

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **2011**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd²⁺ 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd ²⁺ 的生物吸附特性	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例	张勃,刘秀丽 (6251)
专论与综述	
孤立湿地研究进展	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



封面图说: 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

刘建锋, 杨文娟, 江泽平, 郭泉水, 金江群, 薛亮. 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响. 生态学报, 2011, 31 (20) :5999-6004.
Liu J F, Yang W J, Jiang Z P, Guo Q S, Jin J Q, Xue L. Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis*. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31 (20) :5999-6004.

遮荫对濒危植物崖柏光合作用和 叶绿素荧光参数的影响

刘建锋^{1,2}, 杨文娟¹, 江泽平¹, 郭泉水^{3,*}, 金江群³, 薛亮¹

(1. 中国林业科学研究院林业研究所, 北京 100091; 2. 国家林业局林木培育重点实验室, 北京 100091;

3. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘要:崖柏 (*Thuja sutchuenensis*) 是我国特有的极度濒危植物。目前尚缺乏从光合生理角度对其濒危机制开展讨论与研究。光是影响植物生存和生长发育最重要的环境因子之一, 且有可能成为植物种群自然更新的主要限制因子。因此, 通过人工遮荫方式, 探讨了 3 种光环境下 (L0 全光, L1-50% 全光, L2-25% 全光) 崖柏幼苗的光合能力及叶绿素荧光参数的差异。结果表明, 遮荫导致了叶片表观量子效率和最大净光合速率增加。随着生长光强的降低, 崖柏幼苗的暗呼吸速率、光补偿点和光饱和点均有所下降。叶绿素荧光参数方面, 遮荫导致了 PS II 原初光能转换效率 (F_v/F_m)、PS II 潜在活性 (F_v/F_o)、PS II 有效光量子产量 (F_v'/F_m') 和非光化学猝灭系数 (NPQ) 增加; 但随着生长光强减弱, 崖柏幼苗叶片的光化学猝灭系数 (PQ) 和电子传递速率 (ETR) 逐渐降低。同时, 遮荫也造成了叶片叶绿素含量 ($Chla+Chlb$) 的显著增加。结果表明, 崖柏对光具有较强的耐受范围 (尤其是低光) 和内在调节机制, 初步判定崖柏林下光照的不足不会成为崖柏自然更新的决定性限制因子。

关键词:崖柏; 遮荫; 光合作用; 叶绿素荧光; 光适应

Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis*

LIU Jianfeng^{1,2}, YANG Wenjuan¹, JIANG Zeping¹, GUO Quanshui^{3,*}, JIN Jiangqun³, XUE Liang¹

1 Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

2 Key Laboratory of Tree Breeding and Cultivation, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

3 Research Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China

Abstract: *Thuja sutchuenensis* Franch. is a critically endangered plant that is endemic to China. Currently, no research has addressed its endangered status from the perspective of its photosynthetic mechanism. Light is one of the most important environmental factors that can affect plant survival and growth and could become a major limiting factor for natural regeneration. Therefore, we focused on the adaptive ability of *T. sutchuenensis* seedlings under three light levels (L0 = full light; L1 = 50% full light; L2 = 25% full light) by comparing their photosynthetic capacity, chlorophyll fluorescence parameters, and chlorophyll content. We found that shading resulted in increases in the apparent quantum efficiency (α) and maximum leaf net photosynthetic rate (P_{max}). At lower light levels, the dark respiration rate (R_d), light compensation point (LCP), and light saturation point (LSP) declined. For the chlorophyll fluorescence parameters, PS II primary energy conversion efficiency (F_v/F_m), PS II potential activity (F_v/F_o), and photochemical efficiency of PS II in the light (F_v'/F_m') were significantly higher at lower light levels than at L0, with parameters at L2 higher than at L1. Non-photochemical quenching (NPQ) also had a higher value under shade than under full light, and peaked at L1. With a

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金 (RIF2010-15); 国家林业局野生植物保护管理项目 (1691000401)

收稿日期: 2011-06-21; 修订日期: 2011-07-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Guoqs@caf.ac.cn

decrease in light intensity, photochemical quenching (PQ) and the electron transport rate (ETR) decreased. Shading also caused a significant increase in leaf chlorophyll content ($Chla + Chlb$) per cm^2 . These results indicate that *T. sutchuenensis* can tolerate a wide range light conditions, especially low light, and has internal regulatory mechanisms for responding to light level. Therefore, low light under canopy cannot be the decisive limiting factor for natural regeneration of *T. sutchuenensis* populations.

Key Words: *Thuja sutchuenensis*; shade; photosynthetic; chlorophyll fluorescence; acclimation to light

光是影响植物生存、生长及更新的最重要的环境因子之一,不同生态习性的植物具有不同的光环境适应策略。如阳性先锋树种具有较强的光合碳同化能力、高光补偿点和高光饱和点等特征^[1];而阴性树种适应林下弱光照环境,具有较低的光补偿点和较高的表观量子效率,且对林下光斑利用能力较强^[2]。植物对光环境变化的适应能力决定了物种丰度及其分布模式^[3]。近年来,有关光环境影响濒危植物更新的研究得到重视,如热带雨林的耐阴树种思茅木姜子(*Litsea pierrei* var. *szemois*)与五桠果叶木姜子(*L. dileniifolia*)受到森林持续片断化影响,强光胁迫加剧,林下幼苗生长受阻,幼苗库大量减少,导致种群衰退^[4];而喜光植物刺五加(*Acanthopanax Senticosus*)幼苗由于上层林分郁闭度较高,净光合速率午间常表现为负值,幼苗群体长期处于光饥饿状态,更新严重受阻^[5];光资源不足是构成银缕梅(*Parrotia subaequalis*)种群更新的主要限制因子^[6]。这些研究结果为濒危植物的就地/异地保存与繁育等提供了科学依据。

崖柏(*Thuja sutchuenensis*)为我国特有的柏科(Cupressaceae)崖柏属常绿乔木或小乔木。1998年曾被世界保护联盟(IUCN)宣布灭绝,重新发现后,被IUCN重列为世界级的极度濒危(Critically Endangered, CR)物种^[7]。到目前为止,对该物种已有研究主要集中在群落特征^[8-13]与种群动态^[14-15]、居群遗传变异^[16-17]、系统进化^[18-19]、木材特性^[20]等方面,尚未见对这一特殊物种光合生理及其种群主要更新限制因子(如光照、水分和养分等)的研究报道。已有的群落学调查发现^[9,11],崖柏林下更新能力弱,幼苗幼树稀少且多见于林窗或较大的林隙下,说明光有可能成为其更新的限制因子。因此,本文通过不同的光强处理(遮荫),对崖柏幼苗的光合作用特征及叶绿素荧光参数进行比较研究,分析崖柏幼苗对不同光强的响应,从生理生态学角度探讨崖柏的濒危机制,同时为崖柏的繁育及种群复壮提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究材料

2011年3月将盆栽于中国林业科学研究院科研温室的3年生崖柏实生苗移至室外(中国林业科学研究院绿化苗圃内空旷地)。每盆1株,盆的内径均为26cm,高30cm,3/4埋入土壤。基质为草炭土(6)体积分数+蛭石(3)+珍珠岩(1)。常规管理。全光环境下适应30d后,利用遮荫网进行人工遮荫处理,分为3个光环境梯度,即全光(L0)、一层网遮荫(L1)和二层网遮荫(L2),其中L1和L2相当于全光环境下光照强度的50%和25%。每个光梯度3次重复,每重复5株。30d后开始光合及叶绿素荧光测定。

1.2 研究方法

1.2.1 光响应曲线

在不同处理的各个重复中,选择长势最好的崖柏幼苗各2株,每株分别选择2个中部同向新生叶片作为测定叶,应用便携式光合测定系统(Licor-6400, USA)进行光响应曲线测定。 CO_2 浓度设定为 $400 \mu mol/mol$,由系统 CO_2 注入系统自动控制;叶室温度控制在 $(25 \pm 0.5)^\circ C$;相对湿度控制在 $(40 \pm 5)\%$;光强梯度分别为2000、1800、1500、1200、900、600、400、200、150、100、80、50、20、0 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$ 。测定前对叶片进行15min光诱导($1000 \mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$)。每个不同光强值设定数据采集时间3min。

1.2.2 叶绿素荧光

叶绿素荧光参数采用Mini调制式叶绿素荧光仪(Fluorpen-FP100, Photon Systems Instrument, Brno, Czech

Republic) 进行测定^[21]。统计指标主要包括光系统 II 原初光能转换效率 (F_v/F_m)、光系统 II 实际光化学量子效率 ($F'v/F'm$)、非光化学猝灭 (NPQ) 和光化学猝灭系数 (PQ) 等。

1.2.3 叶绿素含量

用 1041 叶面积仪测量叶片面积,并称鲜质量(0.0001g)。依据 Lichtenthaler 方法测定叶绿素 (Chl) 含量,包括叶绿素 a (Chla)、叶绿素 b (Chlb) 和类胡萝卜素 (Car) 含量 (mg/g 鲜重);并根据叶片面积,换算成单位鲜叶面积含量。

1.3 数据处理

对光响应测定结果,按非直角双曲线方程^[25]对光响应参数进行估算:

$$P_n = \frac{1}{2\theta} (\alpha PAR + P_{\max} - \sqrt{(\alpha PAR + P_{\max})^2 - 4\alpha P_{\max} \theta PAR}) - R_d \quad (1)$$

式中, P_n 为净光合速率 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$); θ 为光响应曲线的曲角; α 为表观量子效率 ($\text{mmol CO}_2 / \text{mol photons}$); P_{\max} 为最大净光合速率 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$); PAR 为光合有效辐射 ($\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$); R_d 为暗呼吸速率 ($\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)。光补偿点 (LCP , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 和光饱和点 (LSP , $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 是利用低光条件下 ($PAR \leq 200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 的 P_n 与 PAR 构建线性方程所得 ($P_n = m \times PAR + n$, $LCP = -n/m$, $LSP = (P_{\max} - n)/m$)。

对上述测定或统计的各指标,利用 SPSS 软件进行显著性检验 (LSD 法)。利用 Sigmaplot v10.0 制图。

2 结果与分析

2.1 遮荫对光响应参数的影响

如图 1 所示,在设定条件下,不同遮荫处理的崖柏净光合速率对光合有效辐射的响应过程基本相似,即随着光强的增加,净光合速率增加;当光合有效辐射达到约 $400 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, P_n 增加强度减缓并趋向平稳。光响应曲线拟合结果表明 (表 1),遮荫导致崖柏的表观量子效率 (α) 和最大净光合速率 (P_{\max}) 增加,如 25% 光强下 (L2) α 与全光 (L0) 相比,增加了近 80% ($P < 0.05$); P_{\max} 增幅较小, L1 和 L2 比 L0 仅增加了 0.3% 和 3.3%。暗呼吸速率 (R_d)、光补偿点 (LCP) 和光饱和点 (LSP) 随荫蔽程度的增加,而呈现下降的趋势。

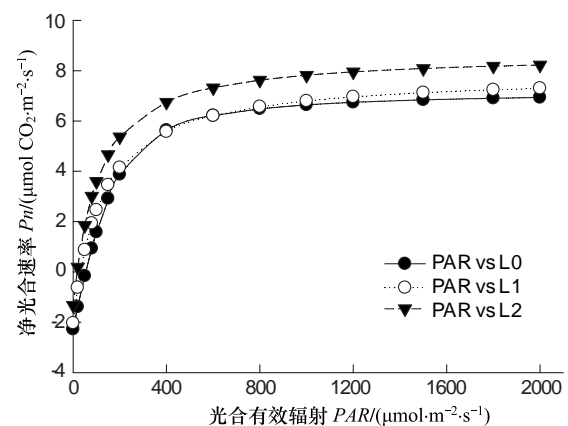


图 1 不同光处理下崖柏叶片的光响应曲线

Fig. 1 Light response curve of photosynthesis in *T. sutchuenensis* leaves under different light treatments

表 1 不同光处理对崖柏叶片光合生理参数的影响

Table 1 Effects of light treatments on photosynthetic parameters of *T. sutchuenensis*

指标 Parameters	全光 Full light (L0)	遮荫 Shading (50%, L1)	遮荫 Shading (25%, L2)
表观量子效率 (α) $\text{mmol CO}_2 / \text{mol photons}$	0.05 ± 0.01b	0.07 ± 0.03ab	0.09 ± 0.03a
最大光合速率 (P_{\max}) $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	9.57 ± 1.01a	9.60 ± 2.35a	9.89 ± 1.01a
暗呼吸速率 (R_d) $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	2.27 ± 0.45a	1.94 ± 0.43ab	1.36 ± 0.15b
光补偿点 (LCP) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	60.7 ± 12.6a	38.7 ± 13.8ab	12.6 ± 11.4b
光饱和点 (LSP) $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$	377.2 ± 56.1a	313.1 ± 47.8a	281.1 ± 50.3a
相关系数 (R^2)	0.95 ± 0.01	0.86 ± 0.03	0.91 ± 0.03

数据为平均值 ± 标准偏差,重复 10 次 (data = mean ± SD, $n = 10$);同一行数值带有不同字母表示差异显著, $P < 0.05$

2.2 遮荫对叶绿素荧光参数的影响

叶绿素荧光特征能够反映植株叶片的光合效率和潜在能力。从表 2 可见,遮荫导致了 PS II 原初光能转

换效率(F_v/F_m)小幅度增加,2种遮荫水平的 F_v/F_m 比L0分别增加了3.8%(L1)和6.4%(L2)。随着遮荫程度的增加,崖柏叶片的 F_v'/F_m' 也呈现增加的趋势,与全光(L0)相比,L1与L2的 F_v'/F_m' 分别增加了6.3%和28.1%($P<0.05$)。光化学猝灭系数(PQ)则随生长光强的减弱,表现为下降,与全光(L0)相比,L1和L2处理的PQ值分别下降了34.4%和46.9%。同时,遮荫导致了非光化学猝灭(NPQ)增加和电子传递速率(ETR)的降低。

表2 不同光处理对崖柏叶绿素荧光参数的影响

Table 2 Effects of light treatments on chlorophyll fluorescence parameters of *T. sutchuenensis*

参数 Parameters	全光 Full light(L0)	遮荫 Shading(50%,L1)	遮荫 Shading(25%,L2)
PS II 原初光能转换效率(F_v/F_m)	0.78±0.02b	0.81±0.02b	0.83±0.01a
PS II 潜在活性(F_v/F_o)	3.55±0.33c	4.34±0.51b	5.00±0.45a
PS II 有效光量子产量(F_v'/F_m')	0.32±0.03b	0.34±0.01b	0.41±0.04a
非光化学猝灭系数(NPQ)	1.97±0.24b	2.47±0.22a	2.13±0.27b
光化学猝灭系数(PQ)	0.41±0.04a	0.30±0.03b	0.22±0.05c
电子传递速率(ETR)	165.80±33.28a	127.97±11.31b	114.52±35.17b

数据为平均值±标准偏差,重复10次(data=mean±SD, n=10);同一行数值带有不同字母表示差异显著, $P<0.05$

2.3 遮荫对叶绿素含量的影响

如图2所示,随着遮荫水平的增加,生长光强降低,单位面积上叶绿素a和叶绿素b的含量均有增加的趋势。叶绿素(Chla+Chlb)含量在全光(L0)、50%(L1)和25%(L2)分别为 0.5365 ± 0.0998 、 0.6906 ± 0.1223 和 (0.8713 ± 0.0467) mg/cm²。低光下(L2)的叶绿素(Chla+Chlb)含量显著高于全光(L0)($P<0.05$)。类胡萝卜素(Car)在不同光环境下变化不明显,约在0.0928—0.0931 mg/cm²之间。

3 结论与讨论

植物光合作用的光响应曲线对于了解植物光化学过程中的光化学效率具有重要意义^[22]。表观量子效率反映了叶片在弱光情况下的光合能力,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,利用弱光能力越强^[23]。崖柏在弱光环境下的表观量子效率较全光环境下高,说明崖柏幼苗对弱光具有较强的适应性。通常在适宜生长的条件下,植物的实测光合量子效率在0.03—0.05^[24]。不同光处理下崖柏表观量子效率处于或超过上述范围,表明在本次试验条件下试验材料未受外界环境因子的胁迫或者胁迫较轻。植物光合作用的光补偿点代表了植物的需光特性和需光量^[25]。通常阴生植物的LCP在 $20\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 以下,阳生植物的LCP一般在 $50\text{—}100\ \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 之间^[26]。全光下崖柏表现为阳生植物,而遮荫条件下表现为阴生植物,说明崖柏具有某种内在调节机制,增加光合器官对不同光环境的适应。

PS II原初光能转换效率(F_v/F_m)反映了PS II反应中心的光能转换效率^[27]。在不受光抑制的情况下, F_v/F_m 一般介于0.75—0.85^[28],且不受生长条件的影响。本试验的数据显示,不同遮荫及全光下崖柏的 F_v/F_m 均处于正常范围,说明自然光下崖柏没有受到明显的光胁迫,与表观量子效率的推论具有一致性。PS II有效光量子产量(F_v'/F_m')反映了PS II反应中心部分关闭情况下的实际PS II光能捕获的效率^[29]。随着遮荫水平的增加,崖柏的 F_v'/F_m' 呈现出增加的趋势,说明遮荫导致PS II功能反应中心开放度增加。光化学猝灭系数(PQ)反映PS II天线色素吸收的光能用于光化学电子传递的份额^[30]。随着生长光强的减弱,崖柏的

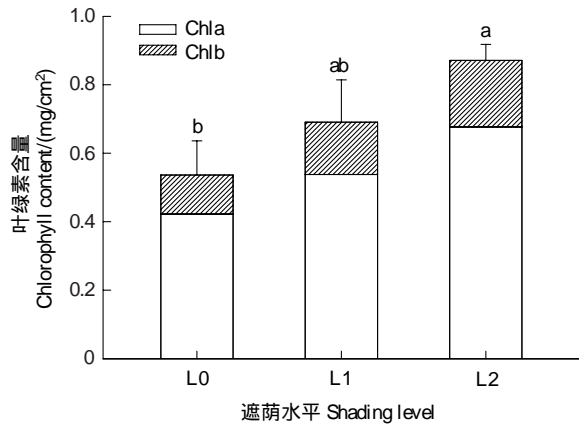


图2 不同光处理对崖柏叶绿素含量的影响

Fig. 2 Effects of shadings on chlorophyll content of *T. sutchuenensis*

PQ 值下降,表明遮荫降低了崖柏叶片 PS II 光合电子传递活性,这与电子传递速率(ETR)随生长光强减弱而降低相吻合。非光化学猝灭系数(NPQ)表达的是 PS II 天线色素吸收光能以热的形式耗散的那部分光能,是植物光合机构的自我保护机制^[31]。遮荫导致了崖柏 NPQ 的增加,表明遮荫下崖柏 PS II 捕获的光能虽然增加(F_v/F_m 和 F_v'/F_m' 升高),但用于光化学反应的比例降低,而转化为热耗散的比例升高,为碳同化积累的能量减少。可以认为这是崖柏对弱光适应而形成的一种保护机制。同样的,这可能也是表观量子效率(α)随荫蔽程度的增加而升高的原因,因为 α 不是按照光合机构实际吸收的光量子数而是按照入射的光量子得到的量子效率。

叶绿素和类胡萝卜素是植物光合作用过程中吸收光能的色素,其中叶绿素是主要的吸收光能物质,直接影响植物光合作用的光能利用^[32]。本研究结果表明,遮荫导致了崖柏幼苗叶片单位面积叶绿素含量的增加,这有利于提高崖柏幼苗对弱光的利用率,从而保证叶片在弱光环境中吸收更多的光能用于光合作用,这与其他众多研究结果相一致^[33-34]。

本研究的结果表明,不同光强对崖柏幼苗的光合作用、叶绿素荧光参数及叶绿素含量会产生不同的影响。崖柏幼苗对光环境的变化表现出较强适应能力。但如能在野外天然群体中,进行本文所设试验,对于探讨崖柏幼苗对光的响应和种群繁殖与复壮将更具实践意义。

References:

- [1] Scholes J D, Press M C, Zipperlen S W. Differences in light energy utilization and dissipation between dipterocarp rain forest tree seedlings. *Oecologia*, 1997, 109(1): 41-48.
- [2] Senevirathna A M W K, Stirling C M, Rodrigo V H L. Growth, photosynthetic performance and shade adaptation of rubber (*Hevea brasiliensis*) grown in natural shade. *Tree Physiology*, 2003, 23(10): 705-712.
- [3] Feng Y L, Cao K F, Feng Z L, Ma L. Acclimation of Lamina Mass per unit area, photosynthetic characteristics and dark respiration to growth light regimes in four tropical rainforest species. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6): 901-910.
- [4] Guo X R, Cao K F, Xu Z F. Response of photosynthesis and antioxidative enzymes in seedlings of three tropical forest tree species to different light environments. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(3): 377-381.
- [5] Zhang W H, Zu Y G, Liu G B. Population ecological characteristics and analysis on endangered cause of ten endangered plant species. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(9): 1512-1520.
- [6] Yan C, Wang Z S, An S Q, Chen S Y, Wei N, Lu X M. Differences in photosynthetic capacity among different diameter-classes of *Parrotia subaequalis* populations and their implications to regeneration limitation. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4153-4161.
- [7] Farjon A, Page C N, IUCN-SSC Conifer Specialist Group. *Conifers: Status Survey and Conservation Action Plan*. Gland, Switzerland, Cambridge: IUCN, 1999.
- [8] Xiang Q P, Farjon A A, Li Z Y, Fu L K, Liu Z Y. *Thuja sutchuenensis*: a rediscovered species of the Cupressaceae. *Botanical Journal of the Linnean Society*, 2002, 139(3): 305-310.
- [9] Liu J F. *Study on Population Ecology of Thuja sutchuenensis — A Rare and Endangered Endemic Plant of China*. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2003.
- [10] Wang X F, Guo Q S, Hao J X, Ma C, Wan X Q. Study on the cone characteristics and seed output of a critically endangered plant, *Thuja sutchuenensis*, in the world. *Forest Research*, 2007, 20(5): 673-677.
- [11] Wang X F, Guo Q S, Liu Z Y, Ren M B, Bahaer G L, Luo Z J. A composition analysis of seed plant flora in *Thuja sutchuenensis* community. *Forest Research*, 2007, 20(6): 755-762.
- [12] Guo Q S, Wang X F, Bahaer G L, Wan X Q. Interspecific relationships of dominant tree species in *Thuja sutchuenensis* community. *Chinese Journal of Ecology*, 2007, 26(12): 1911-1917.
- [13] Wang X F, Guo Q S, Bahaer G L, Liu Z Y, Ren M B. Niche of dominant arbor populations in *Thuja sutchuenensis* community. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44(4): 6-13.
- [14] Liu J F, Xiao W F, Guo Z H, Jiang Z P, Liu Z Y. A preliminary study on population structure and dynamics of a rare and endangered plant, *Thuja sutchuenensis* (Cupressaceae). *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2004, 26(3): 377-380.
- [15] Liu J F, Jiang Z P, Xiao W F, Wang J X. A preliminary study on the population pattern and dynamics of critically endangered plant, *Thuja sutchuenensis* (Cupressaceae). *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2005, 27(5): 708-712.
- [16] Zhang R B, Dou Q L, He P, Deng H P. Analysis of genetic diversity in *Thuja sutchuenensis* populations as revealed by morphological and molecular data. *Guihaia*, 2007, 27(5): 687-691.
- [17] Liu J F, Xiao W F. RAPD analysis of the genetic diversity of a critically endangered plant, *Thuja sutchuenensis* (Cupressaceae). *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2008, 30(1): 68-72.
- [18] Li J H, Xiang Q P. Phylogeny and Biogeography of *Thuja* L. (Cupressaceae), an Eastern Asian and North American disjunct Genus. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2005, 47(6): 651-659.
- [19] Peng D, Wang X Q. Reticulate evolution in *Thuja* inferred from multiple gene sequences: Implications for the study of biogeographical disjunction

- between eastern Asia and North America. *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 2008, 47(3): 1190-1202.
- [20] Tang X, Li Z Y, Hu Y X. Wood anatomy of *Thuja sutchuenensis* endemic to China. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2005, 23(2): 149-153.
- [21] Samoilova O P, Ptushenko V V, Kuykin I V, Kiselev S A, Ptushenko O S, Tikhonov A N. Effects of light environment on the induction of chlorophyll fluorescence in leaves: A comparative study of *Tradescantia* species of different ecotypes. *Biosystems*, 105(1): 41-48.
- [22] Sharp R E, Matthews M A, Boyer J S. Kok effect and the quantum yield of photosynthesis. *Plant Physiology*, 1984, 75: 95-101.
- [23] Richardson A D, Berlyn G P. Spectral reflectance and photosynthetic properties of *Betula papyrifera* (Betulaceae) leaves along an elevational gradient on Mt. Mansfield, Vermont, USA. *American Journal of Botany*, 2002, 89(1): 88-94.
- [24] Larcher W. *Physiological Plant Ecology*. Berlin: Springer, 1980.
- [25] Zhang W F, Fan D Y, Xie Z Q, Jiang X H. The seasonal photosynthetic responses of seedlings of the endangered plant *Cathaya argyrophylla* to different growth light environments. *Biodiversity Science*, 2005, 13(5): 387-397.
- [26] Xia J B, Zhang G C, Liu J T, Liu Q, Chen J. Responses of photosynthetic and physiological parameters in *Campsis radicans* to soil moisture and light intensities. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(5): 13-18.
- [27] Heraud P, Beardall J. Changes in chlorophyll fluorescence during exposure of *Dunaliella tertiolecta* to UV radiation indicate a dynamic interaction between damage and repair processes. *Photosynthesis Research*, 2000, 63(2): 123-134.
- [28] He Y H, Guo L S, Tian Y L. Photosynthetic rates and chlorophyll fluorescence of *Nitraria tangutorum* at different leaf water potentials. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2005, 25(11): 2226-2233.
- [29] Lv F D, Xu D C, Hou H B, Liu Y L, Zheng L K. Comparative study on chlorophyll fluorescence character of five kinds of *Camellia*. *Economic Forest Researches*, 2003, 21(4): 4-7.
- [30] Zhang S R. A discussion on chlorophyll fluorescence kinetics parameters and their significance. *Chinese Bulletin of Botany*, 1999, 16(4): 444-448.
- [31] He L H, He L J, Liang H. Comparisons of the chlorophyll fluorescence parameters in different *Ginkgo biloba* varieties. *Journal of South China Agricultural University*, 2006, 27(4): 43-46.
- [32] Maxwell K, Johnson G N. Chlorophyll fluorescence — a practical guide. *Journal of Experimental Botany*, 2000, 51(345): 659-668.
- [33] Liu P, Kang H J, Zhang Z X, Xu G D, Zhang Z Y, Chen Z L, Liao C C, Chen W X. Responses of growth and chlorophyll fluorescence of *Emmenopterys henryi* seedlings to different light intensities. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5656-5662.
- [34] Jiao L L, Lu B S, Zhou R J, Bai Z Y, Liang H Y, Zhen H W. Effects of shading on net photosynthetic rate and chlorophyll fluorescence parameters of leaf in David Maple (*Acer davidii* Franch.). *Acta Horticulturae Sinica*, 2007, 34(1): 173-178.

参考文献:

- [3] 冯玉龙, 曹坤芳, 冯志立, 马玲. 四种热带雨林树种幼苗比叶重, 光合特性和暗呼吸对生长光环境的适应. *生态学报*, 2002, 22(6): 901-910.
- [4] 郭晓荣, 曹坤芳, 许再富. 热带雨林不同生态习性树种幼苗光合作用和抗氧化酶对生长光环境的反应. *应用生态学报*, 2004, 15(3): 377-381.
- [5] 张文辉, 祖元刚, 刘国彬. 十种濒危植物的种群生态学特征及致危因素分析. *生态学报*, 2002, 22(9): 1512-1520.
- [6] 颜超, 王中生, 安树青, 陈姝凝, 魏娜, 陆霞梅. 濒危植物银缕梅 (*Parrotia subaequalis*) 不同径级个体的光合能力差异与更新限制. *生态学报*, 2008, 28(9): 4153-4161.
- [9] 刘建锋. 我国珍稀濒危植物——崖柏种群生态学研究. 北京: 中国林业科学研究院, 2003.
- [10] 王祥福, 郭泉水, 郝建玺, 马超, 万兴全. 世界级极危物种——崖柏球果特征与出种量的研究. *林业科学研究*, 2007, 20(5): 673-677.
- [11] 王祥福, 郭泉水, 刘正宇, 任明波, 巴哈尔古丽, 罗正均. 崖柏群落种子植物区系组成分析. *林业科学研究*, 2007, 20(6): 755-762.
- [12] 郭泉水, 王祥福, 巴哈尔古丽, 万兴全. 崖柏群落优势乔木树种间关系. *生态学杂志*, 2007, 26(12): 1911-1917.
- [13] 王祥福, 郭泉水, 巴哈尔古丽, 刘正宇, 任明波. 崖柏群落优势乔木种群生态位. *林业科学*, 2008, 44(4): 6-13.
- [14] 刘建锋, 肖文发, 郭志华, 江泽平, 刘正宇. 珍稀濒危植物——崖柏种群结构与动态初步研究. *江西农业大学学报(自然科学版)*, 2004, 26(3): 377-380.
- [15] 刘建锋, 江泽平, 肖文发, 王建修. 极度濒危植物——崖柏种群空间格局与动态的初步研究. *江西农业大学学报(自然科学版)*, 2005, 27(5): 708-712.
- [16] 张仁波, 窦全丽, 何平, 邓洪平. 濒危植物崖柏遗传多样性研究. *广西植物*, 2007, 27(5): 687-691.
- [17] 刘建锋, 肖文发. 濒危植物崖柏遗传多样性的 RAPD 分析. *江西农业大学学报(自然科学版)*, 2008, 30(1): 68-72.
- [20] 唐熙, 李振宇, 胡玉熹. 中国特有濒危植物崖柏的木材结构研究. *武汉植物学研究*, 2005, 23(2): 149-153.
- [25] 张旺锋, 樊大勇, 谢宗强, 蒋晓晖. 濒危植物银杉幼树对生长光强的季节性光合响应. *生物多样性*, 2005, 13(5): 387-397.
- [26] 夏江宝, 张光灿, 刘京涛, 刘庆, 陈建. 美国凌霄光合生理参数对水分与光照的响应. *北京林业大学学报*, 2008, 30(5): 13-18.
- [28] 何炎红, 郭连生, 田有亮. 白刺叶不同水分状况下光合速率及其叶绿素荧光特性的研究. *西北植物学报*, 2005, 25(11): 2226-2233.
- [29] 吕芳德, 徐德聪, 侯红波, 刘云龙, 郑良康. 5 种红山茶叶绿素荧光特性的比较研究. *经济林研究*, 2003, 21(4): 4-7.
- [30] 张守仁. 叶绿素荧光动力学参数的意义及讨论. *植物学通报*, 1999, 16(4): 444-448.
- [31] 贺立红, 贺立静, 梁红. 银杏不同品种叶绿素荧光参数的比较. *华南农业大学学报*, 2006, 27(4): 43-46.
- [33] 刘鹏, 康华靖, 张志洋, 徐根娣, 张争艳, 陈子林, 廖承川, 陈卫新. 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. *生态学报*, 2008, 28(11): 5656-5662.
- [34] 缴丽莉, 路丙社, 周如久, 白志英, 梁海永, 甄虹伟. 遮光对青榨槭光合速率及叶绿素荧光参数的影响. *园艺学报*, 2007, 34(1): 173-178.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 20 October, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)

Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)

Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)

Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)

Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)

Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)

Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security: a case study of Jiansanjiang land reclamation area LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)

Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)

Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)

Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)

Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)

Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts LAN Wenlu (5970)

Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)

Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)

Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute WANG Yating, FAN Lianlian (5992)

Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)

Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)

Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)

Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)

Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)

Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)

Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)

An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd ²⁺	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd ²⁺ using the fruiting bodies of two macrofungi	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i>	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae)	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City	CHANG Hsiaoifei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
Review and Monograph	
A prospect for study on isolated wetland	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

编辑部主任 孔红梅

执行编辑 刘天星 段 靖

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 31 卷 第 20 期 (2011 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 2011

编 辑 《生态学报》编辑部
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085
电话:(010)62941099
www.ecologica.cn
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

Edited by Editorial board of
ACTA ECOLOGICA SINICA
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
Tel:(010)62941099
www.ecologica.cn
Shengtaixuebao@rcees.ac.cn

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
主 办 中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
地址:北京海淀区双清路 18 号
邮政编码:100085

Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China
Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@espg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China

广告经营
许 可 证 京海工商广字第 8013 号



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元