

戚嘉敏, 许逸林, 张鹏, 等. 3 种木兰科珍稀濒危树种的光合及固碳特性[J]. 华南农业大学学报, 2018, 39(3): 90-95.

3 种木兰科珍稀濒危树种的光合及固碳特性

戚嘉敏¹, 许逸林¹, 张 鹏¹, 奚如春^{1,2}, 陆 晨¹, 高 乐¹

(1 华南农业大学 林学与风景园林学院, 广东 广州 510642;

2 广东省森林植物种质创新与利用重点实验室, 广东 广州 510642)

摘要:【目的】阐明木兰科 Magnoliaceae 珍稀濒危树种光合及固碳特性, 为其保护利用提供理论技术依据。【方法】以亮叶木莲 *Manglietia lucida*、香木莲 *M. aromatica* 和开甫木莲 *M. kaifui* 为研究对象, 采用 LI-6400 便携式光合仪对其光合参数特征进行测定分析, 并对其固碳释氧量进行估算, 综合评价其适应性及生态效应。【结果】3 个树种的净光合速率日变化在 7 月份表现为双峰型, 在 10 月份表现为单峰型。其光合效率在 7 月份为: 开甫木莲 ($5.35\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>亮叶木莲 ($2.87\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>香木莲 ($2.78\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$); 在 10 月份为: 香木莲 ($6.46\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>开甫木莲 ($6.24\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>亮叶木莲 ($5.74\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。3 个树种的固碳释氧量为: 开甫木莲>香木莲>亮叶木莲。【结论】参试植物的生长在 10 月份比 7 月份更为旺盛; 开甫木莲对强光的利用能力最佳, 香木莲对弱光的利用能力最佳; 固碳释氧能力最强的植物为开甫木莲。

关键词: 木兰科; 濒危树种; 光合作用; 固碳量; 释氧量
中图分类号: S792.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-411X(2018)03-0090-06

Photosynthetic and carbon sequestration characteristics of three rare and endangered species of Magnoliaceae

QI Jiamin¹, XU Yilin¹, ZHANG Peng¹, XI Ruchun^{1,2}, LU Chen¹, GAO Le¹

(1 College of Forestry and Landscape Architecture, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;

2 Guangdong Key Laboratory for Innovative Development and Utilization of Forest Plant Germplasm, Guangzhou 510642, China)

Abstract: 【Objective】To illuminate the photosynthetic and carbon sequestration characteristics of rare and endangered species of Magnoliaceae, and provide theory and technology bases for their conservation and utilization. 【Method】*Manglietia aromatica*, *M. lucida* and *M. kaifui* were studied with LI-6400 portable photosynthetic system measuring photosynthetic characteristics. Their carbon sequestration and oxygen release amounts were estimated to evaluate comprehensively their adaptabilities and ecological effects. 【Result】The diurnal variations of net photosynthetic rates of three species displayed bimodal curves with obvious midday depression in July and unimodal curves in October. The daily mean values of net photosynthetic rates of three species in July were $5.35\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (*M. kaifui*), $2.87\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (*M. lucida*) and $2.78\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (*M. aromatica*) successively, and the values in October were $6.46\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (*M. kaifui*), $6.24\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (*M. aromatica*) and $5.74\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ (*M. lucida*) respectively. The carbon sequestration and oxygen release amount of three species was in order of *M. kaifui*>*M. aromatica*>*M. lucida*. 【Conclusion】The test plants display more

vigorous growth in October than July. *M. kaifui* has the best capacity of utilizing strong light while *M. aromatica* has the best capacity of utilizing weak light. *M. kaifui* has the best carbon sequestration and oxygen release abilities among three species.

Key words: Magnoliaceae; endangered species; photosynthesis; carbon sequestration; oxygen release amount

木兰科 Magnoliaceae 绝大多数是第三纪古热带植物区系的孑遗植物,是现存被子植物中较原始类群^[1]。全球木兰科植物共 18 属 335 种,其中有 14 属 165 种广泛分布在我国 22 个省(区),但其主要分布区为华南和西南地区^[2]。而木莲属 *Manglietia* 既是木兰科中的古老类型又是亚洲特有的属,该属多为国家一、二级保护植物,同时极具园林观赏价值,因此木莲属植物具有重要的研究和保护价值。大多濒危植物的濒危机制与其对立地条件,如光、水、肥、气、热等因子的要求密不可分,而光合作用对植物生长发育起着至关重要的作用,直接决定植物体的生产力高低^[3-5],同时,森林具有的碳汇功能及降低温室气体的功能受到广泛关注^[6]。因此,研究濒危植物光合及固碳特征,能够了解其濒危机制,制定可行的保护方案。近年来,国内外学者对华木莲 *Sinomanglietia glauca*、乳源木莲 *M. yuyuanensis* 等树种的光合特性及其生境适应性进行了研究分析^[7-9]。亮叶木莲 *M. lucida*、香木莲 *M. aromatica* 和开甫木莲 *M. kaifui* 等珍稀濒危树种已备受各界重视和生产推荐,然而这些树种的相关研究相对滞后,严重地阻碍了它们的保护利用和推广。因此,本文开展该 3 个树种的研究,旨在阐明其光合及固碳特征,为其配置造林和生态效益评价提供理论技术依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于广州市东北郊(113°21'26"E, 23°9'26"N),华南农业大学试验苗圃。年平均气温为 21.8℃,各月平均气温均在 13.0℃以上,最冷为 1 月,平均气温 13.3℃,最热为 8 月,平均气温 28.8℃。全年最高温 38℃,最低温-0.6℃;年降水量 1 638 mm,4—9 月份的降水量占全年降水量的

80%,尤以 5—8 月份最高,占全年降水量的 62%,年平均湿度 79%^[10]。

1.2 试验材料

试验材料均选自于华南农业大学试验苗圃,所用苗木为采用 3 年生黄兰大砧嫁接而成的盆栽大苗,所有苗木实行常规田间管理。每个树种选取 3 棵生长正常的苗木为试验材料。参试树种基本情况与试验苗木生长指标状况见表 1。

1.3 光合参数测定

分别于 2016 年 7 月和 10 月的晴朗天气进行。在每株样树上,选取树冠中上部向阳的当年生枝条上顶端的第 3~5 片成熟功能叶片进行活体测定,测定时段 06:00—18:00,步长 2 h。采用 LI-6400 型便携式光合测定仪(Steady state promoter, Li-COR, INC, USA),分别测定记录其净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)、胞间 CO₂ 浓度(Ci)、气温(θ)、空气相对湿度(RH)和光合有效辐射(PAR),每株测定 3 片叶,重复记录 5 次,取其平均值进行统计分析。水分利用率(WUE)为净光合速率与蒸腾速率的比值(WUE=Pn/Tr);光能利用效率(SUE)为光合速率与光合有效辐射的比值(SUE=Pn/ PAR)。

1.4 光响应特征值测定

在 2016 年 10 月中旬选择一个晴天的 10:00—11:30 进行。将红蓝光源 LED 设定光合有效辐射(PAR)梯度为 0、25、50、100、200、300、400、600、800、1 000、1 200、1 500 和 2 000 μmol·m⁻²·s⁻¹,自动测定不同光照强度下叶片的净光合速率,设置最长等待时间为 200 s,最短为 120 s。每种试验材料测 3 株,5 次重复取平均值。利用模拟得出光饱和点(LSP)、光补偿点(LCP)、光饱和最大净光合速率(Pn_{max})、暗呼吸速率(Rd)和表观量子效率(AQY)。

表 1 参试植物的基本情况

Tab. 1 The basic information of test plants

树种	自然分布	濒危程度	保护级别	地径/cm	苗高/m
亮叶木莲	云南	濒危种	国家重点Ⅰ级 ^[11]	1.07±0.91	0.35±0.05
香木莲	滇东南、桂西南	濒危种	国家重点Ⅱ级 ^[11]	1.96±0.97	0.83±0.02
开甫木莲	云南	易危种		1.56±1.05	0.45±0.04

1.5 固碳释氧测定与估算

首先根据树种在某一季节的 Pn 日变化绘制曲线,再用简单积分法计算各树种在测定当日的净同化量,计算公式为^[12]:

$$T = \sum_{i=1}^j [3600(P_{i+1} + P_i)(t_{i+1} - t_i)/1000], \quad (1)$$

式(1)中;T为测定当日的单位叶面积净同化总量,mmol·m⁻²·d⁻¹;P_i和P_{i+1}分别为初测点和下一测定点的瞬时净光合速率,μmol·m⁻²·s⁻¹;t_i和t_{i+1}分别为初测点和下一测定点的瞬时时间;j为测定次数。

一般植物晚上的暗呼吸消耗按照白天同化量的20%计算^[13-14],测定当日的同化总量换算成该日单位面积叶片的净固碳量和单位面积叶片进行光合作用时的释氧量,计算公式为:

净固碳量 = 44(1 - 0.2)T/1000, (2)

释氧量 = 32(1 - 0.2)T/1000, (3)

式(2)中,44为CO₂的摩尔质量,g·mol⁻¹;式(3)中,32为O₂的摩尔质量,g·mol⁻¹。

1.6 数据处理

所得测定数据使用 LI-6400 仪器自带软件处理,并采用 Microsoft Excel 2010、SPSS 22.0 进行作图与统计分析。

2 结果与分析

2.1 大气环境因子

各大气环境因子的日变化曲线均为单峰型(图1)。θ和PAR均在12:00达到峰值,7月和10月的最大θ分别为41.4和33.6℃,最大PAR分别为1798和1183 μmol·m⁻²·s⁻¹。RH在10:00左右达到最小值,7和10月RH的日均值分别为65.3%和48.6%;7和10月的大气CO₂摩尔分数(x_{CO₂}),日均值分别为382和437 μmol·mol⁻¹。

2.2 光合参数的动态变化特征

2.2.1 净光合速率 参试植物7月份Pn的日变化如图2a所示,其Pn的日变化曲线均为双峰型。不同植物达到第1个峰值的时间不同,香木莲和亮叶木莲在06:00达到峰值,开甫木莲在08:00达到峰值,但均在14:00达到第2个峰值。3种木莲在10:00—12:00期间均有明显的光合午休现象,Pn有所下降,这是植物在适应广东地区7月份的高温强光环境而进行的自我保护机制,其中香木莲和开甫木莲的下降幅度比亮叶木莲大,午休现象也更明显。参试植物的Pn日均值由大到小依次为:开甫木莲(5.35 μmol·m⁻²·s⁻¹)>亮叶木莲(2.87 μmol·m⁻²·s⁻¹)>香木莲(2.78 μmol·m⁻²·s⁻¹)。

参试植物10月份Pn的日变化如图2b所示,

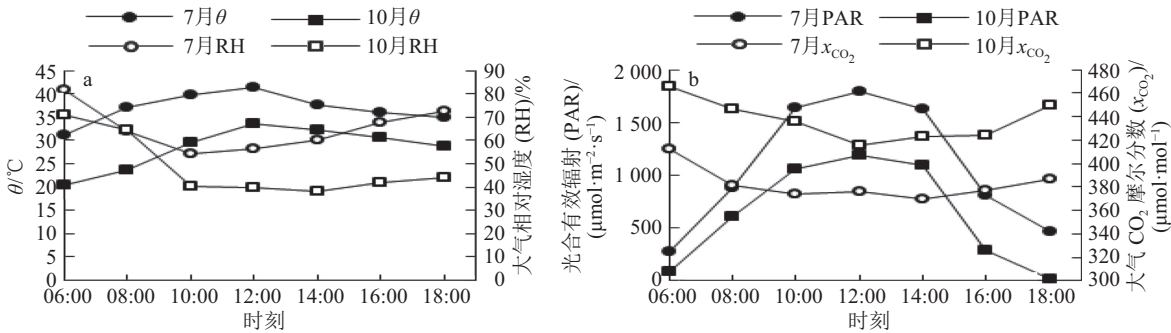


图 1 大气环境因子的日动态变化
Fig. 1 Diurnal dynamic changes of atmosphere environment factors

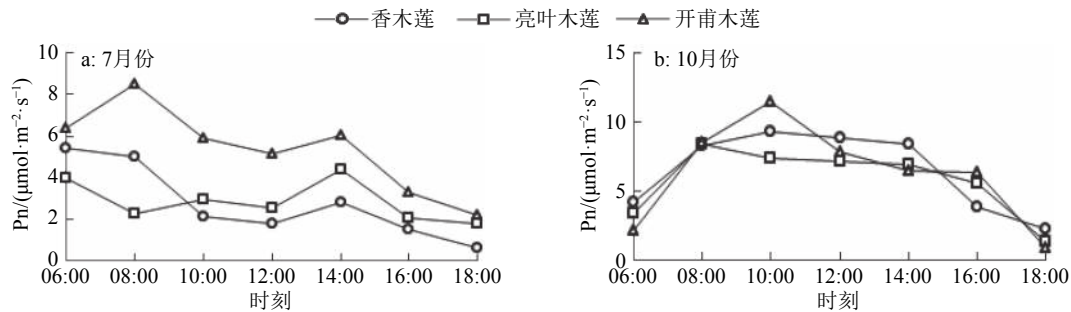


图 2 参试植物 7 和 10 月份净光合速率 (Pn) 的动态变化
Fig. 2 Dynamic changes of net photosynthetic rates (Pn) of test plants in July and October

其 P_n 的日变化曲线为单峰型, 无光合午休现象。香木莲和开甫木莲在 10:00 达到峰值, 亮叶木莲在 08:00 达到峰值。 P_n 的日均值由大到小依次为: 香木莲 ($6.46 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>开甫木莲 ($6.24 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>亮叶木莲 ($5.74 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。

参试植物 P_n 的日均值 10 月份都大于 7 月份, 说明在这 2 个月份, 木莲属植物更适应 10 月份的环境条件, 结合图 1 可以看出, 10 月份的 PAR 和 T_a 均小于 7 月份, 因此可以判断, 高温强光的天气对木莲属植物的光合作用有一定的抑制作用, 开甫木莲 7 和 10 月份 P_n 的日均值最接近, 所以它对 7 月份的高温强光气候条件适应性最好。

2.2.2 蒸腾速率 参试植物 7 月份 Tr 的日变化如图 3a 所示, 香木莲和开甫木莲 Tr 的日变化曲线为双峰型, 亮叶木莲为单峰型。香木莲和开甫木莲 Tr 的日变化曲线的 2 个峰值均出现在 08:00 和 14:00, 亮叶木莲的峰值出现在 14:00。香木莲和开甫木莲在 10:00—12:00 期间 Tr 出现明显的下降, 可以推断, 在高温强光的午间, 木莲属植物产生光合午休, 使气孔闭合, 减少水分蒸腾, Tr 下降; 亮叶木莲的 Tr 在午间呈上升趋势, 结合图 2a 中亮叶木莲的光和午休现象相对其他 2 种植物并不明显, 可以判断 7 月份中午的高温强光并不能使亮叶木莲的气孔大量闭合。参试植物的 Tr 日均值由大到小依次为: 开甫木莲 ($3.65 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>亮叶木莲 ($2.57 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>香木莲 ($1.56 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。

3 种参试植物 10 月份 Tr 的日变化如图 3b 所示, 其 Tr 的日变化曲线均为单峰型。不同植物达到峰值的时间不同, 香木莲为 12:00, 开甫木莲为 10:00, 亮叶木莲没有明显的峰值, 变化幅度较小。 Tr 的日均值由大到小依次为: 香木莲 ($1.85 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>开甫木莲 ($1.36 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>亮叶木莲 ($1.20 \text{ mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。

亮叶木莲和开甫木莲 7 月份的蒸腾作用均比 10 月份强, 香木莲在 2 个不同月份的蒸腾作用比较接近。参照一些学者的研究, 影响 Tr 的主要环境因子是 T_a , 因此一般而言, 植物在温度较高的 7 月份会有更高的 Tr 。而香木莲 7 月份的蒸腾作用低于 10 月份, 推测是香木莲在高温的 7 月份, 气孔会处于较长时间的闭合状态以减少水分蒸腾, 与 7 月份香木莲的 P_n 日均值最低的结论相吻合。

2.2.3 光合净固碳量和释氧量 根据公式 (1)、(2) 和 (3) 计算出的参试植物在 7 和 10 月份的单位叶面积净固碳量和释氧量见表 2。3 种木莲属植物在 7 和 10 月份的固碳能力均表现为: 开甫木莲>香木莲>亮叶木莲, 参试植物的固碳能力均为 10 月份强于 7 月份, 香木莲和亮叶木莲 10 月份的固碳量均比 7 月份有较大的增长, 香木莲 10 月份净固碳量约为 7 月份的 2.5 倍, 亮叶木莲为 2.3 倍, 而开甫木莲仅为 1.3 倍。说明 3 种参试的木莲属植物在适宜的温度条件下能更好地生长, 3 种植物中开甫木莲对高温的 7 月份的适应性最强。

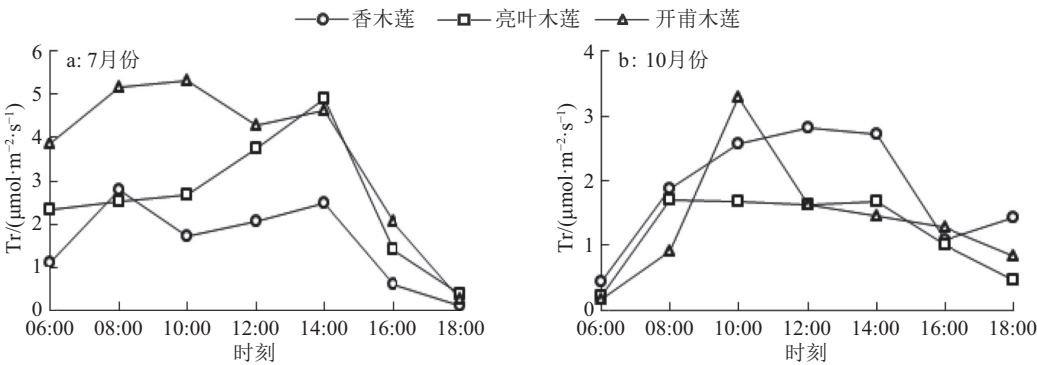


图 3 参试植物 7 和 10 月份蒸腾速率 (Tr) 的日动态变化
Fig. 3 Diurnal dynamic changes of transpiration rates (Tr) of test plants in July and October

表 2 参试植物 7 和 10 月份的日净固碳量与释氧量¹⁾

树种	净固碳量/($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)		释氧量/($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$)	
	7 月份	10 月份	7 月份	10 月份
香木莲	$4.15\pm0.13\text{b}$	$10.65\pm0.34\text{a}$	$3.02\pm0.10\text{b}$	$7.74\pm0.25\text{a}$
亮叶木莲	$4.12\pm0.43\text{b}$	$9.33\pm0.53\text{a}$	$2.99\pm0.31\text{b}$	$6.78\pm0.39\text{a}$
开甫木莲	$8.41\pm0.64\text{a}$	$10.71\pm0.46\text{a}$	$6.11\pm0.46\text{a}$	$7.79\pm0.33\text{a}$

1) 同列数据后, 凡是具有一个相同小写字母者表示树种间差异不显著 ($P>0.05$, Duncan's 法)

2.3 光响应特征

2.3.1 光响应进程 参试植物的光合光响应进程如图 4 所示, 3 种参试植物的光响应变化趋势基本相似。当 PAR 为 0 时, 各树种的 Pn 为负值, 说明此时植物只进行呼吸作用, 此时植物 Pn 值的相反数即为其暗呼吸速率 (Rd)。在低光强 (0~200 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) 时, Pn 随 PAR 的增大呈线性增大, 后增长逐渐趋于平缓, 当达到某一光强时, Pn 不再随 PAR 增大而增大。

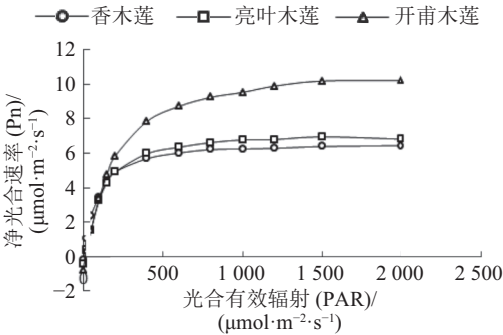


图 4 参试植物的光合光响应曲线
Fig. 4 Photosynthetic light-response curves of test plants

2.3.2 光响应参数 利用国内学者总结得到的新模型——直角双曲线修正模型^[15]对 3 种参试植物的光响应模型进行拟合, 并得到光响应参数模拟值, 根据图 4 估算的光响应参数实测值与模型拟合值如表 3 所示。从表 3 中可以看出, 与估算的实测值对比, 直角双曲线修正模型对 3 种木莲的光响应进程模拟效果均较好 ($R^2>0.9$), 且各项模拟参数的相似程度高。

根据拟合结果分析 3 种木莲的光响应特征。参试植物中, 开甫木莲的 LSP 最高, 为 2 261 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 其利用强光的能力最强, 亮叶木莲的 LSP 最低, 为 1 364 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$, 其利用强光的能力最弱。参试植物 LCP 从大到小依次为: 开甫木莲 (13.34 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>亮叶木莲 (9.13 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>香木莲 (2.39 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。参试植物 Rd 最小的是香木莲, 最大为开甫木莲, 因此 3 种木莲中香木莲利用弱光的能力最强。参试植物的光饱和 Pn_{max} 由大到小依次为: 开甫木莲 (10.34 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>亮叶木莲 (6.65 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)>香木莲 (6.30 $\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)。

表 3 参试植物光响应参数实测值与模拟值

Tab. 3 Measured and simulated values of test plants' light-response parameters

树种	数值 类型	光饱和点	光补偿点	最大净光合	暗呼吸速率	表观量子效率(AQY)/			R^2
		(LSP)/	(LCP)/	速率(Pn _{max})/	(Rd)/	(μmol·μmol ⁻¹)			
		(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	(μmol·m ⁻² ·s ⁻¹)	初始值	光饱和点	均值	
香木莲	实测值	1 500	6.21	6.29	0.15	0.025			0.999
	拟合值	1 700	2.39	6.30	0.19	0.079	0.076	0.081	
开甫木莲	实测值	1 600	23.75	9.59	0.78	0.033			0.999
	拟合值	2 261	13.34	10.34	0.88	0.066	0.061	0.070	
亮叶木莲	实测值	1 400	16.76	6.82	0.45	0.027			0.997
	拟合值	1 364	9.13	6.65	0.63	0.069	0.064	0.074	

3 讨论与结论

3 种木莲 Pn 的日变化曲线在 7 月份呈双峰型, 有明显光合午休现象, 光合作用水平为开甫木莲>亮叶木莲>香木莲, Pn 日变化曲线在 10 月份呈单峰型, 光合作用水平为开甫木莲>香木莲>亮叶木莲。10 月份净光合速率水平高于 7 月份, 因此生长旺盛期在 10 月份。7 月份 Tr 水平最高的植物为开甫木莲, 10 月份其为香木莲, 香木莲的 Tr 会随着温度上升呈下降趋势。参试植物 10 月份的固碳能力高于 7 月份, 且 7 和 10 月份的固碳量为: 开甫木莲>香木莲>亮叶木莲。

直角双曲线修正模型对于参试植物的光响应

曲线的拟合效果均较好 ($R^2>0.9$), 光响应变化曲线均为先上升后逐渐平缓, 通过直角双曲线修正模型拟合的光响应参数对比得到, 参试植物中开甫木莲的 LSP 和 Pn_{max} 最大; 香木莲的 LCP 和 Rd 最小, 开甫木莲利用强光的能力最强, 香木莲利用弱光的能力最强。

3 种木莲的最大日平均光合速率出现在 10 月份, 说明有部分木兰科树种在大气温度较低和光强较弱的秋季反而有更高的光合速率, 与李梦^[15]对 4 种木兰科植物 10 月份的光合日变化规律研究结果相似, 朱贤良等^[8]通过对 4 种木莲属植物研究后认为参试木莲属植物快速生长期在 10—12 月的秋冬低温季节, 高温季节生长较慢; 在气温、光照和

CO₂ 浓度相似而湿度较大的条件下, 香木莲和亮叶木莲的日最高 Pn 分别为 9.0 和 9.5 μmol·m⁻²·s⁻¹, 而本试验中, 仅为 6.0 和 7.0 μmol·m⁻²·s⁻¹, 因此, 推测湿度提高对木莲属植物的光合作用有一定的促进作用, 具体效果还有待进一步研究; 香木莲、乳源木莲和亮叶木莲在夏季的光合午休均出现在 12:00 左右, 与本文所得到的结论一致; 而法斗木莲 *M. fadouensis* 的光合午休则出现在 15:00, 与本文的研究结果存在一定差异, 说明不同木莲属植物对环境响应产生的光合午休机理是不同的, 具体规律还有待进一步研究。Farquhar 等^[16]提出的理论显示, 光合午休分为气孔限制和非气孔限制, 判断依据是 Pn、Ci(胞间 CO₂ 浓度) 和 Ls(气孔限制值) 的变化模式, 研究植物气孔限制性光合午休的机理, 有助于对木莲属濒危植物濒危机理的研究。在高温强光下, 3 种植物都出现了光合午休, 因此, 在 7 月份的中午, 可以通过对植株进行遮阴降低叶面温度, 缓和光合午休, 提高植物光合速率^[17]。本研究中, 3 种木莲的光响应曲线变化规律比较一致, 当达到 Pn_{max} 值后, Pn 没有明显的下降趋势, 说明在无其他胁迫条件下强光 (2 000 μmol·m⁻²·s⁻¹) 对 3 种木兰科植物没有明显的光抑制作用, 与郭起荣等^[7]对华木莲、乳源木莲和巴东木莲 *M. patungensis* 的测定结果一致。

一些学者的研究指出, 植物的固碳能力和光合能力与有机物积累能力有直接的关系^[18-19], 除了能了解其固碳能力, 还能反映树种在不同季节的有机物积累特点, 本研究中, 3 种木莲在 10 月份的有机物积累能力强于 7 月份。

现时常用的光合光响应模型中有直角双曲线模型、非直角双曲线模型、指数模型等^[20], 本文仅用直角双曲线修正模型对 3 种木莲进行了拟合, 并不能代表各植物的最佳拟合方式, 其最适光响应模型还有待进一步研究, 另外, 不同季节和气候对木莲属植物的光响应曲线也有一定的影响, 仍有待进一步的研究。本研究结合 3 种木莲的光合及固碳特性和广东地区的气候状况, 表明了高温强光会使参试植物的光合作用变弱, 对于一年中 5~6 个月处于较高温度的广东地区而言, 只有开甫木莲比较适合在此地保护栽植, 其余 2 种植物宜在气候更加温和的地区进行保护。

参考文献:

[1] 刘玉壶, 夏念和, 杨惠秋. 木兰科 (Magnoliaceae) 的起

源、进化和地理分布[J]. 热带亚热带植物学报, 1995, 4(3): 1-12.

[2] PAN C, ZHU X Y, JIA W X, et al. Near surface CO₂ concentration and its quantitative relationship with underlying surface in Shanghai City, China[J]. J Appl Ecol, 2015, 26(7): 2123-2130.

[3] 许大全. 光合作用效率[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.

[4] 王强, 金则新, 郭水良, 等. 濒危植物长叶榧的光合生理生态特性[J]. 生态学报, 2014, 34(22): 6460-6470.

[5] LI S, PEZESHKI S R, GOODWIN S. Effects of soil moisture regimes on photosynthesis and growth in cattail (*Typha latifolia*)[J]. Acta Oecol, 2004, 25(1): 17-22.

[6] FANG J Y, CHEN A P. Dynamic forest biomass carbon pools in China and their significance[J]. Acta Botanica Sinica, 2001, 43(9): 967-973.

[7] 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, 25(5): 645-651.

[8] 朱贤良, 严理, 秦武明, 等. 4 种木莲幼苗生长特性与光合生理研究[J]. 山西农业科学, 2014, 42(11): 1163-1168.

[9] 李芸瑛, 窦新永, 彭长连. 三种濒危木兰植物幼树光合特性对高温的响应[J]. 生态学报, 2008, 28(8): 3789-3797.

[10] 吴永彬, 冯志坚. 华南农业大学树木园稀有濒危植物和国家重点保护植物的迁地保护[J]. 华南农业大学学报, 2006, 27(3): 118-121.

[11] 国家林业局, 国家农业部. 国家重点保护野生植物名录 (第一批)[Z]. 1999-08-04.

[12] 莫亚鹰, 余金良, 黎念林, 等. 九种木兰科常绿树种的光合与固碳特性研究[J]. 北方园艺, 2016(17): 82-86.

[13] FARQUHAR G D, VON CAEMMERER S, BERRY J A. Models of photosynthesis[J]. Plant Physiol, 2001, 125(1): 42-45.

[14] 叶子飘, 王建林. 植物光合-光响应模型的比较分析[J]. 井冈山学院学报, 2009, 30(4): 9-13.

[15] 李梦. 木兰科几种常用绿化树种光合特性及固碳能力研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2014.

[16] FARQUHAR G D, VON CAEMMERERS S, BERRY J A. A biochemical model of photosynthetic CO₂ assimilation in leaves of C₃ species[J]. Planta, 1980, 149(1): 78-90.

[17] 王倩. 北美鹅掌楸优良无性系光合特性研究[D]. 泰安: 山东农业大学, 2016.

[18] GOUDRIAAN J. A simple and fast numerical method for the computation of daily totals of crop photosynthesis[J]. Agric Forest Meteorol, 1986, 38(1): 249-254.

[19] 白文明, 包雪梅. 乌兰布和沙区紫花苜蓿生长发育模拟研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(12): 1605-1609.

[20] 王海珍, 韩路, 徐雅丽, 等. 干旱胁迫下胡杨光合光响应过程模拟与模型比较[J]. 生态学报, 2017, 37(7): 2-10.

【责任编辑 李晓卉】