

上海地区九种木兰科植物光合特性的研究

王红兵¹, 王励勉², 秦俊², 胡永红²

(1. 北京林业大学 园林学院, 北京 100083; 2. 上海植物园, 上海 200231)

摘要: 通过测试 9 种木兰科植物的光合特性, 结果表明: 自然状态下, 9 个树种的净光合速率曲线多呈双峰型, 与光照强度呈一定程度的负相关性, 但杂种鹅掌楸的净光合速率曲线与其他差异大。从光合作用与其影响因子之间的线性关系可以获得相关系数并建立回归方程为 $y = 0.599 - 0.001R_c - 0.003P_A R + 0.036R_m - 0.274T_a + 0.005G_s + 0.408T_l - 0.014c_i$ 。并测算出单位叶面积的光合作用引起的固碳放氧能力。

关键词: 净光合速率; 木兰科; 相关分析; 回归分析

中图分类号: S 685.99 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-0009(2008)08-0103-03

上海市是北亚热带季风气候区的一座特大型城市, 夏季酷热的气候及日益严重的热岛效应对园林绿化提出了更高要求。木兰科植物作为上海常见树种, 表现较好, 尤其白玉兰还是市花, 所以应该进一步研究该科植物的生态学效应, 为改善城市热岛效应, 合理规划植物提供理论依据。光合作用减少二氧化碳, 放出氧气, 从而一定程度上减弱热岛效应。现以常见的 9 种木兰科树种为研究对象, 较系统地分析了其光合特性, 探讨了不同种的差异性, 并量化了其吸碳吐氧的能力。

1 材料与方法

1.1 研究地自然概况

上海市位于 $30^{\circ}40' \sim 31^{\circ}53'N$, $120^{\circ}51' \sim 122^{\circ}12'E$, 处长江入海口, 地势低平。气候属北亚热带季风气候型, 四季分明, 日照充足, 夏季酷热, 冬季湿冷。年均温 $15.2 \sim 15.9^{\circ}C$, 极端低温 $-12.0^{\circ}C$, 极端高温 $40.2^{\circ}C$ 。年均降水量 $1\,048 \sim 1\,138\text{ mm}$ ^[2]。上海植物园位于黄浦江西岸, 始建于 1974 年, 占地 81.86 hm^2 。园内设有盆景园、牡丹园、桂花园、蔷薇园、槭树园、竹园、兰室和木兰园等十几个专类园区。其中木兰园占地 3 hm^2 , 现栽培的木兰科树种(品种)达 30 余种。

1.2 供试材料概况

参试的树种分属木兰科的木兰属、含笑属和鹅掌楸属, 包括 7 个种和 2 个品种, 分别为: 白玉兰(*Magnolia denudata* Desr.), 红运玉兰(*M. 'Hongyun'*), 紫花玉兰(*Magnolia liliiflora* Desr.), 二乔玉兰(*M. soulangeana*

Soul.-Bod.), 山玉兰(*M. delavayi* Franch.), 广玉兰(荷花玉兰 *M. grandiflora* Linn.), 含笑(*Michelia figo* (Lour.) Spreng.), 新含笑(*M. 'Xinhanxia'*)、杂种鹅掌楸(*Liriodendron tulipifera* \times *chinense*)。所选试验材料均在上海植物园木兰(专类)园内, 是种植多年的成年健壮树, 树龄平均在 15~20 a, 生长正常。

1.3 试验方法

从 2007 年 7 月下旬至 8 月上旬对参试树种进行了测定, 在冠层阳面选取外观上生长正常的成熟叶片, 每种植物测试 12 个叶片, 重复测试 3 d。选择晴朗无风的天气条件, 测定时段分别从 9:00、10:30、12:30、14:00 和 16:00 开始, 在自然光照下进行测定, 水汽浓度为大气 80%。测试仪器为 CIRAS-1 便携式光合作用测定系统。主要测试指标有净光合速率(P_n , P)、光合有效辐射(PAR)、参比 CO_2 浓度(CO_2 Ref, R_c)、 CO_2 浓度差值(CO_2 Diff, ΔR_c)、参比相对空气湿度(mb Ref, R_m)、相对湿度差值(mb Diff, ΔR_m)、空气温度(Air Temp, T_a)、叶温(Leaf Temp, T_l)、空气流量(Flow)、气孔导度(G_s)和细胞间隙 CO_2 浓度(c_i)等。

1.4 数据分析方法

采用 SPSS11.5 统计分析软件对数据进行相关分析和回归分析, 并结合植物生态学原理计算与光合作用有关的生态学效应值^[3]。假设测试的光合作用固碳放氧量均以每天 10 h 进行计算。则植物全天总的光合速率 P 计算公式如下:

$$P = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(P_i + P_{i+1})}{2} \times (t_{i+1} - t_i) \times \frac{3600}{1000} \right]$$

P 单位 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。 P_i 为初测点瞬时光合速率, P_{i+1} 为下一测点净光合速率, 单位 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。 t_i 为初测点时间, t_{i+1} 为下一测定时间, 单位 h。

单位叶面积每天 CO_2 固定量和 O_2 固定量(单位 $g \cdot$

第一作者简介: 王红兵(1971-), 男, 工程师, 在读硕士, 研究方向为植物生态。E-mail: whb0236@sina.com。

通讯作者: 胡永红。

基金项目: 科技部课题资助项目(2006BAJ02A02)。

收稿日期: 2008-02-30

$m^{-2} \cdot d^{-1}$)公式如下:

$$W_{CO_2} = P \times \frac{44}{1000} = 1.584 \times P,$$

$$W_{CO_2} = P \times \frac{32}{1000} = 1.553 \times P.$$

P 为平均光合速率,在该文 $P = \frac{1}{5}P$ 。

2 结果与分析

2.1 光合作用的日变化

2.1.1 9种植物的光合总日变化 从综合测试结果看,净光合速率的日变化出现双峰现象(图1),出现在 10:30 和 14:00 左右。值得注意的是平均净光合速率在中午

12:30 左右出现一个谷值,即所谓“午休”现象,强光、高温和气孔导度等是造成“午休”的主要原因。光合有效辐射的日变化呈典型的正态分布,中午 12:30 前后达到峰值。比较二曲线可看出,中午过强的光照会抑制光合作用。从图1 看出,在 10:30 之前当 PAR 在光补偿点以上时, P_n 与 PAR 呈正相关;在 10:30 之后二者呈反向关系,到中午 12:30 前后净光合速率为负值。在 10:30 时点,随着 PAR 增加而 P_n 不再增加,出现光饱和现象。下午随着 PAR 的递减,一度出现 P_n 小峰值。说明在经历中午短暂的“午休”之后光合作用又有所增强。

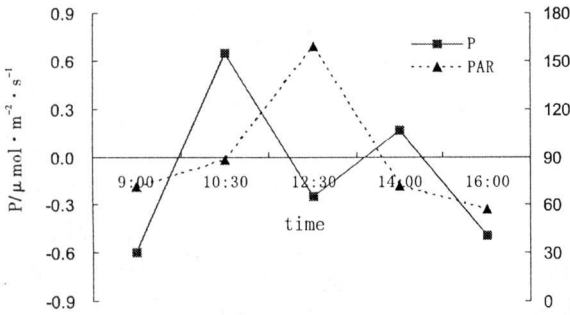


图1 净光合速率和光合有效辐射的日变化比较

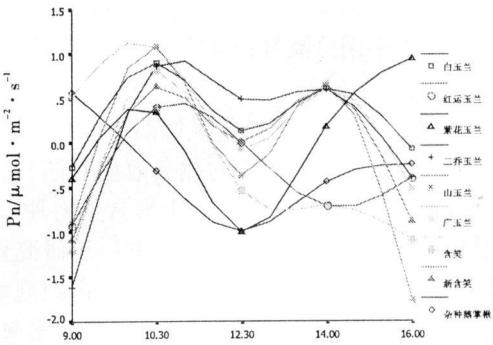


图2 9个树种净光合速率的日变化

2.1.2 具体树种的光合日变化 图2给出了9个树种净光合速率的日变化曲线,除紫花玉兰、红运玉兰、鹅掌楸外,其他6种与总曲线较为一致。紫花玉兰第一个峰值和谷值与总曲线相似,但第二个峰值在 16:00 而非 14:00;红运玉兰亦双峰曲线,但谷值在 14:00 非12:30;杂种鹅掌楸呈单谷曲线,谷值在 12:30。图3揭示了杂种鹅掌楸的净光合速率与温度之间的关系。二曲线的负相关性非常典型。SPSS 分析亦说明其净光合速率与温度存在极显著的负相关,相关系数为-0.88。既然 T_a 曲线为单峰型,那么杂种鹅掌楸的 P_n 相应为单谷型。

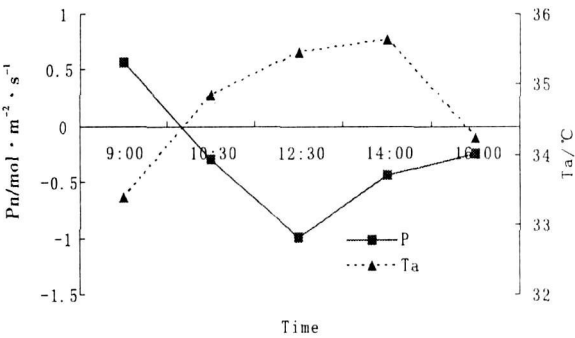


图3 杂种鹅掌楸的净光合速率与温度曲线

2.2 光合作用与其影响因子的相关性

2.2.1 综合9种植物的光合作用与其影响因子的相关性 净光合速率与各因子的相关性参见表1。净光合速率与 R_c 、 ΔR_c 、 ΔR_m 、 G_s 和 c_i 呈负相关,与 PAR、 R_m 、 T_a 和 T_l 呈正相关。其中与 ΔR_c 呈极显著相关,与 c_i 呈较显著相关,其他相关性较低甚至极低。经过对 R_c 、PAR、 R_m 、 T_a 、 G_s 、 T_l 和 c_i 因子的回归分析,建立净光合速率的多元回归方程: $y = 0.599 - 0.001x_1 - 0.003x_2 + 0.036x_3 - 0.274x_4 + 0.005x_5 + 0.408x_6 - 0.014x_7$ 。其中, $y = P$; $x_1 = R_c$; $x_2 = PAR$; $x_3 = R_m$; $x_4 = T_a$; $x_5 = G_s$; $x_6 = T_l$; $x_7 = c_i$ ($R = 0.771$)。方差检验结果 $F = 9.632$, $p < 0.001$,说明自变量与因变量之间确有线性回归关系。

表1 净光合速率与影响因子的相关系数

指标	R_c	ΔR_c	PAR	R_m	ΔR_m	T_a	G_s	T_l	c_i
P_n	-0.149	-0.967	0.068	0.238	-0.157	0.225	-0.141	0.254	-0.684

2.2.2 具体树种的光合作用与其影响因子的相关性 表2列举了9个树种的净光合速率分别与其影响因子的相关系数。如白玉兰的 P_n 与 T_a 和 T_l 呈极显著正相关,与 ΔR_c 、 G_s 和 c_i 呈极显著负相关,与 ΔR_m 呈显著负相关,与 R_c 和 R_m 则相关度很弱或极弱。 c_i 与每种植物的 P_n 都是显著或极显著负相关。通过对影响净光合速率的因子作回归分析,建立每个树种净光合速率的多元回归方程(表3),其中 y 为净光合速率, x_i ($i = 1 \sim 4$) 为影响因子, R^2 为判定系数(1.000)。不同树种的自变量并

不完全一致,说明树种不同,其影响因子和回归系数都 有差异,其中较高的回归系数表明相关性强。

表 2 不同树种的净光合速率与其影响因子的相关系数

因子	白玉兰	红运玉兰	紫花玉兰	二乔玉兰	山玉兰	广玉兰	含笑	新含笑	杂种鹅掌楸
Re	-0.222	-0.795	0.604	0.215	0.207	-0.588	0.383	-0.393	0.633
△Re	-0.889	-0.993	-0.975	-0.998	-0.997	-0.957	-0.984	-0.995	-0.988
PAR	-0.497	0.446	-0.850	0.406	0.693	-0.260	0.398	0.375	0.667
Rm	0.220	0.715	-0.501	0.522	0.838	-0.448	0.467	0.369	-0.385
△Rm	-0.743	-0.837	-0.377	0.174	0.208	0.218	0.463	0.137	0.558
Ta	0.827	0.109	-0.467	0.688	0.763	-0.163	0.554	0.859	-0.880
Gs	-0.805	0.041	-0.219	0.025	-0.179	0.239	0.680	-0.412	0.728
Tl	0.830	0.189	-0.483	0.696	0.752	-0.268	0.466	0.855	-0.520
ci	-0.858	-0.911	-0.566	-0.553	-0.875	-0.884	-0.811	-0.822	-0.538

表 3 9 树种净光合速率的多元回归方程

树种	回归方程	自变量含义
杂种鹅掌楸	$y=-7.52+0.029x_1+0.008x_2+0.039x_3-0.015x_4$	$x_1-R_e\ x_2-PA\ R\ x_3-T_k\ x_4-ci$
白玉兰	$y=-4.565-0.001x_1-0.01x_2+0.21x_3-0.003x_4$	$x_1-R_e\ x_2-PA\ R\ x_3-T_k\ x_4-ci$
紫花玉兰	$y=0.136+0.009x_1-0.003x_2-0.011x_3-0.007x_4$	$x_1-R_e\ x_2-PA\ R\ x_3-G_s\ x_4-ci$
山玉兰	$y=-9.609+0.077x_1-0.059x_2-0.037x_3-0.086x_4$	$x_1-R_e\ x_2-PA\ R\ x_3-G_s\ x_4-ci$
广玉兰	$y=35.568-0.126x_1-0.004x_2+0.395x_3-0.004x_4$	$x_1-R_e\ x_2-PA\ R\ x_3-T_a\ x_4-ci$
红运玉兰	$y=17.491+0.015x_1-0.007x_2-0.011x_3-0.042x_4$	$x_1-T_a\ x_2-PA\ R\ x_3-G_s\ x_4-ci$
二乔玉兰	$y=-31.133+0.089x_1+0.562x_2-0.009x_3-0.046x_4$	$x_1-R_e\ x_2-R_m\ x_3-G_s\ x_4-ci$
含 笑	$y=8.306+0.001x_1+0.001x_2+0.007x_3-0.023x_4$	$x_1-R_m\ x_2-PA\ R\ x_3-G_s\ x_4-ci$
新含笑	$y=-9.572+0.109x_1-0.001x_2-0.346x_3-0.063x_4$	$x_1-R_e\ x_2-PA\ R\ x_3-R_m\ x_4-ci$

表 4 单位叶面积的光合作用引起的固碳放氧能力

树种	$P_n/\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$	吸收 $\text{CO}_2/\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$	放出 $\text{O}_2/\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$
含笑	-0.54	-0.855	-0.623
红运玉兰	-0.32	-0.507	-0.369
杂种鹅掌楸	-0.28	-0.444	-0.323
山玉兰	-0.26	-0.412	-0.300
新含笑	-0.14	-0.222	-0.161
二乔玉兰	-0.01	-0.016	-0.012
紫花玉兰	0.02	0.082	0.023
白玉兰	0.27	0.428	0.311
广玉兰	0.33	0.523	0.380

2.3 光合作用产生的生态效应值

9 个树种光合作用的固碳释氧能力分别见表 4。由表 4 可知, $P>0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的有广玉兰、白玉兰和紫花玉兰; P 在 $-0.3\sim0\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间的有二乔玉兰、新含笑、山玉兰和杂种鹅掌楸; $P<-0.3\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 的有红运玉兰和含笑。2/3 树种的净光合速率为负值,可能与参试树木周围有其他高大乔木的遮荫导

致光照减弱有关。

3 讨论

现主要研究的是上海市 2007 夏季的测试结果,高温是这段时间的典型特征,也是制约光合作用的主要因子。事实上不同地域不同季节植物光合速率的数值及日变化差别很大,如傅大立、李芳东等的研究中紫花玉兰的 P_n 与 PAR 呈正相关^[4],而该研究中二者为负相关。

另外,由于该研究中的测试是在园林绿地的自然条件下进行的,立地条件比较复杂,容易受到环境的影响,所以测试的数据和曲线与其生理特性上可能并不完全符合,应该合理控制环境因子做进一步试验。

参考文献

[1] 刘玉壶.中国植物志[M]. 30 卷.北京: 科学出版社 1996
[2] 杨永川, 达良俊. 上海乡土树种及其在城市绿化建设中的作用[J]. 浙江林学院学报, 2005, 22(3): 286-290.
[3] 曲仲湘. 植物生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 1983.
[4] 傅大立, 李芳东. 玉兰属 5 树种生理指标的对比研究[J]. 林业科学 2003, 39(1): 44-49.
[5] 马志波. 北京地区 6 种落叶阔叶树光合特性的研究[J]. 北京林业大学学报, 2004, 26(3): 13-18.
[6] Kitaya Y. The effect of gravity on surface temperature and net photosynthetic rate of plant leaves[J]. Advances in Space Research, 2001, 28(4): 659-664.
[7] Timlin, Dennis. Whole plant photosynthesis, development, and carbon partitioning in potato as a function of temperature[J]. Agronomy Journal 2006, 98(5): 1195-1203.

Research on Photosynthetic Characteristics of 9 Mognoliaceae Species in Shanghai

WANG Hong-bing¹, WANG Li-mian², QIN Jun², HU Yong-hong²
(1. School of Landscape Architecture Beijing Forestry University, Beijing 100083, China; 2. Shanghai Botanical Garden, Shanghai 200023, China)

Abstract: By the test of photosynthetic characteristics of 9 Mognoliaceae Species, the results showed: Under natural state, most of photosynthetic rate curves among 9 species were double peak types, having some extents of negative correlation with PAR. But the curves of *Liriodendron hybrida* was different from others. The regression equation between photosynthetic and its influence factors was: $y=0.599-0.001R_e-0.003PAR+0.036R_m-0.274T_a+0.005G_s+0.408T_l-0.014ci$. And it was given the capacity of carbon fixation and oxygen release by photosynthesis in a unit leaf area.
Key words: Photosynthetic rate; Magnoliaceae; Correlation analysis; Regression analysis