 讨论

(1) 光饱和点反映了植物对光照条件的要求。合果木光饱和点为116.2 μmol/(m<sup>2</sup>·s),大幅低于木兰科其他物种的光饱和点,一方面表明合果木要求的光照强度不高,另一方面与光饱和点的计算方法不同有关。红花木莲<sup>[6]</sup>、白玉兰<sup>[7]</sup>、鹅掌楸<sup>[8]</sup>、厚叶木莲<sup>[9]</sup>、华木莲<sup>[10]</sup>等的光饱和点均在1000 μmol/(m<sup>2</sup>·s)以上,其光饱和点是根据实测数据估算得到的一个大概值,而该研究中合果木光响应曲线经常用的经验方

程<sup>[3]</sup>非直角双曲线模型拟合后,拟合效果好,使光饱和点、暗呼吸速率等光合参数均得到一个确定值,增强了不同物种间光合参数的可比性。

(2) 合果木的表观光合量子效率为0.068 ± 0.005 μmol/mol,明显高于红花木莲<sup>[6]</sup>、白玉兰<sup>[7]</sup>、鹅掌楸<sup>[8]</sup>、厚叶木莲<sup>[9]</sup>、华木莲<sup>[10]</sup>等的表观光合量子效率(0.02 ~ 0.05 μmol/mol),表明合果木利用低强度光的效率高,不宜种植于高光强的环境中。与马小英等对紫花含笑、苦梓含笑光合特性的研究<sup>[11]</sup>进行比较,发现合果木和2种含笑的表现光量子效率均较高。这可能与合果木属、含笑属的亲缘关系较近<sup>[12]</sup>有关,尚需进一步研究。

(3) 合果木水分利用率低,水分需求大。合果木气孔导度和蒸腾速率随光强的增加不断增大,但净光合速率接近最大值以后,净光合速率增加不明显,表明合果木净光合速率接近最大值后水分利用率较低。合果木的光饱和点低,一般晴朗天气条件下直射光的强度都会超过合果木饱和光强,而超过饱和光强后,气孔的持续张大使得蒸腾速率持续增强,可见直射光条件下合果木对水分需求很大。这可能是合果木林冠下草灌木种类和数量少、土壤干燥的主要原因。合果木与林下其他物种的生态关系尚有待进一步研究。

### 参考文献

- [1] 陈根云,俞冠路,陈悦,等. 光合作用对光和二氧化碳响应的观测方法探讨[J]. 植物生理与分子生物学学报,2006,32(6):691-696.
- [2] FLEXAS J,BOITA J,LORETO F, et al. Diffusive and metabolic limitations under drought and salinity in C3 plants[J]. Plant Biology,2004,6:269-279.
- [3] WALKER D A. Automated measurement of leaf photosynthetic O<sub>2</sub> evolution as a function of photon flux density[J]. Phil Trans R Soc Lond B Biol Sci,1989,323:313-326.
- [4] 蔡时青,许大全. 大豆叶片CO<sub>2</sub>补偿点和光呼吸的关系[J]. 植物生理学报,2000,26(6):545-550.
- [5] 孙谷畴,赵平,曾小平,等. 不同光强下焕镛木和观光木的光合参数变化[J]. 植物生态学报,2002(3):355-362.
- [6] 黎明,马焕成,李福秀. 红花木莲苗期光合特性研究[J]. 西部林业科学,2004(2):42-45.
- [7] 张苏峻,阮宏华,胡海波,等. 绿化树种白玉兰的光合特性[J]. 南京林业大学学报,2002(5):64-66.
- [8] 郭志华,张宏达,李志安,等. 鹅掌楸苗期光合特性的研究[J]. 生态学报,1999(2):22-27.
- [9] 孙谷畴,赵平,曾小平,等. 不同光强下生长的厚叶木莲光合作用光响应的变化[J]. 应用与环境生物学报,2001(3):213-218.
- [10] 郭起荣,俞志雄,施建敏. 华木莲与木莲属两树种光合生理生态研究[J]. 江西农业大学学报,2003(5):645-651.
- [11] 马小英,焦根林. 紫花含笑和苦梓含笑光合生理特性的研究[J]. 广东林业科技,2008(2):10-13.
- [12] 刘玉壶,曾庆文,周仁章,等. 中国木当[M]. 北京:科学技术出版社,2004:381-383.
- [13] 侯新村,牟洪香,高东升,等. 设施桃树CO<sub>2</sub>施肥过程中的光合适应现象[J]. 安徽农业科学,2007,35(9):2553-2554.
- [14] 孙达丽. 铝胁迫对大豆叶光合作用特性的影响[J]. 安徽农业科学,2006,35(14):3280,3288.