

武陵源珍稀树种幼树的光合特性研究

向建军¹, 王佩兰², 朱宁华², 向武凡¹, 欧阳昭³, 余耿清³

(1. 八大公山国家级自然保护区管理处, 湖南 张家界 427100; 2. 中南林业科技大学 林学院, 湖南 长沙 410004;

3. 福寿山国有林场, 湖南 岳阳 414000)

摘要:以张家界植物园移栽的香果树、小花木荷和长果安息香幼树为试材, 通过动态监测 4 种光合特征参数, 对 3 个不同珍稀树种的光合特性进行比较研究, 以为珍稀树种保护提供理论依据。结果表明: 3 个树种间的光合特性存在明显差异, 其中小花木荷光合能力最强。长果安息香、香果树和小花木荷的光合作用日变化均呈双峰型, 都存在光合午休现象。小花木荷能充分利用午后丰富的光热资源, 光合午休持续的时间短, 故而小花木荷的光合速率要明显高于香果树和长果安息香。3 个树种的 Pn-PRA 曲线变化趋势基本保持一致。在 PRA 为 0~200 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围时, 净光合速率 Pn 近乎呈直线上升; 在 PRA 为 600~900 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右时, 最大值出现。但是不同树种间最大 Pn 存在显著差异, 尤其是小花木荷光合能力远远超过其它 2 个树种。

关键词:武陵源; 珍稀树种; 光合参数; 光合特性

中图分类号:Q 945 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2014)13-0069-04

香果树(*Emmenopterys henryi*) 属茜草科香果树属, 是第四纪冰川幸存者植物之一。中国特有单种属珍稀树种, 国家二级保护稀有树种。主要分布在江西、安徽、湖南等地的亚热带落叶阔叶林区^[1], 研究香果树的光合特性, 可以为研究茜草科系统发育、形态演化及中国植物地理区系提供理论依据^[2]。小花木荷(*Schima parviflora* Cheng et H. T. Chang) 属山茶科木荷属植物, 是亚热带常绿阔叶林的主要建群种之一, 仅分布在湖南、四川、贵州及西藏东部的墨脱一带^[1], 是武陵山脉沟谷中重要的建群植物、造林和防火树种^[3]。长果安息香(*Changiostyrax raxdolicocarpha* C. T. Chen) 属安息香科长果安息香属, 为我国特有的单种属植物^[1]。该种在湖南石门、桑植及湖北秭归有少量分布, 由于数量稀少、分布区狭窄, 目前已处于濒危状态, 被列为国家级保护植物^[4]。

光合作用是指绿色植物吸收光能, 把 CO_2 和 H_2O 转化成有机物, 并且释放 O_2 的过程^[5]。早在 1772 年, 人们发现了植物的光合作用, 后来许多学者对不同树种植物的光合特性做了比较全面的研究^[6-12]。但有关香果

树、小花木荷和长果安息香的光合特性的研究仅有少量关于群落结构特征等方面的研究^[13-19]。现以移栽在武陵源风景区的珍稀濒危树种香果树、小花木荷和长果安息香为试材, 对其幼树叶片的净光合速率、气孔导度、蒸腾速率、胞间 CO_2 浓度等指标进行动态监测, 以为武陵山地植被保护和合理利用提供理论基础。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验在武陵源珍稀濒危植物园内进行, 武陵源风景区位于湖南省西北部的张家界市, 地处北纬 $29^{\circ}16'25'' \sim 29^{\circ}24'25''$, 东经 $110^{\circ}20'30'' \sim 110^{\circ}41'15''$, 为典型的中亚热带山原型季风湿润气候。雨量丰沛, 年平均降水量 1 400 mm, 阳光充足, 年平均气温 16.8°C 左右, 夏季 8 月极端气温在 37.2°C 左右, 冬季最冷月平均气温 4.3°C , 全年无霜期 258 d。

1.2 试验方法

利用 Li-6400 便携式光合仪于 2013 年 8 月 19 日对张家界珍稀濒危植物园香果树、小花木荷和长果安息香移植的幼树进行光合测定。每个树种挑选 3 株, 每株分东、南、西、北 4 个方向各选择长势较好、健康完好的 1 片叶进行测定, 光合日变化分别在 8:00、10:00、12:00、14:00、16:00、18:00 这 6 个时段测定 1 次叶片净光合速率(Pn)、气孔导度(Gs)、蒸腾速率(Tr)、胞间 CO_2 浓度(Ci)。光响应曲线测定采用开放式气路, 光合有效辐射(PRA)设置梯度为 2 000、1 800、1 500、1 200、900、600、300、200、150、100、75、50、25、0 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 并且计

第一作者简介:向建军(1970-), 男, 湖南桑植人, 本科, 林业工程师, 研究方向为森林培育。E-mail: 2490374229@qq.com.

责任作者:朱宁华(1964-), 男, 河南中牟人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 现主要从事森林培育学的教学与科研工作。E-mail: zhunin-ghua@yahoo.com.

基金项目:湖南省科技厅重大专项资助项目(2012FJ1005)。

收稿日期:2014-01-17

算光补偿点,整个过程设定 CO_2 浓度为 $400 \mu\text{mol}/\text{mol}$, 空气流速为 $400 \text{ mol}/\text{s}$ 。

1.3 数据分析

试验数据采用 Excel 和 SPSS 17.0 进行处理分析。

2 结果与分析

2.1 气温日变化、光合有效辐射的日变化

图 1 是发育成熟的叶片在生长旺季的 8 月中旬,张家界武陵源景区晴好天气的温度和光照强度的日变化图。从图 1 可以看出,气温和光照强度日变化曲线走势基本一致,先升高后降低,均为抛物线。只是光照强度在 12 点左右达到最大值($1512 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),气温升高稍微滞后,最大值(40.2°C)出现在 14 点左右,昼间温差在 10°C 左右。

2.2 不同树种叶片气体交换参数差异

由表 1 可知,香果树、小花木荷和长果安息香 3 个不同树种叶片的气体交换参数 Gs、Ci、Tr 均存在显著差异($P < 0.05$),小花木荷的 Pn 与香果树、长果安息香

之间也存在显著差异。其中,小花木荷的 Pn 值($6.2770 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、Gs 值($0.6096 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)、Ci 值($310.47 \mu\text{mol}/\text{mol}$)和 Tr 值($5.0595 \text{ mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)在 3 个树种中均为最高,除 Gs 值之外,香果树的各项参数均最低。净光合速率越大,光合积累的有机物产物就越多,植物生长就越快,长势也越强。由此可知,3 个树种中,小花木荷的光合能力最强,长果安息香次之,香果树最弱。

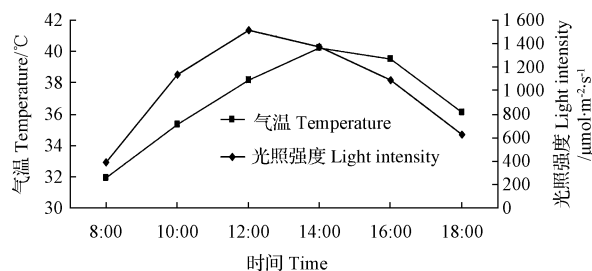


图 1 大气温度和光照强度日变化曲线

Fig. 1 Diurnal changes of light intensity and air temperature

表 1

不同珍稀树种叶片的气体交换参数差异

Table 1

Differences in gas exchange parameters of different rare tree species

树种 Species	净光合速率 Pn $/\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	气孔导度 Gs $/\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	胞间 CO_2 浓度 Ci $/\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$	蒸腾速率 Tr $/\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$
香果树 <i>Emmenopterys henry</i>	$4.6500 \pm 4.2901\text{a}$	$0.4118 \pm 0.8008\text{b}$	$279.84 \pm 53.73\text{b}$	$2.7493 \pm 1.9520\text{a}$
小花木荷 <i>Schima parviflora</i>	$6.2770 \pm 4.8428\text{b}$	$0.6096 \pm 0.6479\text{c}$	$310.47 \pm 80.35\text{c}$	$5.0595 \pm 3.0866\text{c}$
长果安息香 <i>Changiosyrax razdolichocarpa</i>	$5.9145 \pm 4.2000\text{a}$	$0.3261 \pm 0.2813\text{a}$	$304.48 \pm 42.99\text{a}$	$3.4115 \pm 2.4551\text{b}$

将各个树种叶片的气体交换参数进行相关性分析,结果见表 2,Tr 与 Pn、Gs 和 Ci 之间均极显著相关。其中,除了 Tr 与 Gs 为极显著负相关之外,其余均呈显著极显著正相关。

表 2 不同珍稀树种叶片气体交换参数的相关性分析

Table 2

Correlation analysis among

the leaf photosynthetic parameters in 3 different rare tree species

参数 Parameters	净光合速率 Pn	蒸腾速率 Tr	气孔导度 Gs	胞间 CO_2 浓度 Ci
净光合速率 Pn	1			
蒸腾速率 Tr	0.630^{**}	1		
气孔导度 Gs	0.033	-0.139^{**}	1	
胞间 CO_2 浓度 Ci	-0.037	0.355^{**}	-0.047	1

注: ** 在 0.01 水平(双侧)上显著相关。

Note: ** correlation analysis among the leaf photosynthetic parameters are significant at the 0.01 level.

2.3 净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度等参数在树种间的变异

由图 2 可知,气孔导度、胞间 CO_2 浓度和蒸腾速率在不同树种间存在的差异比较大,并且与净光合速率在树种间的变化规律基本保持一致。净光合速率增大 3 个参数也相应变大,反之亦然。在 3 个树种中,小花木荷一直保持着最大的变异幅度。

2.4 不同珍稀树种叶片光合特征参数日变化比较

在 8 月中旬,动态监测香果树、长果安息香和小花木荷 3 个不同珍稀树种叶片光合特征参数 Pn、Tr、Gs、Ci 的日变化规律各有不同。从图 3 可以看出,不同珍稀树种叶片净光合参数 Pn 日变化均为不对称的双峰曲线,且变化趋势基本一致。净光合速率第 1 个高峰出现在 10 点,第 2 个小高峰出现在 16 点左右。中午 12 点出现第 1 个低峰,由于叶片的“午休”现象,导致 12 点时出现一个午间低值。14 点后又开始上升,出现第 2 个高峰,此后随着阳光的减弱,又开始逐渐降低,直到 18 点下降到最低值。

不同树种的气孔导度 Gs 曲线一致,变化规律与 Pn 曲线走势完全相反。Gs 在早上 8 点时较高,随着阳光的增强开始急剧降低,到 10 点就达到了第 1 个最低峰,随后开始直线上升,午休 12 点达到最大值。午休过后又开始慢慢下降,直至 16 点,几乎降到 0,之后又逐渐上升。

3 个不同树种叶片胞间 CO_2 浓度(Ci)日变化曲线基本一致,均呈“W”走势。早上 8 点 Ci 值较高,随着叶片光合作用的进行开始下降,10 点时达到第 1 个低峰,随着叶片光合“午休”开始急剧升高,14 点时达到最高峰,16 点达到第 2 个低峰,随后又上升。由此说明,叶片

内的 CO_2 没有及时被固定造成一定的积累,同时也说明了叶片进行光合“午休”不完全是因为气孔的关闭,叶肉细胞光合能力下降也是造成原因之一。

3个树种蒸腾速率 Tr 曲线走势基本一致,在全天的不同测定时段呈不规则波浪式变化,保持“低-高-高-低-高”变化规律。

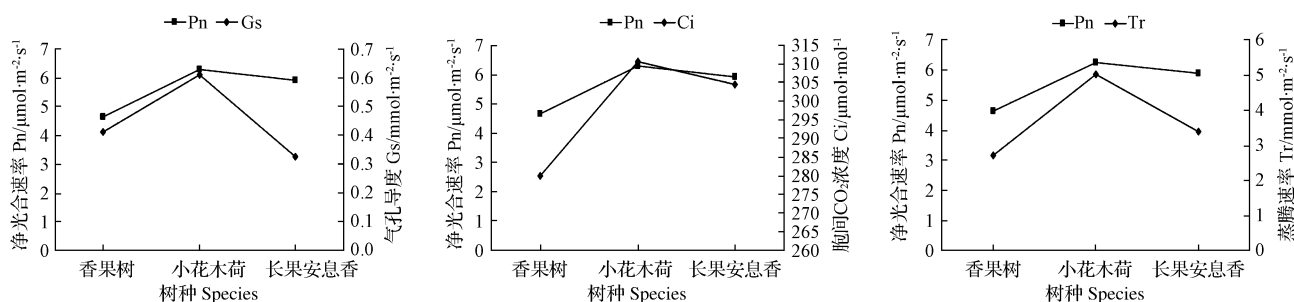


图2 净光合速率与气孔导度、胞间 CO_2 浓度以及蒸腾速率树种间的变化趋势

Fig. 2 Variable trends of Pn and Gs, Ci and Tr among species

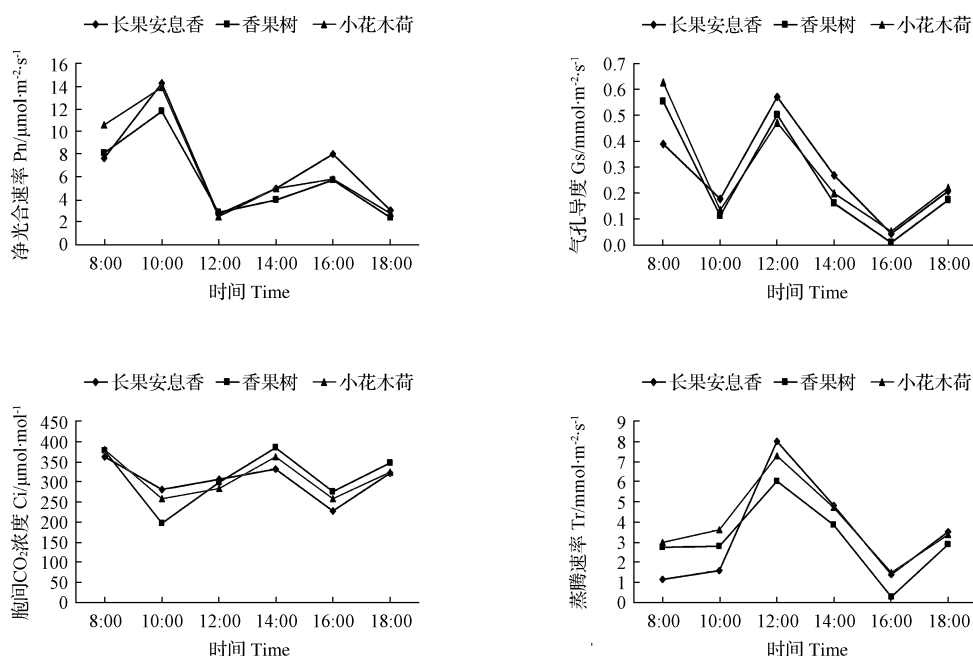


图3 3个不同珍稀树种光合特征参数日变化

Fig. 3 The diurnal variation curves of photosynthetic parameters in leaves of 3 different rare species

2.5 不同珍稀树种叶片的光响应特征参数比较

通过 LRD 光源设定的梯度光强,测定所对应的净光合速率。由图 4 可知,3 个树种的 Pn -PRA 曲线变化趋势一致。在 PRA 为 $0 \sim 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围时,净光合速率 Pn 近乎呈直线上升,斜率表示光合量子效率,它代表光合作用中光能转化效率;在 PRA 为 $200 \sim 900 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时,净光合速率仍然保持平稳增长,在 PRA 为 $600 \sim 900 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右时出现最大值;PRA 在 $900 \sim 1600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, Pn 的增长幅度开始缓慢下降,当 PRA 大于 $1600 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时, Pn 值均开始下降,表现出强光抑制现象。小花木荷的最大 Pn 值是长果安息香和香果树的 2 倍,这说明小花木荷的

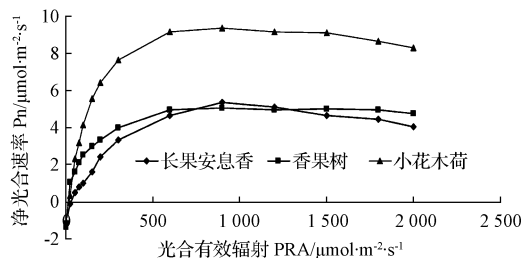


图4 3个不同珍稀树种叶片光合作用-光响应曲线

Fig. 4 The photosynthesis-light response curves in leaves of 3 different rare species

光合能力明显优于其它 2 个树种。

3 结论

该试验结果表明,香果树、长果安息香和小花木荷间的光合特征均存在明显差异。从整体看来,小花木荷的 P_n 、 Tr 、 G_s 值均比较高,属于光合生产力较强的树种。不同树种叶片 P_n 日变化均为不对称的双峰曲线,且变化趋势完全一致。最高峰均出现在上午 10 点,中午叶片“午休”,导致 12 点出现午间最低值。3 个树种的 P_n -PRA 曲线变化趋势基本保持一致。在 PRA 为 $0 \sim 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 范围时,净光合速率 P_n 近乎呈直线上升;在 PRA 为 $600 \sim 900 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右时,最大值出现。但是不同树种间最大 P_n 存在显著差异,尤其是小花木荷,其光合能力远远超过了其它树种。

参考文献

- [1] 中国植物志编委会. 中国植物志[M]. 北京: 科学出版社, 1978.
- [2] 徐卫红, 王艾平, 章志琴. 武夷山香果树种群格局的分形特征-信息维数[J]. 浙江林业科技, 2010(2): 31-35.
- [3] 周安会, 王元海, 王传强, 等. 小花木荷选育报告[J]. 现代园艺, 2012(22): 7, 9.
- [4] 张程, 彭重华, 刘晖, 等. 湘西北长果安息香群落区系组成与特征[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2012(3): 144-148.
- [5] 王忠. 植物生理学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [6] 赵勋. 越南安息香不同种源苗期光合特性研究[D]. 杭州: 浙江农林大学, 2011.
- [7] 姚毅. 珙桐幼苗光合特性的研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2012.
- [8] 陈昕. 雷公藤不同种源光合特性及其与生长属性关系研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2011.
- [9] 李志辉, 杨模华, 黄丽群, 等. 桉树等速生树种光合速率测定分析[J]. 中南林学院学报, 2005(2): 7-11.
- [10] 王乃江, 侯庆春, 张文辉, 等. 黄土高原乡土树种光合作用及抗旱性研究[J]. 西北林学院学报, 2006(3): 26-29, 44.
- [11] 徐飞, 郭卫华, 王玉芳, 等. 济南市校园 6 个绿化树种光合荧光特征比较初探[J]. 山东大学学报(理学版), 2007(5): 86-94.
- [12] 王庆菊, 李晓磊, 王磊, 等. 桃、李属红叶树种叶片光合特性[J]. 林业科学, 2007(6): 32-37.
- [13] 郭连金, 李梅. 濒危植物香果树武夷山种群分布格局的分形分析[J]. 西北植物学报, 2009(5): 1033-1039.
- [14] 郭连金, 林国卫, 徐卫红, 等. 武夷山香果树自然种群生殖构件特性研究[J]. 西北林学院学报, 2011(4): 18-22, 26.
- [15] 刘鹏, 康华靖, 张志详, 等. 香果树(*Emmenopterys henryi*)幼苗生长特性和叶绿素荧光对不同光强的响应[J]. 生态学报, 2008(11): 5656-5664.
- [16] 柯世省. 珍稀植物香果树光合作用日进程初步研究[J]. 福建林业科技, 2009(2): 226-230.
- [17] 刘扬晶, 张娜. 武陵山地小花木荷群落种间联结分析研究[J]. 江西农业学报, 2010(9): 64-67, 74.
- [18] 张娜, 朱凡, 刘扬晶, 等. 武陵山地小花木荷群落物种多样性研究[J]. 中南林业调查规划, 2011(1): 54-58, 64.
- [19] 张程, 彭重华, 刘晖, 等. 湘西北长果安息香种群数量与分布格局[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2011(6): 615-620.

Study on the Photosynthesis Characteristics of the Rare Species in Wulingyuan Area

XIANG Jian-jun¹, WANG Pei-lan², ZHU Ning-hua², XIANG Wu-fan¹, OU Yang-zhao³, YU Geng-qing³

(1. Management Office Badagongshan National Nature Reserve, Zhangjiajie, Hunan 427100; 2. School of Forestry, Central South University of Forestry and Technology, Changsha, Hunan 410004; 3. Fushoushan State-owned Forest, Yueyang, Hunan 414000)

Abstract: Taking *Emmenopterys henryi*, *Schima parviflora* and *Changiostyrax raxdolichocarpa* that transplanted to Zhangjiajie botanical garden as test material, by the dynamic monitoring of 4 photosynthetic characteristic parameters, photosynthetic characters of 3 different rare tree were studied and compared, in order to provide a theoretical basis for the protection of rare species. The results showed that there were obvious differences in three species, and *Schima parviflora* was the best. The diurnal changes curves of photosynthetic rate of three species were all taken on a double peak curve, and all had 'noon break'. The former was higher than the last two. The PRA curves of net photosynthetic rate of all the three species were similar. It presented vertical line ascending in the range of PRA $0 \sim 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, then the maximum appears when PRA raise to $600 \sim 900 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. But there was significant differences in the P_n . Among them, *Schima parviflora* had a distinct advantage.

Key words: Wulingyuan area; rare tree species; photosynthetic parameters; photosynthetic characteristics