

# 美丽异木棉光合特性的研究

吴吉林 李永华 叶庆生\*

(华南师范大学生命科学学院, 广东省植物发育生物工程重点实验室, 广州 510631)

**摘要:** 对美丽异木棉光合特性进行了研究。结果表明: 美丽异木棉的光饱和点和补偿点分别约为 1 600和  $35 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 表观量子效率为 0.0263;  $\text{CO}_2$  饱和点和补偿点分别约为 1 000和  $59 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 羧化效率为 0.0622; 光合适温为  $24 \sim 28$  ; 晴天的净光合速率日变化为双峰曲线, 次峰明显低于首峰;  $P_n$ 季节变化也为双峰曲线;  $P_n$ 与气孔导度呈显著正相关, 与蒸腾速率、光照强度呈正相关, 与胞间  $\text{CO}_2$  浓度呈显著负相关, 但与温度的相关性不明显。

**关键词:** 美丽异木棉; 光合特性; 生理生态因子; 相关性

**中图分类号:** S 685 **文献标识码:** A **文章编号:** 0513-353X (2005) 06-1061-04

## Studies on Photosynthesis Characteristics of *Chorisia speciosa*

Wu Jilin, Li Yonghua, and Ye Qingsheng\*

(College of Life Science, South China Normal University, Guangdong Key Laboratory of Biotechnology for Plant Development, Guangzhou 510631, China)

**Abstract:** The photosynthetic characteristics of leaves in *Chorisia speciosa* were studied. The results were as follow: The light saturated point and compensate point of leaves of *Chorisia speciosa* were about 1 600 and  $35 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  respectively, while the apparent quantum efficiency was 0.0263; The  $\text{CO}_2$  saturated point and compensate point were about 1 000 and  $59 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  respectively, while the carboxy efficiency was 0.0622; The optimal temperature of photosynthesis ability was  $24 - 28$  ; The diurnal variation of net photosynthetic rate of leaves in sunny days exhibited bimodal curve, with a lower value of the second peak than that of the first peak, whereas, a bimodal curve of the seasonal variation of  $P_n$  was observed;  $P_n$  had a significantly positive relationship with stomata conductance and a positive relationship with transpiration rate and photosynthetic active radiation, but a obvious negative relationship with intercellular  $\text{CO}_2$  concentration. The relationship between  $P_n$  and air temperature was indefinite.

**Key words:** *Chorisia speciosa*; Photosynthesis characteristics; Physio-ecological factor; Correlation

美丽异木棉 (*Chorisia speciosa*) 又名美人树, 为木棉科异木棉属落叶乔木, 原产于南美洲, 当地9月份开花, 花期延续达3个月之久, 于20世纪80年代初引入我国广州。美丽异木棉生长速度快, 在广州10~12月开花, 盛开时花多叶少, 适用于园林绿化和行道树。目前国内外对其繁殖、栽培等方面有一些报道<sup>[1]</sup>, 但光合特性方面的研究甚少。本研究拟通过对美丽异木棉光合特性及其生理生态等影响因子的研究, 为其引种栽培提供理论依据。

## 1 材料与方法

试验于华南师范大学生物园进行。试材为3年生美丽异木棉植株, 定植密度  $1.5 \text{ m} \times 1.5 \text{ m}$ , 进行常规管理。

于2004年5~11月, 分别选取树冠东南方向中上部的当年生新梢, 从上数第3~4片展开的功能

收稿日期: 2005-01-17; 修回日期: 2005-03-29

基金项目: 广东省自然科学基金项目 (003062); 广东省重点科技攻关项目 (2002C20120); 广东省自然科学基金重点项目 (04105806)

\* 通讯作者 Author for correspondence (E-mail: ye-lab@scln.edu.cn)

叶, 用便携式光合测定仪 (LI-6400, LICOR, NE, USA) 测定各项指标, 3次重复, 每重复测定 3~5片叶, 取平均值。

净光合速率 ( $P_n$ ) 日变化: 于 7月中旬选择 3个晴天从 7~18时, 每 1 h测定 1次。 $P_n$ 季节变化: 于 5~11月每月中旬选择 3个晴天, 9~10时测定。

$P_n$ 的光响应曲线及表观量子效率 (AQY): 在  $0 \sim 1\,800\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  范围内设定光合有效辐射 (PAR) 梯度, 测定叶片  $P_n$  (5次重复, 取平均值)。将  $P_n$  和 PAR 的成对值进行二元回归, 得到光补偿点、饱和点及相关性; 将  $250\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以内的 PAR 和  $P_n$  成对值进行直线回归, 斜率即为 AQY。测定时  $\text{CO}_2$  浓度设为  $380\ \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ , 空气温度 ( $T_{\text{air}}$ ) 设为  $25^\circ\text{C}$ , 相对湿度 (RH) 设为 70%。

$P_n$ 的  $\text{CO}_2$  响应曲线及羧化效率 (CE): 在  $0 \sim 800\ \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  范围内设定  $\text{CO}_2$  浓度梯度, 测定  $P_n$ 。将  $P_n$  和 PAR 的成对值进行二元回归, 得到  $\text{CO}_2$  补偿点、饱和点及相关性; 将  $250\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以内的胞间  $\text{CO}_2$  浓度 ( $C_i$ ) 和  $P_n$  成对值进行直线回归, 斜率即为 CE。测定时设 PAR 为  $1\,000\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $T_{\text{air}}$  与 RH 同上。

$P_n$ 的温度响应曲线: 在  $16 \sim 40^\circ\text{C}$  (7月) 温度范围内, 以  $4^\circ\text{C}$  为梯度测定  $P_n$  (5次重复, 取平均值), 测定时 PAR 设为  $1\,000\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,  $\text{CO}_2$  浓度和 RH 同上。

光饱和点和  $\text{CO}_2$  饱和点采用图示法和回归曲线法求得, 然后取两种方法的平均值。

## 2 结果与分析

### 2.1 $P_n$ 的光响应曲线及表观量子效率

经二元回归分析可得美丽异木棉  $P_n$  - PAR 曲线方程 (图 1), 当 PAR 约为  $35\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,  $P_n$  为 0, 说明其光合作用光补偿点约为  $35\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。PAR 在  $0 \sim 400\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  内, 随着 PAR 的增强,  $P_n$  迅速增大; 当 PAR 为  $1\,600\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右时, 达到  $P_n$  的最大值 (约  $17\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 说明其光饱和点约为  $1\,600\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。与香椿<sup>[2]</sup>、琯溪蜜柚<sup>[3]</sup>等植物的光饱和点和光补偿点比较, 美丽异木棉的光饱和点较高, 而光补偿点较低。说明其具有阳生的特点, 对环境的适应能力很强, 适合在热带、亚热带较大纬度范围内栽培。虽然当光强超过  $1\,600\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  时,  $P_n$  开始降低, 但其光饱和点占到了最大日照强度 (约  $1\,700 \sim 1\,900\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) 的 80%~90%, 并且其  $P_n$  ( $\text{CO}_2$ ) 最大值达到  $17\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右, 这可能是美丽异木棉生长较快的重要原因之一。将 PAR 在  $250\ \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  范围内的 PAR 变化和  $P_n$  变化进行直线回归得到回归方程, 从而可以得出叶片的 AQY 为 0.0263 左右, 即表观量子需要量约为 36。

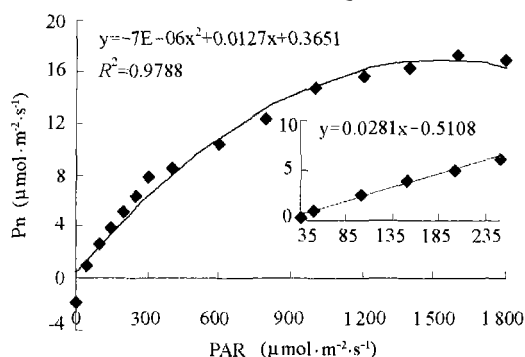


图 1 光合作用 - 光响应曲线

Fig. 1 The response curve of  $P_n$  to PAR

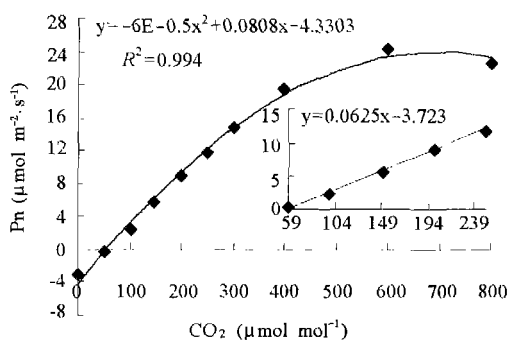


图 2 光合作用 -  $\text{CO}_2$  响应曲线

Fig. 2 The response curve of  $P_n$  to  $\text{CO}_2$

### 2.2 $P_n$ 对 $\text{CO}_2$ 的响应曲线及羧化效率

通过二元回归分析, 可得到美丽异木棉的  $P_n$  -  $\text{CO}_2$  曲线方程 (图 2)。当  $\text{CO}_2$  浓度在  $59\ \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$

$\text{mol}^{-1}$ 左右时,  $P_n$ 值为 0, 表明其  $\text{CO}_2$  补偿点约为  $59 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 。 $\text{CO}_2$  浓度在  $0 \sim 600 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$  范围内, 随着浓度的升高,  $P_n$ 快速增大; 当  $\text{CO}_2$  浓度达到  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 左右时,  $P_n$ 最大 (约为  $23 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 表明其  $\text{CO}_2$  饱和点在  $1000 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ 左右。与香椿 ( $\text{CO}_2$  饱和点  $1314.9 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $\text{CO}_2$  补偿点  $98.1 \mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) [2]等植物比较, 美丽异木棉的  $\text{CO}_2$  饱和点和补偿点都比较低, 反映其能较充分利用大气中低浓度的  $\text{CO}_2$ 。这可能也是美丽异木棉能够快速生长的一个重要原因。将  $\text{CO}_2$  在  $300 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围内的  $\text{CO}_2$  浓度变化与  $P_n$ 变化进行直线回归得到回归方程, 从图中可以得到美丽异木棉叶片的 CE 约为 0.0622, 表明每固定 1 个  $\text{CO}_2$  分子需要的  $\text{CO}_2$  分子数约为 16。

### 2.3 $P_n$ 对大气温度的响应曲线

采取二元回归分析,  $P_n - \text{Tair}$ 响应方程见图 3。 $P_n$ 在  $16 \sim 24$  范围内随着  $\text{Tair}$ 的升高而上升; 当大气温度在  $24 \sim 28$  时, 达到最大  $P_n$  (约为  $21 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ), 当大气温度超过 28 后,  $P_n$ 随着  $\text{Tair}$ 的升高而下降。说明美丽异木棉光合作用的最适温度为  $24 \sim 28$ 。

### 2.4 $P_n$ 的日变化及与主要生理生态因子的关系

由图 4可以看出: 美丽异木棉  $P_n$ 日变化呈典型的双峰曲线。从 7~9 时,  $P_n$ 呈快速上升趋势, 于 9 时左右出现首峰, 峰值约为  $13 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 9~13 时呈下降趋势, 并且在 13 时左右达到最低点  $8 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; 然后又略有上升, 于 14 时左右出现次峰; 之后呈逐渐下降, 18 时左右下降到约  $4 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。次峰明显低于首峰, 两峰间有一低谷, 说明美丽异木棉有“光合午休”现象, 这可能与中午光照强、温度高、空气湿度低、 $\text{CO}_2$  亏缺、气孔部分关闭及 RuBP 羧化酶活性降低等生态、生理和生化因子有关 [4,5]。

7~10 时  $G_s$ 、 $\text{Tr}$ 和  $\text{PAR}$ 均呈逐渐上升的趋势, 并且  $\text{Tr}$ 和  $\text{PAR}$ 一直持续上升到 12 时; 而  $P_n$ 在 7~9 时上升, 在 9~10 时与  $G_s$ 、 $\text{Tr}$ 和  $\text{PAR}$ 的变化趋势相反; 10~13 时  $P_n$ 与  $G_s$ 呈逐步下降的同步变化趋势; 9~14 时  $P_n$ 变化趋势为先降后升, 而  $\text{Tr}$ 、 $\text{PAR}$ 变化趋势为先升后降;  $G_s$ 和  $\text{Tr}$ 在 14~15 时呈上升趋势, 而  $P_n$ 和  $\text{PAR}$ 呈下降趋势; 15 时后, 四者都呈下降趋势;  $\text{Ci}$ 只在 10~11 时与 14~16 时为上升趋势, 其两个低谷出现的时间与  $P_n$ 的两个高峰一致, 分别在 9 时和 14 时。 $\text{Tair}$ 变化为钟型曲线, 7~14 时持续上升, 于 14 时达到最大值, 以后逐渐下降。经相关分析:  $G_s$ 与  $P_n$ 的相关系数为  $0.845^{**}$ , 为显著的正相关;  $\text{Tr}$ 和  $\text{PAR}$ 与  $P_n$ 只是为正相关;  $\text{Ci}$ 与  $P_n$ 的相关系数为  $-0.8029^{**}$ , 为显著负相关。

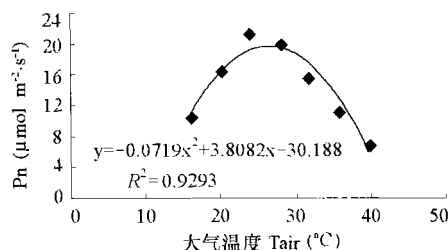


图 3 光合作用-大气温度响应曲线

Fig. 3 The response curve of  $P_n$  to air temperature

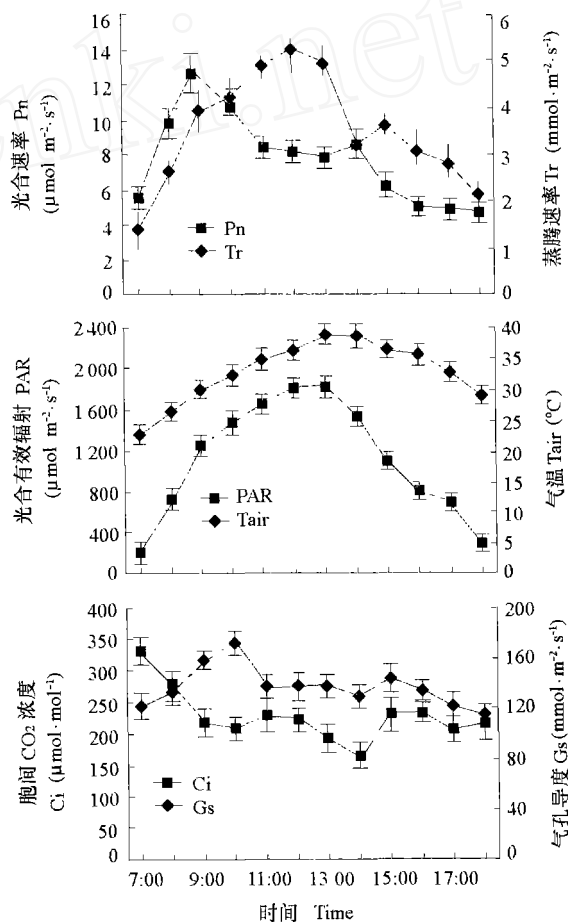


图 4 美丽异木棉叶片  $P_n$ 、 $\text{Ci}$ 、 $G_s$ 、 $\text{Tr}$ 、 $\text{PAR}$ 、 $\text{Tair}$  的日变化

Fig. 4 Diurnal variation of  $P_n$ ,  $\text{Ci}$ ,  $G_s$ ,  $\text{Tr}$ ,  $\text{PAR}$  and  $\text{Tair}$  in *Chorisia speciosa*

而  $T_{air}$  与  $P_n$  在 7~9 时和 14~18 时的相关系数分别为  $0.924^{**}$  和  $0.887^{**}$ , 为显著的正相关, 在 9~14 时的相关系数为  $-0.864^{**}$ , 为显著的负相关, 但全天相关性不明显。

## 2.5 $P_n$ 的季节性变化

从 5~11 月份, 美丽异木棉  $P_n$  季节性变化 (表 1) 表现为典型的双峰曲线。6 月份  $P_n$  最高, 约为  $18 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , 7、8 月份依次降低, 9 月份回升并出现另一高峰 ( $15 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  左右)。5~6 月的  $P_n$  迅速增加可能与两个因素有关: 一是随着叶片的展开, 与叶片自身形态建成相关的呼吸作用减弱, 二是光合机构逐渐完善, 特别是一些关键酶如 Rubisco 等活性的增加<sup>[5]</sup>; 7、8 月份  $P_n$  的降低可能是高温和强光等不利的因子所致; 9 月份的回升可能与温度和光强等相对 7、8 月份降低有关; 而 10~11 月份  $P_n$  的降低则与叶片逐渐衰老、光合机构被破坏等有关<sup>[5]</sup>。从表 1 可以看出, 美丽异木棉生长季节的光合速率都较高, 能够作为其生长发育较快的一个很好的解释。

表 1 美丽异木棉叶片  $P_n$  的季节变化

Table 1 Seasonal variation of  $P_n$  in *Chorisia speciosa*

月份 Month	温度 Temperature( )	光合有效辐射 PAR ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	蒸腾速率 $T_r$ ( $\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	胞间 $\text{CO}_2$ 浓度 $C_i$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	气孔导度 $G_s$ ( $\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )	光合速率 $P_n$ ( $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )
5	28.3 $\pm$ 1.61	1 129 $\pm$ 54	3.61 $\pm$ 0.33	236 $\pm$ 11.1	0.13 $\pm$ 0.03	10.16 $\pm$ 0.57
6	34.2 $\pm$ 1.75	1 475 $\pm$ 72	4.52 $\pm$ 0.25	178 $\pm$ 4.3	0.23 $\pm$ 0.05	18.15 $\pm$ 0.85
7	35.8 $\pm$ 1.44	1 856 $\pm$ 83	4.36 $\pm$ 0.22	236 $\pm$ 13.6	0.18 $\pm$ 0.06	13.14 $\pm$ 0.60
8	37.5 $\pm$ 1.52	1 877 $\pm$ 75	3.32 $\pm$ 0.18	240 $\pm$ 10.4	0.11 $\pm$ 0.05	8.52 $\pm$ 0.78
9	32.4 $\pm$ 1.47	1 710 $\pm$ 87	5.03 $\pm$ 0.35	185 $\pm$ 12.8	0.18 $\pm$ 0.03	15.05 $\pm$ 0.63
10	31.4 $\pm$ 1.63	1 523 $\pm$ 69	3.79 $\pm$ 0.27	192 $\pm$ 13.2	0.15 $\pm$ 0.07	12.57 $\pm$ 0.66
11	25.6 $\pm$ 1.32	1 419 $\pm$ 65	3.35 $\pm$ 0.32	225 $\pm$ 10.5	0.14 $\pm$ 0.02	10.68 $\pm$ 0.49

## 3 小结

美丽异木棉光合作用的光饱和点较高, 而补偿点较低;  $\text{CO}_2$  饱和点和  $\text{CO}_2$  补偿点都较低; 最适生长温度为  $24 \sim 28$ 。在栽培管理中可以利用这些特性采取有利的措施, 如夏季中午遮阴、冬季提高苗圃内温度等, 以促进其生长。

美丽异木棉 7、8 月份光合作用降低及中午出现“午休”的原因主要是强光、高温、低湿和土壤干旱等, 特别是气温或叶温过高引起了气孔的部分关闭。在美丽异木棉的栽培实际中, 特别是在夏季高光强下出现的干热天气, 要注意降温、保湿, 如采用生草法、人工覆草、叶面喷雾等降低周围小环境的温度, 减弱光合抑制的程度。

植物的光合作用受生理生态因子的综合影响, 由于简单的相关性分析方法显得有些片面, 并且因子间的互作 (如  $T_{air}$  与  $C_i$ ) 对光合作用的影响不是很清楚, 因此生理生态因子与光合作用的关系还有待今后进一步探求。

## 参考文献:

- 施金全. 美人树、紫檀和小叶榄仁的引种与栽培. 亚热带植物科学, 2001, 30 (4): 45~48  
Shi J Q. Introduction and cultivation of *Chorisia speciosa*, *Pterocarpus indicus* and *Ternstroemia alba*. Subtropical Plant Science, 2001, 30 (4): 45~48 (in Chinese)
- 徐 坤, 康立美. 香椿光合特性研究. 园艺学报, 1999, 26 (3): 180~183  
Xu K, Kang L M. Studies on photosynthesis characteristics of Chinese toon. Acta Horticulturae Sinica, 1999, 26 (3): 180~183 (in Chinese)
- 易干军, 姜小文, 霍合强, 张秋明, 周碧容. 琯溪蜜柚光合特性的研究. 园艺学报, 2003, 30 (5): 519~524  
Yi G J, Jiang X W, Huo H Q, Zhang Q M, Zhou B R. Studies on photosynthesis characteristics of Guanxi Miyou pomeelo variety. Acta Horticulturae Sinica, 2003, 30 (5): 519~524 (in Chinese)
- 叶庆生, 潘瑞炽, 丘才新. 墨兰叶片结构及光合作用的研究. 植物学报, 1992, 34 (10): 771~776  
Ye Q S, Pan R C, Qiu C X. Study on leaf anatomy and photosynthesis of *Cymbidium sinense*. Acta Botanica Sinica, 1992, 34 (10): 771~776 (in Chinese)
- 许大全. 光合作用效率. 上海: 上海科学技术出版社, 2002 39~52  
Xu D Q. Photosynthetic efficiency. Shanghai: Shanghai Science Technology Press, 2002 39~52 (in Chinese)