

三种濒危木兰植物幼树光合特性对高温的响应

李芸瑛^{1,2}, 窦新永¹, 彭长连^{1,*}

(1. 广东省植物发育生物工程重点实验室, 华南师范大学生命科学学院, 广州 510631; 2. 肇庆学院生命科学学院, 肇庆 526061)

摘要:以 3 种木兰科濒危植物香木莲、大叶木莲及大果木莲为试材, 利用 LI-6400 便携式光合作用测量系统、叶圆片氧电极仪及叶绿素荧光仪, 在夏季对其气体交换特性及叶绿素荧光参数等进行了测定。结果表明, 3 种木兰幼树叶片净光合速率(P_n)的日变化曲线呈双峰型, 第 1 个峰出现在 08:00, 第 2 个峰出现在 14:00 ~ 16:00, 12:00 有明显的光合“午休”现象。3 种木兰植物的最大净光合速率(P_{max})为 $5.2 \sim 7.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 光补偿点(LCP)为 $14 \sim 17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 光饱和光强(LSP)为 $500 \sim 800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 大叶木莲的 P_{max} 、 LSP 和表观量子产额(AQY)显著高于香木莲和大果木莲。随着温度升高, 3 种木兰植物光合放氧速率先升后降, 最适温度为 35°C , 香木莲的放氧速率显著低于大叶木莲和大果木莲。短期高温胁迫下($45 \sim 50^\circ\text{C}$) 3 种木兰植物的 PS II 最大光化学效率(F_v/F_m)均明显降低, 初始荧光(F_0)升高, 大叶木莲的 F_v/F_m 降幅和 F_0 的升幅均显著低于香木莲和大果木莲。3 种木兰植物的光合速率和耐高温能力的顺序为大叶木莲 > 大果木莲 > 香木莲。

关键词:木兰科植物; 高温; 光合特性; 响应; 叶绿素荧光

文章编号: 1000-0933(2008)08-3789-09 中图分类号: Q948 文献标识码: A

Response of photosynthesis in saplings of three endangered *Magnolia* species to high temperature

LI Yun-Ying^{1,2}, DOU Xin-Yong¹, PENG Chang-Lian^{1,*}

1 College of Life Science, Guangdong Provincial Key Laboratory of Bioengineering for Plant Development, South China Normal University, Guangzhou 510631, China

2 College of Life Science, Zhaoqing University, Zhaoqing 526061, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(8): 3789 ~ 3797.

Abstract: The gas exchange feature and chlorophyll fluorescence parameters in seedlings of three endangered *Magnolia* species (*M. aromatica*, *M. megaphylla* and *M. grandis*.) were determined by LI-6400 portable photosynthesis analysis system (LI-6400, Li-cor USA), leaf disc oxygen electrode (Hansatch, King's Lynn UK) and chlorophyll fluorometer (Maxi-Imaging-Pam, Walz, Germany) in summer. The results showed that the diurnal variation of net photosynthetic rate in leaves of three plants presented a two-peak curve pattern. The first peak and second peak occurred at about 08:00 and at 14:00 – 16:00, respectively. An obvious phenomenon of “midday depression of photosynthesis” was observed at noon. Maximum photosynthetic rates (P_{max}) were $5.2 - 7.4 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, light compensation points (LCP) for photosynthesis

基金项目: 广东省热带亚热带植物种质资源库建设资助项目(2005B60301001); 国家自然科学基金资助项目(30770173)

收稿日期: 2007-10-15; 修订日期: 2008-03-26

作者简介: 李芸瑛(1964 ~), 河南鄢陵人, 硕士, 副教授, 主要从事植物生理生态研究. E-mail: liyy@zqu.edu.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: pengchl@scib.ac.cn

致谢: 中国科学院华南植物园林植芳教授对本研究给予帮助; 中国科学院华南植物园木兰园提供植物材料; 上海泽泉科技有限公司顾群先生提供叶绿素荧光影像仪

Foundation item: The project was financially supported by the program of tropical and subtropical plant germplasm construction in Guangdong Province (No. 2005B60301001); the National Natural Science Foundation of China (No. 30770173)

Received date: 2007-10-15; **Accepted date:** 2008-03-26

Biography: LI Yun-Ying, Master, Associate professor, mainly engaged in plant physiological ecology. E-mail: liyy@zqu.edu.cn

were $14 - 17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, and the light saturation intensities (LSP) were $500 - 800 \mu\text{molm}^{-2} \text{s}^{-1}$ in leaves of three *Magnoliatia* plants. The P_{max} , LSP and apparent quantum yield (AQY) of *M. megaphylla* were significantly higher than that of the other two plants. Under saturated CO_2 concentration, the oxygen evolution rate increased firstly with increasing temperature and decreased thereafter. the optimal temperature were around 35°C in three plants of *Magnoliatia*. Leaves of *M. aromatica* showed an obviously lower oxygen evolution rate as compared with that in *M. megaphylla* and *M. grandis*, When leaves were suffered to a short term of high temperature treatment ($45 - 50^\circ\text{C}$), the maximal photochemical efficiency of photosystem II (F_v/F_m) decreased obviously, while the minimal fluorescence (F_0) increased. The changing extent in *M. megaphylla* was less than that in *M. aromatica* and *M. grandis*. Hence, the sequence of photosynthetic rate and tolerance to high temperature in three *Magnoliatia* plants from high to low is suggested to be *M. megaphylla* > *M. grandis* > *M. aromatica*.

Key Words: *Magnoliatis* plants; high temperature; photosynthetic characteristics; response; Chlorophyll fluorescence

木兰科植物大多是第三纪古热带植物区系的古老孑遗植物,是现存被子植物中较原始的类群^[1]。随着自然环境的变迁、人类活动的干扰、动物的危害及其自然繁殖能力衰退,木兰科的一些种类和数量不断减少,成为珍稀濒危的种类^[2]。木兰科植物中被列为国家重点保护的珍稀濒危种类共有 39 种,是被子植物中受到严重威胁种类最多的科^[3]。香木莲、大叶木莲及大果木莲为木兰科木莲属植物,属濒危树种,是国家二级保护植物。它们的自然分布区较窄,仅在云南省东南部和广西省西南部的部分天然林有星散分布,种源稀少。3 种木兰植物的木材纹理通直,结构均匀细致,是珍贵的林业用材,且其树形优美,花大美丽,是重要的园林绿化观赏树种,开发利用价值十分广阔,因此在加强资源有效保护的同时急需大力发展。在迁地保护或引种保护中,植物离开了原有的生态环境和生态系统,必然会遇到生态适应性的问题^[2]。3 种木兰植物原产地的生态环境温凉湿润,引种地(广东省)夏季炎热高温、日照强烈,它们如何适应夏季持续高温及高光辐射的环境?这对于它们的生长和生存极为重要。以往关于 3 种木兰植物的研究多集中在分类及地理分布、形态学、引种栽培等方面^[4-6],而它们引种保护后的光合生理特性的变化尚未见报道。为此,本文以引种保护的 3 种木兰植物为试验对象,对它们在夏季高温条件下的光合生理生态特性进行研究,分析它们在引种区内各项光合生理特征及其与环境因子之间的相互作用关系,为木兰科一些濒危种类引种或迁移保护和科学研究工作奠定部分理论依据。

1 材料和方法

1.1 植物材料

香木莲 (*Manglietia aromatica* Dandy)、大叶木莲 (*Manglietia megaphylla* Hu et Cheng) 和大果木莲 (*Manglietia grandis* Hu et Cheng) 取自中国科学院华南植物园木兰科植物种质基因库——木兰园,2 年生,盆栽,每盆 1 株,林窗下生长,一般田间管理。每种选 3 株,每株中选自上而下的第 3~4 片成熟叶进行测定,试验的各项测定于 2006 年 7~8 月间进行。

1.2 光合速率光强响应曲线的测定

采用 LI-6400 便携式光合作用测定系统 (Li-cor, USA) 测定光合作用光强响应曲线。LI-6400-02B 红蓝光源提供不同强度的光合有效辐射,光合有效辐射 (PAR) 设定为:0、25、50、100、200、300、400、500、600、800、1000、1200、1400、1600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,测定时用 CO_2 钢瓶将参比室的 CO_2 浓度稳定在 $360 \mu\text{mol mol}^{-1}$,叶室温度控制在 30°C ,测定不同光强下叶片相应的净光合速率 (P_n)。根据 Bassman 和 Zwier 的方法^[7],利用最小二乘法拟合 P_n - PAR 响应曲线方程,求得各木兰植物的最大净光合速率 (P_{max}),光合作用的光饱和光强 (LSP , 90% P_{max} 相应的光强),表观量子产额 (AQY , 即 $0 \sim 200 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 的 PAR 与相应的 P_n 作线性回归后的直线斜率),光合作用的光补偿点 (LSP , P_n 为 0 时的光强) 和暗呼吸速率 (R_d)。

1.3 光合速率日变化的测定

选择晴朗的天气,在户外自然状况下测定,测定时间区段为 06:00 ~ 18:00,每隔 2h 进行一次净光合速率 (P_n) 的测定,同时获得大气温度 (T_a)、大气 CO_2 浓度 (C_a)、光照强度 (PAR)、气孔导度 (G_s)、蒸腾速率 (Tr)、细胞间隙 CO_2 浓度 (C_i) 等生理参数。计算水分利用效率 ($WUE = P_n / Tr$)。

1.4 不同温度对离体叶片光合放氧速率影响的测定

根据 Delien 和 Walker^[8] 的方法,用叶圆片氧电极 (Leaf disc oxygen electrode, Hasatech, King's Lynn, UK) 测定叶片的放氧速率。叶室内温度由水浴锅循环水控制 (分别设定 25、30、35、40、45、50℃ 梯度),叶片切成标准叶圆片 (10cm^2),向叶室内呼气使 CO_2 浓度达 3% ~ 5%,并用该装置的光源附件设定光强,光照强度设为 $600\ \mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$ 。测定重复 3 次。

1.5 不同温度对离体叶片叶绿素荧光参数影响的测定

取各木兰植物距植株顶端第 3 ~ 4 位成熟叶片,用打孔器打成直径 1cm 的叶圆片,每种植物选取 6 个叶圆片,然后进行温度处理。将叶圆片放入蒸馏水中分别置于 25、30、35、40、45、50℃ 不同温度梯度的恒温水浴中,热胁迫 30 min,以 25℃ 处理的叶圆片作为对照。利用叶绿素荧光成像系统 Maxi-Imaging-Pam (Walz, Germany) 测定叶圆片叶绿素荧光参数。测定前,叶圆片暗适应 15min,先照射测量光 (小于 $0.5\ \mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$) 测定初始荧光 F_0 ,再照射饱和脉冲 ($2800\ \mu\text{mol}\ \text{m}^{-2}\ \text{s}^{-1}$, 脉冲时间 0.8 s) 测定最大荧光 F_m 。充分暗适应的 PS II 最大光化学效率或原初光能转化效率 (F_v/F_m) 由仪器自动给出,或由公式 $F_v/F_m = (F_m - F_0)/F_m$ 计算出。

2 结果与分析

2.1 3 种木兰植物光合速率光强响应曲线的比较

图 1A 显示 3 种木兰植物 P_n - PAR 的响应曲线。在相同的光合有效辐射强度、温度及 CO_2 浓度下,大叶木兰的 P_n 均高于其他两种木兰,香木兰的 P_n 则最低。3 种木兰植物的光合特性参数见表 1,3 种木兰植物的光

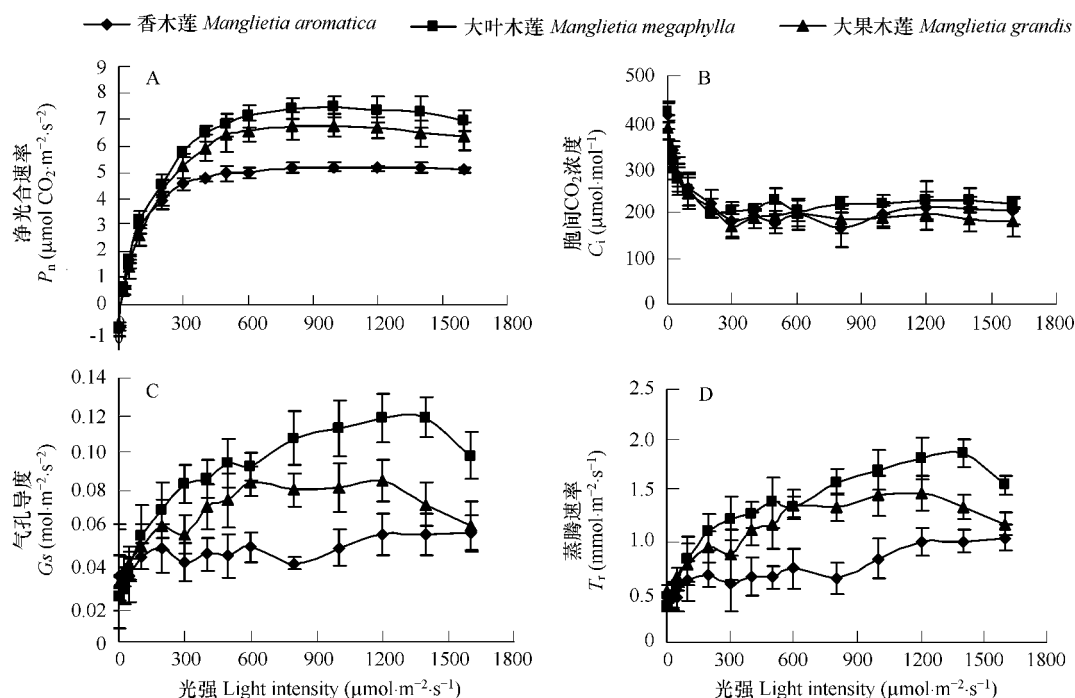


图 1 3 种木兰植物叶片的净光合速率,胞间 CO_2 浓度,气孔导度和蒸腾速率对不同光强的响应

Fig. 1 Net photosynthetic rate (P_n), intercellular CO_2 concentration (C_i), stomatal conductance (G_s), and transpiration rate (Tr) in leaves of three *Manglietia* species responding to different light intensities

饱和点 (LSP) 有一定的差异, 大叶木莲的 LSP 最高, 为 $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 其次是大果木莲, LSP 为 $600 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; 香木莲的 LSP 最低, 为 $500 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。大叶木莲光饱和点高的特性, 表明其能适应较高的光照强度。3 种木莲的光补偿点 (LCP) 均较低, 在 $14 \sim 17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 之间, 大叶木莲 (16.30) > 香木莲 (15.72) > 大果木莲 (14.08), 反映了这些木兰植物幼树具有耐荫特性。香木莲、大叶木莲和大果木莲的表观量子效率 (AQY) 分别为 0.0352 、 0.0402 和 0.0331 , 大叶木莲的 AQY 最高, 说明其对低光强的利用率最高。细胞间 CO_2 浓度 (C_i) 随光强提高的变化 (图 1B) 与 P_n 的变化相反, 提高光强引起 C_i 降低, 当光强达到 $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上时基本不变。3 种木兰植物的气孔导度 (G_s) 和蒸腾速率 (Tr) 的变化趋势基本一致, G_s 和 Tr 大小顺序依次为大叶木莲 > 大果木莲 > 香木莲 (图 1C, D), 这与 P_n 大小顺序基本吻合。

表 1 3 种木兰植物光合作用光响应参数比较

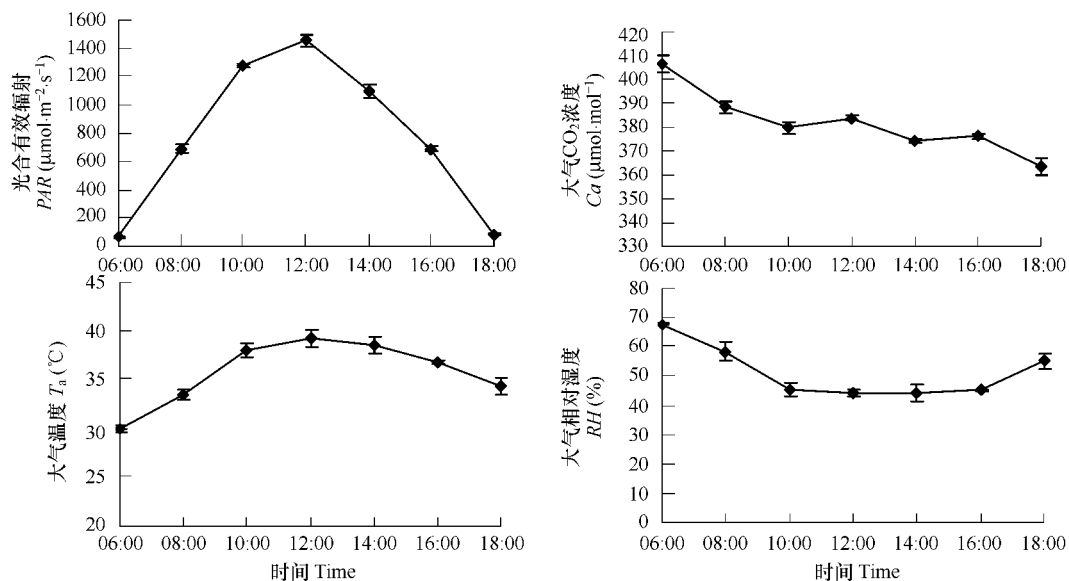
Table 1 Comparison of photosynthetic parameters between three species of *Manglietia*

树种 Species	$P_{\max}$ ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	LSP ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	LCP ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	AQY ($\mu\text{mol } \mu\text{mol}^{-1}$)	R_d ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
香木莲 <i>Manglietia aromatica</i>	$5.19 \pm 0.11\text{c}$	$500 \pm 12\text{c}$	$15.7 \pm 0.2\text{a}$	$0.0352 \pm 0.0049\text{b}$	$-0.59 \pm 0.04\text{b}$
大叶木莲 <i>Manglietia megaphylla</i>	$7.47 \pm 0.43\text{a}$	$800 \pm 22\text{a}$	$16.3 \pm 1.2\text{a}$	$0.0402 \pm 0.0014\text{a}$	$-0.66 \pm 0.06\text{a}$
大果木莲 <i>Manglietia grandis</i>	$6.84 \pm 0.38\text{b}$	$600 \pm 17\text{b}$	$14.1 \pm 0.5\text{b}$	$0.0331 \pm 0.0005\text{c}$	$-0.47 \pm 0.01\text{c}$

数据以均值标准差表示, 同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$) Data represented mean $\pm$ SD ($n = 3$), different letters in the same column showed significantly different ($P < 0.05$)

2.2 大气环境因子日变化

环境因子日变化见图 2。由图可看出, 测定期间光合有效辐射 (PAR) 和大气温度 (T_a) 日变化均属单峰型。 PAR 在 12:00 达最高值, 为 $1450 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$; T_a 的最高值亦出现在 12:00, 为 39.26°C 。大气相对湿度 (RH) 日变化趋势与 PAR 和 T_a 的日变化相反, 06:00 时达最大值, 为 68.0% , 12:00 达最小值, 为 44.4% , 10:00 ~ 16:00 时间内 RH 较平稳, 16:00 后回升。大气 CO_2 浓度 (Ca) 在 6:00 时最高, 然后逐渐下降, 10:00 ~ 16:00 有小幅波动。

图 2 光合有效辐射 (PAR)、大气 CO_2 浓度 (Ca)、大气温度 (T_a) 和大气相对湿度 (RH) 日变化Fig. 2 Diurnal changes in photosynthetically active radiation (PAR), air CO_2 concentration (Ca), air temperature (T_a) and relative humidity (RH)

2.3 3 种木兰植物气体交换参数日变化

图 3A 显示,3 种木兰植物的 P_n 日变化均呈双峰曲线,香木莲、大叶木莲和大果木莲的 P_n 最高峰均出现在 08:00,分别为 5.47 、 7.85 和 $6.13 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,次高峰的出现略有差异,大叶木莲 P_n 的次高峰出现在 14:00,而香木莲和大果木莲 P_n 的次高峰则出现在 16:00;12:00 为 3 种木兰植物 P_n 的低谷,3 种植物均表现出明显的光合“午休”现象。图 3A 中还显示,大叶木莲从午休中恢复较快,而大果木莲午休恢复能力最弱。 P_n 日均值大小顺序依次为大叶木莲(4.15) > 香木莲(2.81) > 大果木莲(2.80)。

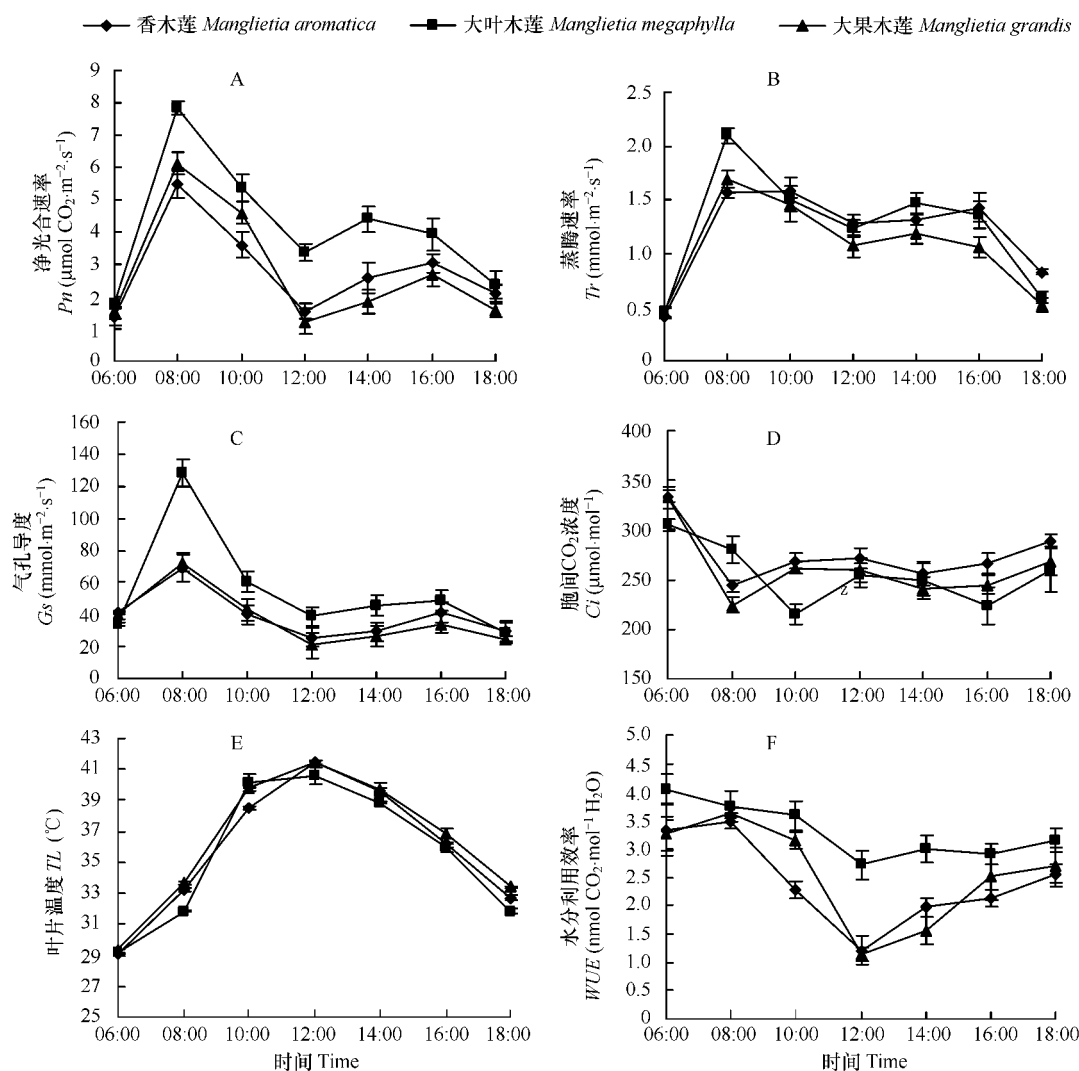


图 3 3 种木兰植物叶片净光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i)、叶片温度(TL)和水分利用效率(WUE)日变化

Fig. 3 Diurnal changes in net photosynthetic rate(P_n), transpiration rate(Tr), stomatal conductance(G_s), intercellular CO_2 concentration(C_i), leaf temperature (TL) and water use efficiency(WUE) in leaves of three *Manglietia* species

3 种木兰植物的气孔导度(G_s)及蒸腾速率(Tr)的日变化与 P_n 的日变化相似,均呈双峰型(图 3B, C)。香木莲、大叶木莲和大果木莲 G_s 及 Tr 的最高值均出现在 08:00, G_s 分别为 68.8 、 $128.0 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 和 $72.5 \text{ mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$,与 P_n 的最高峰出现同步。3 种木兰植物 G_s 的次高值均出现在 16:00,大叶木莲和大果木莲 Tr 的次高值出现在 14:00,香木莲 Tr 的次高值则出现在 16:00。3 种木兰植物的 Tr 值在 12:00 时均最低,这是因 12:00 时光照强,温度高,湿度低,导致气孔部分关闭所致。

3 种木兰植物细胞间 CO_2 浓度(C_i)的日变化趋势总体上与 P_n 的日变化相反(图 3D),当 P_n 较高时,叶肉

细胞固定的 CO_2 较多, 导致 C_i 浓度降低。06:00 和 16:00 时 C_i 值较高; 当 12:00 出现光合“午休”现象时, G_s 下降, C_i 浓度亦处于较高水平。3 种木兰植物叶片温度 (TL) 日变化均呈现单峰曲线, 香木莲、大叶木莲和大果木莲 TL 的最高值均出现在 12:00, 分别为 41.5、40.6℃ 和 41.5℃, 在 10:00 ~ 14:00 时叶温均处于 38℃ 以上。在一天当中, 3 种木兰的叶温日均值次序是大果木莲 (36.3℃) > 香木莲 (35.8℃) > 大叶木莲 (35.4℃)。

水分利用效率 (WUE) 是指植物消耗单位重量 H_2O 所固定 CO_2 的量, 是评价植物耗水量多少或适应干旱胁迫能力的一个重要生理生态指标, 其值越大, 说明植物对水分的利用效率越高^[9]。3 种木兰植物的 WUE 在 06:00 较高, 12:00 降至最低值, 18:00 又回升到一定的程度, 反映了 3 种木莲在午间高温和低湿条件下 WUE 的调节特性。一天当中, 香木莲、大叶木莲和大果木莲 WUE 的日均值分别为 2.42、3.30 $\text{nmolCO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$ 和 2.57 $\text{nmolCO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{H}_2\text{O}$, 大叶木莲 WUE 的日均值较高, 表明其抗旱性相对较强。

2.4 3 种木兰植物光合放氧速率对温度的响应

3 种木兰植物叶片光合放氧速率对不同温度的响应如图 4 所示, 在 25 ~ 35℃ 范围, 随着温度的升高, 3 种木兰植物的光合放氧速率增加; 当温度升至 35℃ 时, 香木莲、大叶木莲和大果木莲的放氧速率均达最大, 分别为 12.1、16.0 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 和 14.9 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。3 种木兰植物的放氧速率达最大后, 随温度升高均急剧下降。当温度达 50℃ 时, 香木莲已不放氧, 而大叶木莲和大果木莲放氧速率降至很低, 分别为 1.4 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 和 1.0 $\mu\text{mol O}_2 \text{ m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 。在测定的温度范围内 (25 ~ 50℃), 香木莲的放氧速率显著低于大叶木莲和大果木莲的放氧速率。3 种木兰植物光合放氧的最适温度为 35℃, 光合放氧能力次序为大叶木莲 > 大果木莲 > 香木莲。

2.5 高温对 3 种木兰植物离体叶片叶绿素荧光参数的影响

高温胁迫下 3 种木兰植物叶片 PS II 的最大原初光能转换效率 (F_v/F_m) 见图 5。图中显示, 25 ~ 40℃ 下 3 种木兰植物的 F_v/F_m 变化不大, 45℃ 高温胁迫下, 木兰植物的 F_v/F_m 则明显下降, 与 25℃ 对照相比, 香木莲、大叶木莲和大果木莲的 F_v/F_m 分别下降 43.8%、22.3% 和 37.9%; 50℃ 高温胁迫下, 3 种木兰植物的 F_v/F_m 则分别下降 66.5%、49.9% 和 63.3%, 表明香木莲和大果木莲的 PS II 能量转换机构比大叶木莲易受到高温的伤害。初始荧光 F_0 代表激发的 PS II 天线叶绿素 a 分子在激发转移到反应中心前的荧光发射, 它只依赖于 PS II 色素中激子的原初密度以及类囊体膜的结构状态, 与光化学过程无关^[10]。当植物受到较为严重的胁迫时, 叶绿体类囊体膜结构发生改变从而使 F_0 上升, 且 F_0 的增加量越多, 类囊体膜受损程度越严重^[11]。图 5 可见, 25 ~ 45℃ 下 3 种木兰植物的 F_0 变化不明显, 而在 50℃ 高温胁迫下, 三者的 F_0 则升高, 与 25℃ 对照相比, 香木莲、大叶木莲和大果木莲的 F_0 分别升高 74.2%、14.3% 和 80.0%, 香木莲和大果木莲的 F_0 增加非常显著 ($P < 0.05$), 显示此时它们的叶绿体类囊体膜结构受到损伤。结果表明高温胁迫下大叶木莲的 PS II 结构较稳定, 耐热性能较香木莲和大果木莲强。

3 讨论

光合作用是植物的一个非常复杂的生理过程, 叶片光合速率与自身因素和环境因子密切相关。在炎热的夏季, 3 种木兰植物幼树叶片的 P_n 的日变化曲线均呈双峰型, 中午有明显的光合“午休”现象, 且三者的第 1 个峰值均出现在 08:00, 与已报道的木兰科其他一些濒危种类如鹅掌楸和华木莲相比^[12,13], 分别早 2h 和 3h, 比红花木莲早 1h^[14], 表明 3 种木兰植物能在不利环境出现之前, 尽量充分利用有利环境条件进行光合生产。3

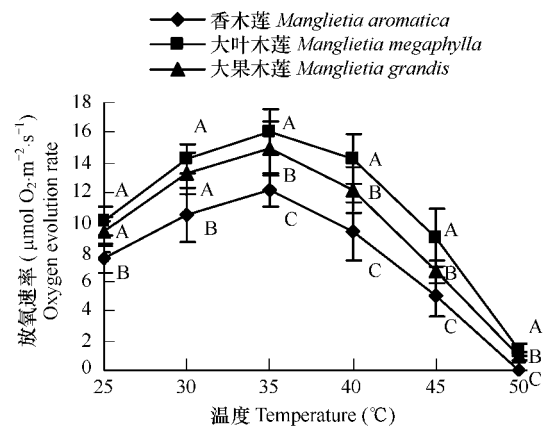
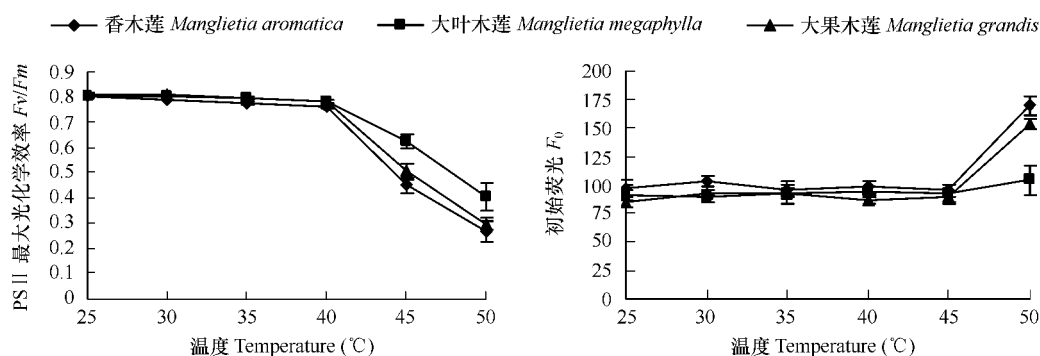


图 4 3 种木兰植物叶片光合放氧速率对温度的响应

Fig. 4 Response of oxygen evolution rate to temperatures in leaves of three *Manglietia* species

同一温度处理中不同大写字母表示在 $p = 0.01$ 水平上差异显著 Different uppercase letters in the same temperature treatment imply that there is a significant different at $p = 0.01$

图5 高温胁迫对3种木兰植物叶片 F_v/F_m 和 F_0 的影响Fig. 5 Effects of high temperature stress on F_v/F_m and F_0 in leaves of three *Manglietia* species

种木兰植物中大叶木莲从午休中恢复较快, P_n 日均值较高, 表现出较高的光合效能。

3种木兰植物原分布在浓郁的常绿阔叶林中, 其幼树喜荫蔽条件。大叶木莲成年树处于林冠的第Ⅰ林层, 承受全日光, 属喜光性树种。香木莲、大果木莲成年树处于林冠第Ⅱ层, 仍比较荫蔽, 是耐荫树种^[15]。本文的试验结果显示, 3种木兰幼树叶片的光合作用光饱和光强约为 $500 \sim 800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, 光补偿点在 $14 \sim 17 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 之间, 表明其具有耐荫特性。大叶木莲的光饱和光强、最大光合速率和表观量子效率都显著高于香木莲和大果木莲。在其他条件相同的情况下, 高光合速率总是导致高产量、高光能利用率^[16]。表观量子效率(AQY)反映植物对弱光的利用能力, 其值越大, 表明植物吸收与转换光能的色素蛋白复合体可能越多, 利用弱光的能力强^[17]。大叶木莲的AQY值高, 表明其对弱光利用效率较高, 较高的光饱和点具有利用较强的光辐射的能力, 因此大叶木莲对光强适应范围相对较宽, 而香木莲和大果木莲的光饱和点和表观量子效率都较低, 光强适应范围相对较窄。可见, 3种木兰中, 大叶木莲的光合能力较强, 这也与它的生态习性相一致。

C_3 植物短期内其光合能力随 CO_2 浓度增加而增加, 光合作用最适温度亦会升高 $5 \sim 10^\circ\text{C}$ ^[18]。杨树叶片在 $325 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{CO}_2$ 浓度下的最适光合温度为 25°C , 而在 $1935 \mu\text{mol mol}^{-1} \text{CO}_2$ 浓度下则为 36°C , 最适温度升高 11°C ^[19]。Zhang 指出在大气 CO_2 浓度下, 大叶桃花心木幼苗叶片的最适光合温度在 $21 \sim 31^\circ\text{C}$ 之间, 而在饱和 CO_2 浓度下为 $31 \sim 35^\circ\text{C}$ ^[20]。本试验亦得出相近结论, 当光强固定, CO_2 浓度处于较高条件下 ($3\% \sim 5\%$), 在 $25 \sim 35^\circ\text{C}$ 范围内, 3种木兰植物叶片光合能力随温度升高而增强, 35°C 为三者的最适光合作用温度, 与其在大气 CO_2 浓度下最适光合温度 25°C 相比, 升高 10°C 。3种木兰植物的光合放氧对温度响应有差异, 在不同温度下, 大叶木莲光合放氧能力最强, 大果木莲次之, 香木莲则最弱。 45°C 被认为是 Rubisco 耐热性的温度上限^[21], 温度超过 45°C 时, PS II 复合物与 PS I 复合物相分离, 当所有的类囊体膜受损伤时, PS II 向 PS I 的电子传递受到损伤^[22]。3种木兰植物经 45°C 处理后, F_v/F_m 较 25°C 时明显下降, 50°C 处理后, F_v/F_m 较 25°C 时下降显著, 同时 F_0 升高或骤升, 显然 45°C 并未严重影响到光合碳同化过程, 但 50°C 高温则导致 Rubisco 失活及类囊体结构破坏, 可见 45°C 为一极限值, 超过此温度, 会加剧3种木兰 Rubisco 失活和叶绿体结构和功能的破坏。综合3种木兰植物对温度响应的光合参数和叶绿素荧光参数, 三者对耐高温能力强弱顺序为大叶木莲 > 大果木莲 > 香木莲。以上是以离体叶片为对象的测定结果, 能否准确反映出整株植物体内的真实情况, 还有待进一步的研究, 但至少也反映出以上3种木兰植物对温度的响应的确存在差异。近年来, 由于温室效应, 导致全球气候变暖, 在此背景下, 广东高温时间 ($\geq 35^\circ\text{C}$) 的长期演变趋势显著上升, 1998年后, 平均每年达到20d以上。在夏季, 高温再加上高光照射, 3种引种木兰植物幼树, 尤其是香木莲和大叶木莲, 如保护措施不当, 将产生严重的胁迫, 实验中3种木兰植物幼树在夏季进行3d全日照的光合日变化测定后, 即使转移至遮荫条件下生长, 所有的香木莲因不能忍受几天高温高光胁迫就慢慢死亡了。因此这些木兰科濒危植物面对全球变暖的趋势其生存环境可能进一步恶化。

综上所述, 3种木兰植物幼树耐荫性较强, 对高温强光敏感, 午间水分利用效率低。在木兰植物的迁地保

育或引种保育中,要根据植物的光合特性,选择适宜的迁地保护小生境进行种植,并采取相应的管理措施。在光照强、气温高的夏季应进行遮荫处理,避免强烈的光照,防止夏季高温对植物光合机构的破坏。在夏季高温低湿的环境下,要适时进行喷灌,可降低局部大气温度,增加湿度,减少植株水分蒸腾消耗,同时减轻午休症状,提高光合生产力,有利于提高木兰植物迁地保护的有效性。

References:

- [1] Liu Y H, Xia N H, Yang H Q. The origin, evolution and phytogeography of *Magnoliaceae*. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1995, 3 (4): 1—12.
- [2] Liu Y H, Zhou R Z, Zeng Q W. *Ex situ* conservation of *Magnoliaceae* including its rare and endangered species. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 1997, 5(2): 1—12.
- [3] Fu L G, Jin J M. China red books — rare and endangered plants. Vol. 1. Beijing: Science Press, 1992. 404—455.
- [4] Yang W, Sima Y K, Xu T. A study of soil properties of *Manglietia grandis* naturel forest and phosphorus contents in branches and leaves. *Journal of West China Forestry Science*, 2006, 35(2): 23—25.
- [5] Li F X, Li M. Cuttage study of *Manglietia aromatica*. *Journal of Southwest Forestry College*, 2003, 23(2): 9—12.
- [6] Li M, Li F X, Ma H C, *et al.* Ecophysiological response of *Manglietia aromatica* to short-term low temperature treatment. *Northern Horticulture*, 2006, 1: 37—39.
- [7] Bassman J B, Zwier J C. Gas exchange characteristics of *Populus trichocarpa*, *Populus deltoids* and *Populus trichocarpa* × *P. deltoids* clone. *Tree Physiol*, 1991, 8: 145—149.
- [8] Delien R J, Wallker D A. Simultaneous measurement of oxygen evolution and chlorophyll fluorescence from leaf pieces. *Plant Physiol*, 1983, 73: 534—541.
- [9] Fan W G, Lin Y C. Photosynthetic characters and water utilize of four species of *Pyrus*. *Southwest China Journal of Agricultural Sciences*, 2006, 19(6): 1144—1146.
- [10] Krause G H, Weis E. Chlorophyll fluorescence as a tool in plant physiology II. interpretation of fluorescence signals. *Photosynth Res*, 1984, (5): 139—157.
- [11] Chen J M, Yu X P, Cheng J A. The application of chlorophyll fluorescence kinetics in the study of physiological responses of plants to environmental stresses. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2006, 18(1): 51—55.
- [12] Guo Z H, Zang H D, Li Z A, *et al.* The photosynthetic characteristics in leaves of *Liriodendron chinese*. seedlings in MT. Lushan. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(2): 164—169.
- [13] Guo Q R, Yu Z X, Shi J M. A physio-ecological study on photosynthesis of *Sinomanglietia glauca* and two species in *Manglietia* Bl. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2003, 25(5): 645—651.
- [14] Li M, Ma H C, Li F X. Study of phytosynthesis characteristics of *Manglietia insignis* at seedling stage. *Journal of West China Forestry Science*, 2004, 33(2): 42—45.
- [15] Zhang M Q. Study on ecological biology of rare and endangered species of Yunnan. Kunming: Yunnan University Press, 1998. 179—215.
- [16] Xu D Q. Photosynthetic efficiency. Shanghai: Science and Technology Press, 2002. 3—4.
- [17] Li H S. Modern plant physiology. Beijing: Higher Education Press, 2002. 131.
- [18] Yu Z, Hu T X, Wang K Y, *et al.* Responses and acclimatization mechanism of plant photosynthesis to elevated atmospheric CO₂ concentration and temperature. *Jornal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 2006, 27(2): 30—35.
- [19] Jurik T W, Weber J A, Gates D M. Short-term effects of CO₂ on gas exchange of leaves of bigtooth aspen (*Populus grandidentata*) in the field. *Plant Physiol*, 1984, 75: 1022—1026.
- [20] Zhang C J. Effect of overnigt temperature on leaf photlsynthesis in seedlings of *Swietenia macrophylla* King. *Journal of Forestry Research*, 2003, 14(2): 130—134.
- [21] Li G F, Mao H B, Ruan X. Association of heat-induced conformational change with activity loss of rubisco. *Biochem Biophys Res Commun*, 2002, 290: 1128—1132.

- [22] Gounaris K, Brain ARR, Quinn P J. Structural reorganization of chloroplast thylakoid membranes in response to heat stress. *Biochim Biophys Acta*, 1984, 766: 198–208.

参考文献:

- [1] 刘玉壶,夏念和,杨惠秋. 木兰的起源、进化和地理分布. *热带亚热带植物学报*, 1995, 3(4): 1~12.
- [2] 刘玉壶,周仁章,曾庆文. 木兰植物及其珍稀濒危种类的迁地保护. *热带亚热带植物学报*, 1997, 5(2): 1~12.
- [3] 傅立国,金鉴明. 中国植物红皮书——稀有濒危植物(第一册). 北京: 科学出版社, 1992. 404~455.
- [4] 杨卫,司马永康,徐涛. 大果木莲天然林地土壤特性及其枝叶磷含量的研究. *西部林业科学*, 2006, 35(2): 23~25.
- [5] 李福秀,黎明. 香木莲扦插繁殖初报. *西南林学院学报*, 2003, 23(2): 9~12.
- [6] 黎明,李福秀,马焕成,等. 香木莲对短时低温胁迫处理的生理生态响应. *北方园艺*, 2006, 1: 37~39.
- [9] 樊卫国,李迎春. 梨属4个重要种的光合特性及水分利用率. *西南农业学报*, 2006, 19(6): 1144~1146.
- [11] 陈建明,俞晓平,程家安. 叶绿素荧光动力学及其在植物抗逆生理研究中的作用. *浙江农业学报*, 2006, 18(1): 51~55.
- [12] 郭志华,张宏达,李志安,等. 鹅掌楸苗期光合特性的研究. *生态学报*, 1999, 19(2): 164~169.
- [13] 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. *江西农业大学学报*, 2003, 25(5): 645~651.
- [14] 黎明,马焕成,李福秀. 红花木莲苗期光合特性研究. *西部林业科学*, 2004, 33(2): 42~45.
- [15] 张茂钦. 云南珍稀濒危树种生态生物学研究. 昆明: 云南大学出版社, 1998. 179~215.
- [16] 许大全. 光合作用效率. 上海: 上海科学技术出版社, 2002. 3.
- [17] 李合生,孟庆伟,夏凯,等. 现代植物生理学. 北京: 北京高等教育出版社, 2002. 131.
- [18] 余峥,胡庭兴,王开运,等. 植物光合作用对大气[CO₂]和温度升高的响应及其适应机制的研究进展. *四川林业科技*, 2006, 27(2): 30~35.