

高温环境下三峡库区引进树种水紫树(*Nyssa aquatic*)的光响应*

王轶浩, 罗 韧

(重庆市林业科学研究院, 重庆 400036)

摘 要: 2012年8月, 在35℃高温环境下采用Li-6400便携式光合测定仪对三峡库区引进树种(水紫树)的光响应特征进行测定。结果表明: 水紫树的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度和CO₂利用率均随光合有效辐射增加而先快速再缓慢增加、然后略有下降; 光能利用率则随光合有效辐射增加而减小; 最大净光合速率为6.587 μmol/(m²·s)、表观量子效率为0.077 mol/mol、光补偿点和光饱和点分别为16.69 μmol/(m²·s)和481.82 μmol/(m²·s)。说明引进树种水紫树对三峡库区的夏季高温环境条件有较强的适应性, 并且具有较强的耐阴性, 可见其能较好的适应三峡库区的生态环境。

关键词: 光响应; 水紫树; 三峡库区

中图分类号: S718.5

文献标识码: A

文章编号: 1003-5508(2013)04-0010-04

Light-response of an Introduced Tree Species (*Nyssa aquatic*) under the Environment of High Temperature in Three Gorges Reservoir Region

WANG Yi-hao LUO Ren

(Forestry Academy of Chongqing, Chongqing 400036, China)

Abstract: Light-response characteristics of an introduced tree species (*Nyssa aquatic*) under the environment of high temperature (35℃) in Three Gorges Reservoir Region was measured by using a Li-6400 portable photosynthesis system in August of 2012. The results showed that net photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and CO₂ use efficiency of *Nyssa aquatic* increased firstly, then a little slowed down with photosynthetic active radiation increasing, but light use efficiency decreased with photosynthetic active radiation increasing; The maximum net photosynthetic rate was 6.587 μmol/(m²·s) and the view of the quantum efficiency was 0.077 mol/mol; Its light compensation point and light saturation point were 16.69 μmol/(m²·s) and 481.82 μmol/(m²·s) respectively. It indicated that *Nyssa aquatic* had a stronger adaptation for the environment of high temperature in summer in Three Gorges Reservoir Region, and had stronger shade tolerance, so *Nyssa aquatic* introduced could better adapt for the ecological environment of Three Gorges Reservoir Region.

Key words: Light-response, *Nyssa aquatic*, Three Gorges Reservoir Region

三峡工程正常运行后, 在库区形成高程落差30 m(高程145 m~175 m)的季节性涨落消落区, 它的形成将带来一系列的生态环境问题, 诸如水土流失

加剧、生物多样性降低、水质污染等, 这些都严重影响着三峡水库的生态安全。如何实现三峡库区消落带的生态治理已成为国内外学者关注的焦点^[1-3],

收稿日期: 2013-04-07

基金项目: 国家林业局948项目“库区消落带生态治理关键技术引进”(2008-4-45); 重庆市林业科技项目(AS1006)和重庆三峡库区森林生态保护与恢复市级重点实验室(CSTC2007CA1001)联合资助。

作者简介: 王轶浩(1982-), 男, 博士, 高级工程师, 主要从事森林生态、恢复生态研究。

以往研究通过筛选消落带的适生树(草)种对其生态治理取得一定的试验效果,但这些树(草)种可否在消落带进行大面积示范推广还有待进一步验证。不过可以肯定得是针对消落带严酷的自然环境条件及其对栽植植物的苛刻要求(夏季需耐高温、干旱;冬季需耐水淹),目前所筛选的消落带适生树(草)种类仍然偏少,对于构建稳定的消落带库岸防护林生态系统还有很大差距,因此,还需加强对消落区适宜树(草)种的选育、引种研究。

水紫树为兰果树科紫树属,是美国特有种,耐水淹,其自然分布在北美东南部以及南部1 000 m 以下的海(河)岸、沼泽地。2009 年经美国田纳西州首次引种到三峡库区消落带栽植,经过两年的淹水试验后表现较好,但其对三峡库区夏季高温环境的适应性如何还不甚了解。光合特性作为树种的重要生理指标之一,被广泛地用于表征树种的适应性研究^[4],目前国内关于水紫树的光合特性研究也未见报道。本文对水紫树在三峡库区高温环境条件下的光响应进行研究,旨在掌握水紫树引种后对三峡库区高温环境的适应能力以及为丰富消落区的适生树种资源库提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于重庆市林科院的歌乐山试验苗圃,属中梁山山脉,距离沙坪坝区中心——三峡广场约 5 km。该苗圃地势较平坦,海拔在 500 m 左右。亚热带湿润季风气候,年均气温 16.1℃,降水量 1 210 mm,年均空气相对湿度 84%,日照时数 1 115 h。土壤为黄壤,pH 值为 6.7,容重为 1.16 g·cm⁻³,总孔隙度为 55.67%。

1.2 供试材料

测试材料为水紫树的 2 a 生实生移植苗,苗均高 60 cm,株行距 50 cm×50 cm,常规田间水肥管理。测定时选择一株具有代表性的健康植株,并在其向阳处的中上部挑选 3 片生长健康、无机械损害、颜色正常的成熟叶片作为试材。

1.3 光响应曲线测定

采用 Li-6400 便携式光合测定仪(美国 Li-Cor 公司生产),于 2012 年 8 月下旬选择光照强度、温度和湿度相对稳定的“桑拿天”进行光响应曲线测定。测定时,利用 LED 红蓝光源控制响应因子,设定叶室中光合有效辐射(PAR)梯度为 0、50 μmol·m²·

s⁻¹、100 μmol·m²·s⁻¹、150 μmol·m²·s⁻¹、200 μmol·m²·s⁻¹、400 μmol·m²·s⁻¹、600 μmol·m²·s⁻¹、800 μmol·m²·s⁻¹、1 000 μmol·m²·s⁻¹、1 200 μmol·m²·s⁻¹和 1 500 μmol·m²·s⁻¹,同时,通过系统控制温度为 35℃、叶室 CO₂ 含量为 (390±5) μmol·mol⁻¹。每次间隔 2.5 min,由仪器自动记录相应的净光合速率(P_n)、蒸腾速率(E)、气孔导度(G_s)、胞间 CO₂ 浓度(C_i)等生理指标。

1.4 数据处理

表观光能利用效率(LUE)^[5]和表观 CO₂ 利用效率(CUE)^[6]分别采用如下公式计算:

$$LUE = P_n / PAR; CUE = P_n / C_i$$

利用 Farquhar 的非直角双曲线模型^[7-8]来拟合光响应曲线,公式如下:

$$P_n = \{ [\varphi \cdot PAR + A_{max} - \sqrt{(\varphi \cdot PAR + A_{max})^2 - 4 \cdot \varphi \cdot K \cdot A_{max}}] / 2K \} - R_{day}$$

式中 P_n 为净光合速率; φ 为表观量子效率; PAR 为光合有效辐射; A_{max} 为最大净光合速率; K 为光响应曲线曲角; R_{day} 为光下呼吸速率。根据上式可求得光补偿点(LCP)和光饱和点(LSP)。

采用 Excel 2003 对数据进行图表处理,用 SPSS13.0 统计软件进行非直角双曲线方程拟合。

2 结果与分析

2.1 光合光响应曲线

植物光合作用受到光照、气温、CO₂ 浓度和空气相对湿度等环境因子的影响,但其中光照为主导因子,它的变化使得其它三者产生相应的变化^[9]。由净光合速率的光响应曲线(图 1)可知,PAR 为 0 时, P_n 为负值,这是因为此时水紫树仅有呼吸作用而无

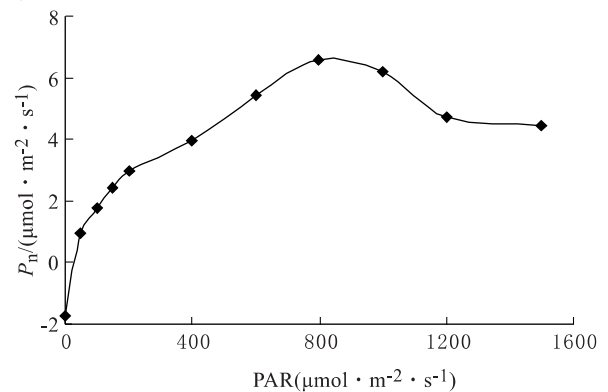
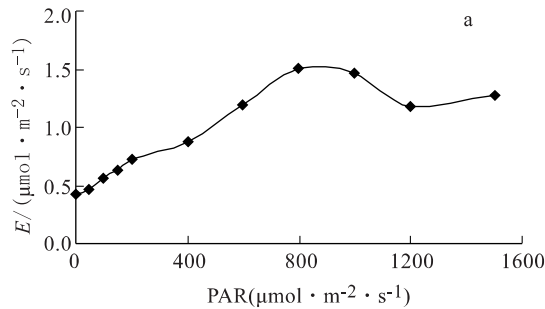


图 1 水紫树的光合光响应曲线

光合作用所致。之后 P_n 随 PAR 增大而先迅速再缓慢增加,然后略有下降,说明一开始光合有效辐射强度的增加对净光合速率呈正效应作用,当增加到一定程度时,净光合速率达到峰值(即光饱和点),之后,光合有效辐射强度将对净光合速率产生一定的



抑制作用。这是因为 PAR 增大能促进叶片的蒸腾速率(图 2-a),而蒸腾作用的增强进一步引起水紫树的生理反馈,导致气孔关闭以减少蒸腾失水,气孔导度降低(图 2-b),从而净光合速率下降。

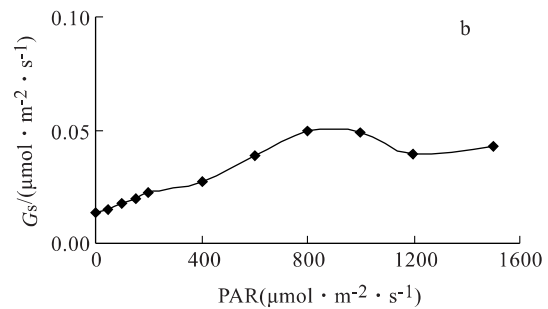
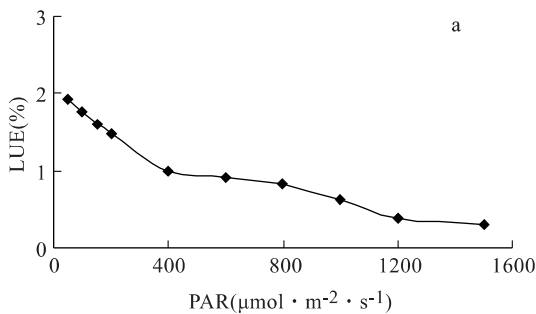


图 2 蒸腾速率和气孔导度对光合有效辐射的响应

2.2 蒸腾速率和气孔导度

由图 2 看出,蒸腾速率(E)和气孔导度(G_s)随 PAR 的变化规律与 P_n 基本一致,均呈先增加、之后略有下降的趋势,但它们增加的趋势更平缓,这说明 E 和 G_s 对 PAR 的响应更缓和。

蒸腾作用能促进植物根系从土壤中吸收水分,同时,也是对外界环境条件的适应性表现,而气孔导度是表示植物气孔传导 CO_2 和水分的能力。在 35°C 高温条件下, E 随 PAR 变化的最高点为 $1.50 \text{ mmol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, G_s 的最高点为 $0.05 \text{ mmol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$;



而在无光照的情况下, E 值为 $0.42 \text{ mmol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, G_s 值为 $0.01 \text{ mmol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 。

2.3 光能和 CO_2 利用率

水紫树叶片的光能利用率(LUE)随 PAR 增加而减小,且在低于 $400 \text{ μmol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 时变化更快(图 3),可见,水紫树叶片在 PAR 较小时,其 LUE 较大,反之,则较小。水紫树叶片的 CO_2 利用率(CUE)随 PAR 的变化则与 P_n 一致,也是先迅速再缓慢增加,然后略有下降,说明 P_n 的光响应变化主要是在 PAR 作用下 CUE 的变化引起的。

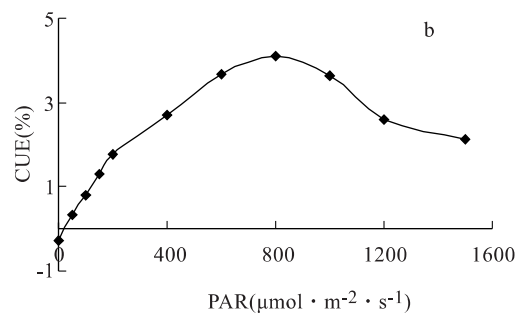


图 3 光能和 CO_2 利用率对光合有效辐射的响应

2.4 光响应参数

对水紫树叶片的光合光响应曲线进行非直角双曲线方程拟合,各特征参数见表 1。可知,非直角双曲线方程对水紫树的光合光响应拟合效果较好($R^2 = 0.939$)。在 35°C 高温条件下,水紫树的最大净光合速率为 $6.587 \text{ μmol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,说明水紫树对高温环境的适应性较好;LCP 和 LSP 分别为 16.69 、 $481.82 \text{ μmol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 均较小,这说明水紫树的 P_n 容易达到饱和点,对光强的要求不高且对弱光的利用率较高,耐阴性较强,这也为解释水紫树之所以耐

水淹提供了重要科学佐证。

表 1 水紫树的光响应(35°C)特征参数

最大净光合速率	光补偿点	光饱和点	暗呼吸速率	表观量子效率	R^2
	($\text{μmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)			($\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1}$)	
6.587	16.69	481.82	-1.726	0.077	0.939

3 结论与讨论

(1) 在 35°C 高温条件下,水紫树的净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、光能和 CO_2 利用率对光强的

响应明显,除光能利用率随光合有效辐射增加而减小外,其它指标均随光合有效辐射增加而呈先迅速再缓慢增加、然后略有下降的趋势。其最大净光合速率为 $6.587 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,过高的光强导致蒸腾速率增大、叶片水蒸气压亏缺增大,为防止过度失水,部分气孔关闭、气孔导度下降,净光合速率减小,可见,引进树种水紫树在三峡库区高温条件下仍能发挥正常的光合生理调节反馈机制,适应性较好。

(2) LCP 和 LSP 是研究植物光合生理特征的两个重要参数,反映植物对弱光和强光的利用能力,它们受到温度明显影响,但温度对其的作用方向仍没有统一,比如谭晓红等^[10]在研究普通刺槐和红花刺槐的光响应时发现,高温能降低 LSP,但对四倍体刺槐则相反;周洪华等人^[8]研究胡杨的光响应时,也发现高温能提高 LCP 和 LSP,不过研究普遍认为,高温能促使 A_{max} 降低。本研究发现,在 35°C 高温条件下,水紫树的 LCP 和 LSP 分别为 $16.69 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 、 $481.82 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,均低于刺槐、胡杨在高温条件下的 LCP 和 LSP,而 Hands 等^[11]研究发现多数植物的光饱和点在 $500 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1} \sim 1\,000 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,说明水紫树的耐阴性较强且对弱光的利用率较高。

综上所述,水紫树既能适应库区夏季高温条件,又具有较强的耐阴性,能较好的适应库区生态环境,可作为三峡库区生态恢复造林树种。

(上接第 68 页)

统的反映了邛海从人工围湖造田到实施“三退三还”(退田还湖、退塘还湖、退房还湖)等湿地恢复工程的变迁情况,揭示了邛海湿地生态环境质量的演变轨迹。研究结果表明,用现代 GIS 地理信息技术研究湖泊变化是可行的。

4.2 针对邛海周边官坝河、额掌河流域上游流域内水土流失严重的现状,建议及时启动官坝河、额掌河流域综合治理规划,科学对流域开展水利工程治理,修建拦砂坝、谷坊、防洪堤,同时建议:①加大对毁林开垦的打击力度,保护好现存飞播林区和其他造林成果;②规划对官坝河、额掌河流域上游陡坡耕地实施退耕还林工程、荒山造林。

4.3 现已开展的邛海湿地恢复工程进一步提高邛海湿地的生态环境质量,为科学保护高原湿地资源探索出宝贵的治理经验,同时为可持续开发利用发

参考文献:

- [1] 涂建军,陈治谏,陈国阶,等. 三峡库区消落带土地整理利用——以重庆市开县为例[J]. 山地学报, 2002, 20(6): 712 ~ 717.
- [2] 刘云峰,刘正学. 三峡水库消落区极限条件下狗牙根适生性试验[J]. 西南农业大学学报(自然科学版), 2005, 27(5): 661 ~ 663.
- [3] 王轶浩,耿养会,李彬,等. 三峡库区消落带香根草水土保持功能研究[J]. 四川林业科技, 2010, 31(2): 68 ~ 71.
- [4] 芮雯奕,田云录,张纪林,等. 干旱胁迫对 6 个树种叶片光合特性的影响[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2012, 36(1): 68 ~ 72.
- [5] Nijs I, Ferris R, Blum H. Stomata Regulation in a Changing Climate: A Field Study Using Free Air Temperature Increase (FATI) and Free Air CO_2 Enrichment [J]. Plant, Cell and Environment, 1997, 20: 1041 ~ 1050.
- [6] 何维明,马凤云. 水分梯度对沙地柏幼苗荧光特征和气体交换的影响[J]. 植物生态学报, 2000, 24(5): 630 ~ 634.
- [7] Farquhar G D, von Caemmerer S, Berry J A. A biochemical model of photosynthetic CO_2 assimilation in leaves of C3 species [J]. Planta, 1980, 149: 78 ~ 90.
- [8] 周洪华,陈亚宁,李卫红,等. 干旱区胡杨光合作用对高温和 CO_2 浓度的响应[J]. 生态学报, 2009, 29(6): 2797 ~ 2810.
- [9] 何斌,王兰珍,刘勇. 3 个种源异株蕁麻光合特性的比较[J]. 吉林农业大学学报, 2010, 32(4): 355 ~ 361, 370.
- [10] 谭晓红,彭祚登,贾忠奎,等. 不同刺槐品种光合响应曲线的温度效应研究[J]. 北京林业大学学报, 2010, 32(2): 64 ~ 68.
- [11] Hans M, Peter S. Plant Physiology [J]. Economic Botany, 1996, 50(3): 339.

展生态旅游产业打好基础,以达到生态效益、社会效益、经济效益的同步发展。

4.4 本文通过长期研究和分析,一是科学、真实反映了邛海近 50 年生态环境演变轨迹,二是对邛海管理部门建立了邛海湿地演变的数据库、信息库、GIS 数字图形库,可将研究成果纳入到日常保护管理中,三是为政府对邛海保护的决策起科学支撑作用。建议:邛海管理部门积极向科技部门申报利用卫星遥感技术监测邛海周边流域生态环境保护课题研究,通过 3a ~ 5 a 时间跟踪研究邛海湿地保护情况。

参考文献:

- [1] 鲁安新,王丽红,姚檀栋. 青藏高原湖泊现代变化遥感方法研究[J]. 遥感技术与应用, 2006, 21(3).
- [2] 吴秀芹,张洪岩,李瑞改,等. ArcGIS 9 地理信息系统应用与实践[M]. 北京:清华大学出版社, 2007.
- [3] 杨军. 3S 技术在林业中的应用[J]. 四川林勘设计, 2003(3).