

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第12期 Vol.32 No.12 **2012**

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 32 卷 第 12 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

- 河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例..... 孙永光,赵冬至,吴 涛,等 (3645)
- 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征..... 张全军,于秀波,钱建鑫,等 (3656)
- 青岛市湿地生态网络评价与构建..... 傅 强,宋 军,毛 锋,等 (3670)
- 大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例..... 叶 春,李春华,王秋光,等 (3681)
- 绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态..... 王书敏,何 强,张峻华,等 (3691)
- 坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响..... 何先进,吴鹏飞,崔丽巍,等 (3701)
- 枣园桃蛀果蛾寄生蜂种类及其与寄主的关系..... 姚艳霞,赵文霞,常聚普,等 (3714)
- 基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价..... 邹丽丽,陈晓翔,何 莹,等 (3722)
- 温度、盐度和 pH 对马氏珠母贝稚贝清滤率的联合效应 朱晓闻,王 辉,刘 进,等 (3729)
- 鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险..... 赵丽平,杨贵明,赵同科,等 (3737)
- 黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系 张俊华,李国栋,南忠仁 (3745)
- DEM 栅格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响 邱临静,郑粉莉,Yin Runsheng (3754)
- 粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响..... 郭冠华,陈颖彪,魏建兵,等 (3764)
- 基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例 陈 杰,梁国付,丁圣彦 (3773)
- 城市能源利用碳足迹分析——以厦门市为例..... 林剑艺,孟凡鑫,崔胜辉,等 (3782)
- 高寒牧区村域生态足迹——以甘南州合作市为例..... 王录仓,高 静 (3795)
- 太湖湖滨带生态系统健康评价..... 李春华,叶 春,赵晓峰,等 (3806)
- 秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量..... 党坤良,陈俊娴,孙飞翔,等 (3816)
- 盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响..... 尤 佳,王文瑞,卢 金,等 (3825)
- 海南霸王岭山地原始林与伐后林中木质藤本对支持木的选择..... 刘晋仙,陶建平,何 泽,等 (3834)
- 闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应..... 王振兴,朱锦懋,王 健,等 (3841)
- 基于形态及分子标记的濒危植物夏蜡梅自然居群的遗传变异研究 金则新,顾婧婧,李钧敏 (3849)
- 不同径级油松径向生长对气候的响应..... 姜庆彪,赵秀海,高露双,等 (3859)
- 珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布..... 袁春明,孟广涛,方向京,等 (3866)
- 巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较..... 胡红玲,张 健,万雪琴,等 (3873)
- 银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响..... 黄激激,胡庭兴,张念念,等 (3883)
- 基于氡示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究..... 孙守家,孟 平,张劲松,等 (3892)
- 石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性..... 张显强,曾建军,湛金吾,等 (3902)
- 含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响..... 陈 琳,谷 洁,高 华,等 (3912)
- 钝叶枧不同性别花的花部形态与传粉特征比较..... 王 茜,邓洪平,丁 博,等 (3921)
- 我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性..... 何奇瑾,周广胜 (3931)
- 烯效唑干拌种对小麦氮素积累和运转及籽粒蛋白质品质的影响..... 樊高琼,杨恩年,郑 亭,等 (3940)

专论与综述

- 中国产业共生发展模式的国际比较及对策 石 磊,刘果果,郭思平 (3950)

研究简报

- 吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化 张国坤,卢京花,宋开山,等 (3958)
- 杨树人工林生态系统通量贡献区分析..... 金 莹,张志强,方显瑞,等 (3966)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-06



封面图说: 鸳鸯——在分类上属雁形目,鸭科。英文名为 Mandarin Duck(即“中国官鸭”)。鸳指雄鸟,鸯指雌鸟,故鸳鸯属合成词。常常栖息于山地河谷、溪流、湖泊、水田等处,雌雄偶居,以植物性食物为主,也食昆虫等小动物。繁殖期 4—9 月间,雌雄配对后迁至营巢区。巢往往置于树洞中,用干草和绒羽铺垫,每窝产卵 7—12 枚。江西省婺源鸳鸯湖是亚洲最大的野生鸳鸯越冬栖息地。鸳鸯是一种美丽的禽鸟,中国传统文化又赋予它很多美好的寓意,因此,在许多文学艺术作品中经常用以表达爱情。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201112021842

王振兴, 朱锦懋, 王健, 汪滢, 卢钰茜, 郑群瑞. 闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应. 生态学报, 2012, 32(12): 3841-3848.

Wang Z X, Zhu J M, Wang J, Wang Y, Lu Y X, Zheng Q R. The response of photosynthetic characters and biomass allocation of *P. bournei* young trees to different light regimes. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3841-3848.

闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应

王振兴^{1,2}, 朱锦懋^{1,2,*}, 王 健^{2,3}, 汪 滢^{1,2}, 卢钰茜^{1,2}, 郑群瑞⁴

(1. 福建师范大学生命科学学院, 福州 350108; 2. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福州 350007;

3. 福建师范大学地理研究所, 福州 350007; 4. 福建省万木林自然保护区管理站, 建瓯 353105)

摘要: 设置 100% 光环境 (L_{100})、40% 光环境 (L_{40})、8% 光环境 (L_8) 3 种光照梯度, 分析万木林闽楠 (*Phoebe bournei*) 幼树的光合特性及生物量分配特征对不同光环境的响应。结果表明: (1) 闽楠幼树在不同光环境下的最大净光合速率 (P_{nmax}), 表观量子效率 (AQY), 光饱和点 (LSP), 光补偿点 (LCP), 暗呼吸速率 (R_d) 均有显著差异 ($P < 0.05$), 且随着光照强度的降低, P_{nmax} , LSP, LCP, R_d 随之降低, 而 AQY 却呈现升高的趋势。(2) 总生物量、茎生物量、叶生物量、根生物量均表现为 L_{100} 最大, 根冠比、叶生物量比、茎生物量比及根生物量比在 3 种光环境下无显著差异。(3) 闽楠幼树通过改变光合特性, 生物量积累来适应光环境的变化, 其中光照强度的降低限制了生物量的积累, 但并未显著改变生物量地上地下分配比例。闽楠幼树在 3 种光环境下生物量分配比例并无显著的改变, 生物量分配可塑性极低可能是闽楠零散分布的一个重要非人为干扰因素。(4) 闽楠幼树所采取的生存策略以地上部分生长为主, 光照强度降低时则采取保守策略进行缓慢的资源获取和消耗, 全光照条件下采取快速的资源获取和消耗策略。未来造林时可以将闽楠与毛竹 (*Phyllostachys pubescens*) 混交来减少郁闭度, 促进闽楠幼树的生长。

关键词: 不同光环境; 光合特性; 生物量分配; 闽楠

The response of photosynthetic characters and biomass allocation of *P. bournei* young trees to different light regimes

WANG Zhenxing^{1,2}, ZHU Jinmao^{1,2,*}, WANG Jian^{2,3}, WANG Ying^{1,2}, LU Yuxi^{1,2}, ZHENG Qunrui⁴

1 College of Life Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350108, China

2 Cultivation Base of State Key Laboratory of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China

3 Institute of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China

4 Administrative Station of Wanmulin Nature Reserve, Jian'ou 353105, Fujian, China

Abstract: *Phoebe bournei*, a Chinese endemic species, is one of the valuable building timbers in subtropical evergreen broad-leaved forest. The population of *P. bournei* declined sharply by 30% in the past three centuries and was listed as a national Class II protected plant. Most of *P. bournei* sparsely distributed in mid-subtropical evergreen broad-leaved forest. The purpose of the present study is to explore the adaptive strategy of light environmental heterogeneity and the natural factors contributed to scattered distribution of *P. bournei* and the strategy of protection and restoration. Thus, the photosynthetic characteristics, biomass allocation in response to different light regimes (100% of full sunlight, L_{100} ; 40% of full sunlight, L_{40} ; 8% of full sunlight, L_8) were investigated in *P. bournei* young trees. Our results showed that: 1) There were statistically significant difference in maximum net photosynthesis rate (P_{nmax}), apparent quenching efficiency (AQY), light saturation point (LSP), light compensation point (LCP) and dark respiration rate (R_d). P_{nmax} , LSP, LCP, R_d declined as the light intensity increased while AQY increased with the increase of light intensity, revealing that

基金项目: 福建省自然科学基金(2010J01140); 福建省省属公益类科研院所基本科研专项(2011R1037-6)

收稿日期: 2011-12-02; 修订日期: 2012-04-06

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jmzhu@fjnu.edu.cn

P. bournei could adapt to dark light condition by lowering LCP and carbon consumption. Furthermore, the largest P_{nmax} of young trees under L_{100} indicated the full sunlight was in favour of the accumulation of photosynthetic products by the conversion of solar energy to chemical energy to the largest extent. 2) Total biomass, leaf biomass, stem biomass and root biomass were largest under L_{100} . Increase in root biomass, fine root biomass in particular, facilitated to maintain normal water absorption and transpiration and keep high photosynthetic rate while increase in leaf biomass and stem biomass was in favour of light capture and construction of supporting and transportation structure separately. In contrast, root to shoot ratio, leaf biomass ratio, root biomass ratio and stem biomass ratio were of no significant difference under three different light regimes. 3) Photosynthetic characteristics and biomass accumulation were regulated to adapt to different light regimes, among which biomass accumulation was confined by the decrease of light intensity. However, the allocation ratio of above-ground biomass and under-ground biomass were not significantly influenced, in which the above-ground biomass occupied more than 65% of the total biomass under three different light conditions. Change in biomass allocation ratio of the *P. bournei* young trees wasn't significant under L_{100} , L_{40} and L_8 , indicating that extremely low plasticity of biomass allocation resulted in high natural selection pressure, which might be a very important natural disturbing factor in sporadic distribution of *P. bournei* young trees. 4) The growth of the above-ground part of *P. bournei* young trees was predominant by dry matter accumulated in leaves and stems. With the decrease in sunlight intensity, a conservative strategy was adopted by slow gain of resource and consumption. In contrast, the measure was taken to capture and consume resource more quickly in *P. bournei* young tree under full sunlight. Therefore, it was suggested that mixture of *P. bournei* and *Phyllostachys pubescens* will help to reduce the canopy density and then promote the renewal of *P. bournei* young trees in forestation.

Key Words: different light regimes; photosynthetic characters; biomass allocation; *Phoebe bournei*

光不仅是影响植物生长发育的重要环境因子,也是影响植物生长和分布的重要环境因素^[1]。植物对不同光环境响应策略的差异是林木更新和植物群落演替的重要内在驱动力^[2]。亚热带森林中,温度水分充足,光在时间和空间上的不均一性便成为影响亚热带森林幼苗或幼树更新、存活和生长的主要因素。

植物的光合特性和局部特化的生物量分配格局对光环境异质性的响应是植物种群克服光环境异质性的的重要途径^[3-6],这对于植物在异质和变化的光环境中存活和提高竞争力至关重要。绝大多数研究结果表明降低光照强度,植物通常光合作用减弱,叶生物量的分配提高,根生物量的分配降低,这有利于植物在低光下捕获更多的光能,合成更多的光合产物^[7-9]。Toledo-Aceves 与 Swaine 的研究表明,随着光照强度的增加,热带雨林先锋树种根生物量的分配比例增加,叶生物量的分配比例减少^[10]。而 Curt 等对不同光强下欧洲山毛榉(*Fagus sylvatica*)研究发现,光强的降低并没有改变生物量的分配比例^[11]。同时,有的研究表明随光照强度增加,森林植物光合作用无显著差异^[10]。这表明植物光合特性和生物量分配对不同光环境的响应策略还尚无一致认识。

闽楠(*Phoebe bournei*)为亚热带常绿阔叶树种,是中国特有的名贵建筑用材,国家二级保护植物,星散分布于中亚热带常绿阔叶林地带,耐阴,忌强光。本研究选取福建万木林保护区苗圃所移栽的3年生闽楠幼苗,设置3种不同光照处理,通过对闽楠幼树光合特性及生物量分配的研究,探讨闽楠幼树对不同光环境的适应策略,以期揭示闽楠幼树光合特性,生物量分配对不同光环境的响应,以及闽楠幼树零散分布的非人为干扰原因,为闽楠的保护及恢复提供理论基础,并且在个体层面上揭示亚热带常绿阔叶林林木更新、森林群落动态的生理生态学基础,为生物量分配理论增加科学基础数据。

1 材料与方法

1.1 研究区域与样地概况

万木林自然保护区地处武夷山脉南侧低山丘陵地带, N27°02'28"—03°32", E118°08'22"—09°23", 海拔230—556 m, 面积189 hm²。该地区温暖湿润, 属亚热带季风气候, 年平均气温为18.7℃, 1月平均气温为

8℃,7月平均气温为28.5℃,极端最低气温为-7.3℃,极端最高气温为41.4℃,年无霜期为270—290 d,年平均降雨量1670 mm,年降水天数178—210 d,年平均相对湿度81%,土壤为红壤。在长期禁封保护下,通过次生演替重新恢复为多层次典型的中亚热带常绿阔叶林,植被类型大部分为常绿阔叶林、少部分常绿落叶阔叶混交林、常绿针叶阔叶混交林、常绿针叶林、竹林、经济林和暖性灌草丛等类型。

1.2 实验材料和实验设计

于2008年8月在万木林育林地选取3年生闽楠幼苗18棵种植于样地,每6株为1组,设置3种不同光环境:(1)自然光强(100% of natural light, L_{100});(2)用一层黑色尼龙网眼布搭建遮阴棚,在晴天中午测定光强为自然光强的40%(40% of natural light, L_{40});(3)用两层黑色尼龙网眼布搭建遮阴棚,在晴天中午测定光强为自然光强的8%(8% of natural light, L_8)。土壤理化性质为:有机碳18.16 g/kg、全N 1.18 g/kg、全P 0.73 g/kg、容重1.24 g/cm³。实验期间定期管理,以免人为或者动物干扰,并保持光照环境稳定。

实验处理2a后,利用便携式光合测定系统Li-6400(Li-Cor, Inc, 美国)分别于2010年10月和2011年1月、4月、7月,选择典型晴天的9:00—11:00进行不同光环境闽楠光强-光响应曲线的测定。每个光环境下选取3棵长势均匀的植株,每植株选取中上部健康叶片3—5片进行测定。2011年1月100%光环境下闽楠幼树叶片发生冻害,无法进行测量,其他光环境下闽楠幼树叶片由于遮阴棚的保护没有发生冻害。采用Li-6400红蓝光源,使用开路系统测定叶片的光强-光响应曲线,空气流速为500 μmol/s, CO₂浓度稳定在380 μmol/mol。测定时光强由强到弱,依次设定光量子通量密度为2000、1500、1000、800、500、300、150、100、50、20、0 μmol·m⁻²·s⁻¹。采用新型的指数方程拟合曲线,计算出最大净光合速率(Maximum net photosynthesis rate, P_{nmax})、表观量子效率(Apparent quantum yield, AQY)、光饱和点(Light saturation point, LSP)、光补偿点(Light compensation point, LCP)及暗呼吸(Dark respiration rate, R_d)等光合参数。

实验结束后,将幼树整棵挖出清洗干净,分成叶、茎、粗根、细根4部分。以往对不同光照下根生物量的研究多采用序级分类法将根分为主根和侧根。细根是植物吸收水分和养分维持其生长的主要器官,在森林生态系统养分循环中起重要作用,所以本研究采用径级分类法将根分为粗根(直径>2 mm)和细根(直径<2 mm)。各部分于105℃杀青半小时后在80℃下烘干至恒重。称量各部分干重,并计算下列参数:总生物量,叶生物量,根生物量,粗根生物量,细根生物量,根冠比(Root to shoot ratio, R/S , 根重/地上生物量),叶生物量比(Leaf biomass ratio, LMR, 叶重/总生物量),茎生物量比(Stem biomass ratio, SMR, 茎重/总生物量),根生物量比(Root biomass ratio, RMR, 根重/总生物量),粗根生物量比(Thick root biomass ratio, TRMR, 粗根重/总生物量),细根生物量比(Fine root biomass ratio, FRMR, 细根重/总生物量)。

1.3 数据处理

光响应曲线模型采用新型的指数方程拟合曲线^[12],表达式如下:

$$P(I) = \alpha \frac{1 - \beta I}{1 + \gamma I} (I - I_c)$$

式中, α 、 β 、 γ 为3个与光强无关的系数; I 为光合有效辐射, I_c 为植物的光补偿点。用SPSS17.0进行单因素方差分析(Duncan 检验),并比较各个参数在不同光照环境下的差异。用Origin 8.0软件绘图。

2 结果与分析

2.1 闽楠幼树在不同光环境下的光合特性

闽楠幼树在不同季节光响应曲线表现的总体趋势很相似,当光照强度在0—200 μmol·m⁻²·s⁻¹范围内时,3种光环境植物 P_n 几乎呈线性增长,随光照强度加强, P_n 的增长速度减缓,当光照强度达到光饱和点时 P_n 的增长极缓慢,甚至有下降的趋势(图1)。3种光处理下闽楠幼树光合曲线表现出明显的季节变化。

不同光环境对闽楠幼树光合特征参数具有显著影响(表1),随着光照强度的降低, P_{nmax} , LSP, LCP, R_d 随之降低,而AQY却表现出相反的趋势,随着光照强度的升高而下降。除了春季、夏季100%光环境和40%光环境下的LCP无显著差异外,其余3种光环境下的光合特征参数均有显著性差异($P<0.05$)。

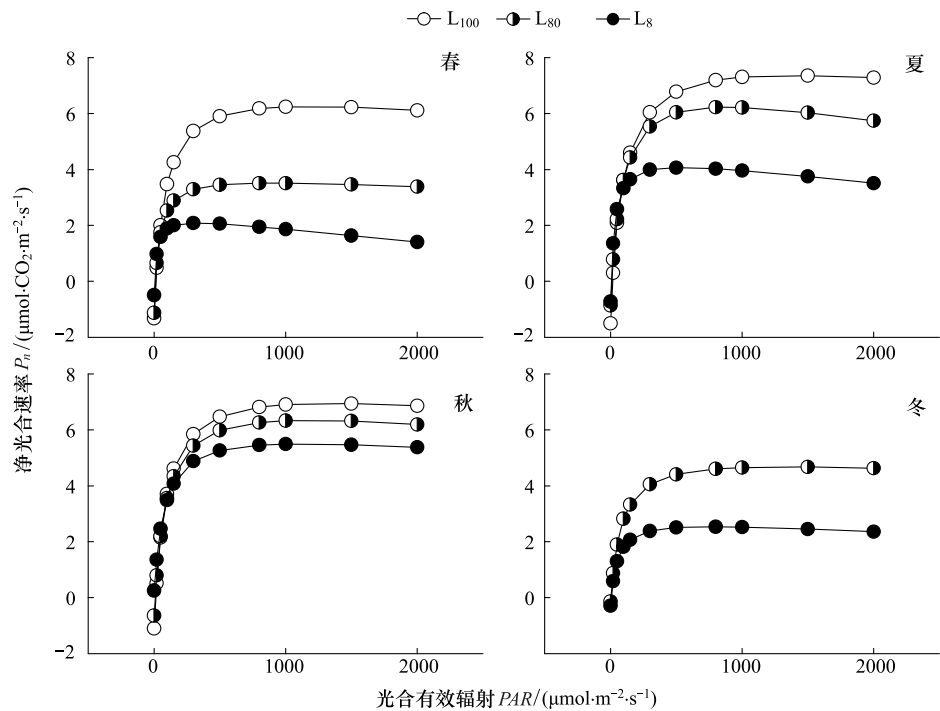


图1 不同光环境下闽楠幼树的光响应曲线

Fig.1 Photosynthesis light response curves of *P. bournei* young trees under different light regimes

表1 闽楠幼树在不同光环境下的光合特征参数

Table1 Comparison of photosynthetic parameters of <i>P. bournei</i> young trees under different light regimes						
季节 Season	光环境 Light regimes	最大净光合速率 P_{nmax} $/(\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	表观量子效率 AQY $/(\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1})$	光饱和点 LSP $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	光补偿点 LCP $/(\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$	暗呼吸速率 R_d $/(\mu\text{mol}\cdot\text{CO}_2\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1})$
春 Spring	100% 光环境 L_{100}	$6.26\pm0.42\text{Aa}$	$0.013\pm0.001\text{Aa}$	$1280.66\pm26.04\text{Aa}$	$12.05\pm2.21\text{Aa}$	$1.07\pm0.04\text{Aa}$
	40% 光环境 L_{40}	$3.52\pm0.21\text{Ab}$	$0.022\pm0.001\text{Ab}$	$1052.54\pm14.32\text{Ab}$	$13.11\pm2.33\text{Aa}$	$0.95\pm0.05\text{Ab}$
	8% 光环境 L_8	$2.17\pm0.11\text{Ac}$	$0.034\pm0.002\text{Ac}$	$445.25\pm17.89\text{Ac}$	$2.63\pm1.86\text{ABc}$	$0.28\pm0.03\text{Ac}$
夏 Summer	100% 光环境 L_{100}	$7.40\pm0.20\text{Ba}$	$0.033\pm0.001\text{Ba}$	$1342.30\pm9.28\text{Aa}$	$19.54\pm1.82\text{Ba}$	$1.28\pm0.02\text{Aa}$
	40% 光环境 L_{40}	$6.18\pm0.07\text{Bb}$	$0.037\pm0.001\text{Bb}$	$874.30\pm5.45\text{Bb}$	$9.75\pm1.90\text{ABa}$	$0.85\pm0.02\text{Ab}$
	8% 光环境 L_8	$4.02\pm0.11\text{Bc}$	$0.040\pm0.001\text{Bc}$	$530.78\pm10.09\text{Ac}$	$4.87\pm0.12\text{Bc}$	$0.71\pm0.01\text{Bc}$
秋 Autumn	100% 光环境 L_{100}	$6.94\pm0.15\text{Ba}$	$0.024\pm0.001\text{Ca}$	$1343.62\pm10.54\text{Aa}$	$12.07\pm1.21\text{Aa}$	$1.10\pm0.02\text{Aa}$
	40% 光环境 L_{40}	$6.34\pm0.18\text{Bb}$	$0.032\pm0.002\text{Cb}$	$1178.54\pm28.15\text{Ab}$	$7.95\pm1.92\text{BCb}$	$0.64\pm0.05\text{Bb}$
	8% 光环境 L_8	$4.08\pm0.09\text{Cc}$	$0.035\pm0.001\text{Ac}$	$759.69\pm9.56\text{Cc}$	$4.24\pm1.53\text{ABc}$	$0.26\pm0.03\text{Ac}$
冬 Winter	100% 光环境 L_{100}	—	—	—	—	—
	40% 光环境 L_{40}	$4.67\pm0.21\text{Ca}$	$0.035\pm0.001\text{Ba}$	$1335.91\pm14.32\text{Ca}$	$4.92\pm2.33\text{Ca}$	$0.28\pm0.05\text{Ca}$
	8% 光环境 L_8	$2.53\pm0.11\text{Db}$	$0.039\pm0.002\text{Bb}$	$767.35\pm17.89\text{Db}$	$2.04\pm1.86\text{Ab}$	$0.13\pm0.03\text{Cb}$

用单因素方差分析 (Duncan 检验) 检验不同光环境的差异,不同小写字母表示同一季节处理间差异性显著 ($P<0.05$),不同大写字母表示不同季节相同处理间差异性显著 ($P<0.05$),表中数据为平均值 $\pm$ 标准差

闽楠幼树在 100% 光环境的 P_{nmax} 表现为夏季最大,但其与秋季无显著性差异,与春季差异性显著 ($P<0.05$)。闽楠幼树在 40% 光环境的 P_{nmax} 表现为秋季的值最高,但与夏季差异性不显著,与春、冬两季差异性显著 ($P<0.05$)。闽楠幼树在 8% 光环境的 P_{nmax} 表现为秋季的值最大,且与其它季节均有显著性差异 ($P<0.05$)。闽楠幼树在 3 种光环境下的 AQY 表现为夏季的值最高,但是与冬季差异不显著,与春季和秋季差异显著 ($P<0.05$)。闽楠幼树在 100% 和 40% 光环境下的 LSP 均没有显著性季节差异,但其在 8% 光环境下的 LSP 则表现为冬季最大且与其它季节有显著性差异 ($P<0.05$)。闽楠幼树在 100% 光环境下的 LCP 表现为夏

季的值最大,且与其它季节有显著性差异($P<0.05$)。40%光环境下 LCP 则表现为春季最大,但其与夏季的季节差异性不显著,与秋季和冬季差异显著($P<0.05$)。8%光环境下 LCP 表现为夏季最大,但其与春秋两季差异不显著,与冬季差异显著($P<0.05$)。100%光环境下的 R_d 无显著的季节变化。40%光环境下则表现为春季的 R_d 最大,且与秋季和冬季有显著性差异($P<0.05$)。8%光环境下 R_d 表现为夏季最高,且与春、冬两季节差异显著($P<0.05$)。

2.2 闽楠幼树在不同光环境下的生物量特征

表 2 显示光照环境的变化显著影响闽楠幼树生物量的积累($P<0.05$),闽楠幼树的总生物量,随着光照强度的降低而减少。就地上部分而言,茎生物量,叶生物量也呈现随着光照强度的降低而减少趋势,但是在 100%,40%光环境下差异不显著。就地下部分而言,根生物量随着光照强度的增加而增加,与叶生物量一样在 100%,40%光环境下差异不显著。

研究结果表明,粗根生物量所呈现的趋势和根生物量相同。对于细根来说生物量也表现为随着光照强度的降低而减少,但是在 3 种光环境下差异均显著($P<0.05$)。

R/S , LMR , SMR , RMR , $TRMR$, $FRMR$ 在 3 种光环境下均无显著差异。3 种光环境下地上生物量均占总生物量的 65% 以上。

表 2 不同光环境下闽楠幼树生物量积累及其分配比较

Table 2 Comparison of biomass accumulation and allocation of *P. bournei* young trees under different light regimes

参数 Parameter	100% 光环境 L_{100}	40% 光环境 L_{40}	8% 光环境 L_8
总生物量 Total biomass/g	245.02±6.70a	102.89±9.6b	56.79±10.21c
叶生物量 Leaf biomass/g	40.72±13.42a	18.73±7.46b	6.32±3.79b
茎生物量 Stem biomass/g	140.80±5.76a	61.42±8.76b	31.77±4.29c
根生物量 Root biomass/g	63.50±0.97a	22.75±5.96b	18.70±2.63b
粗根生物量 Thick root biomass/g	60.50±1.69a	21.08±6.19b	17.88±2.28b
细根生物量 Fine root biomass/g	3.00±0.72a	1.67±0.23b	0.82±0.33c
根冠比 Root to shoot ratio	0.35±0.02a	0.30±0.13a	0.50±0.07a
叶生物量比 Leaf biomass ratio	0.17±0.05a	0.18±0.06a	0.11±0.05a
茎生物量比 Stem biomass ratio	0.58±0.04a	0.60±0.04a	0.56±0.03a
根生物量比 Root biomass ratio	0.33±0.03a	0.23±0.08a	0.33±0.01a
粗根生物量比 Thick root biomass ratio	0.25±0.01a	0.21±0.08a	0.31±0.04a
细根生物量比 Fine root biomass ratio	0.01±0.005a	0.02±0.001a	0.01±0.005a

不同字母表示相同季节不同光照处理差异性显著 ($P<0.05$),表中数据为平均值±标准差

3 讨论

3.1 闽楠幼树在不同光环境下的光合特征

光是影响植物生长发育和生存最重要的环境因子之一。植物叶片对不同光环境的光合响应不同^[13]。光合作用的适应性是植物在低光条件下光捕获最大化和在高光条件下光合最优化的能力表现,其中 LSP 和 LCP 是衡量植物需光特性的生理指标,它们分别代表了植物光合作用对光辐射强度所要求的上限和下限,从而反映出植物对强光和弱光的利用能力^[14]。闽楠幼树 LSP 在全光照下最大,随着光环境的减弱, LSP 也随之减小。遮阴条件较全光照条件更早达到 LSP,说明遮阴条件下闽楠幼树光合能力随着光照的增强更易达到最大效率。LCP 的高低对于自然条件下植物的更新和植物在群落中的地位具有决定性作用。随着光照强度的降低闽楠幼树 LCP 随之降低,说明遮阴的闽楠幼树可通过降低光补偿点来适应光辐射强度低的环境,从而能更好地利用弱光。

表观量子效率(AQY)能正确地反映光合机构光合功能的变化^[15]。AQY 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,利用弱光能力更强一些。它也可以反映叶片对弱光的利用能力。3 种光强下闽

楠幼树的 AQY 有显著性差异 ($P < 0.05$), 随着光照强度的降低 AQY 呈现随之升高的趋势, 这说明闽楠幼树对遮阴有了一定的适应能力。

R_d 是植物生命活动的基本生理过程, 是植物正常生长发育的物质和能量源泉, 但其却在一定程度上限制了植物的同化量。绝大多数研究表明, R_d 随着光照强度的降低而降低^[9, 16]。一般而言, 弱光下植物 R_d 降低可能是植物自身的一种保护机制, 这有利于弱光条件下光合速率降低时干物质积累保持相对稳定, 对于处在弱光环境中的植物的生存具有重要意义^[16]。有的研究则表明 R_d 并不受光环境的影响。如 Gamage 和 Jesson 在对新西兰枪木树 (*Pseudopanax crassifolius*) 进行光响应研究时发现, 枪木树在全光照和遮阴环境中的 R_d 无显著差异^[17]。杨莹等在研究光照对化香 (*Platycarya strobilacea*) 幼苗光合特性影响时发现化香在 25%, 12%, 6%, 3% 光照强度下的 R_d 均没有显著差异^[8]。这表明有些植物并不是通过改变光合特性来适应光环境的改变, 而可能是通过生物量分配等其它非光合特性的改变来适应光环境的变化。本研究闽楠幼树在 8% 光环境的 R_d 最低, 说明闽楠幼树能够通过相对较低的呼吸速率来减少碳损耗, 从而来适应森林弱光环境。由于幼嫩组织 R_d 大于衰老组织, 正在生长组织 R_d 大于成熟组织, 使得闽楠幼树叶片的春季和夏季的 R_d 高于其他季节。

P_{nmax} 反映了树种在单位面积上能将大气中 CO_2 转化成生物有机物的最大潜力。有的研究发现在适当遮阴条件下植物的 P_{nmax} 最大, 如 Toledo-Aceves 与 Swaine 研究桃花心木 (*Swietenia mahagoni*) 对光照响应时发现, 桃花心木在中等光照条件下具有最大的 P_{nmax} ^[10]。徐飞等在研究不同光照下刺槐 (*Robinia pseudoacacia*) 光合特性时发现刺槐在 66% 光照条件下的 P_{nmax} 最大^[18]。这可能是因为高光条件下植物叶片产生了光抑制。一般认为闽楠不耐强光, 而本研究闽楠幼树 P_{nmax} 随着光环境的提高而提高, 表明了闽楠幼树可以通过提高光合速率来利用强光, 防止光组织被破坏, 这与前人的研究结果一致^[19], 且闽楠幼树在 100% 光环境中的 P_{nmax} 最大, 说明闽楠幼树在全光环境中可以将光能最大限度的转化为化学能, 更有利于植物光合产物的积累。针对此特点未来造林时可以将闽楠与毛竹 (*Phyllostachys pubescens*) 混交来减少郁闭度, 促进闽楠幼树的生长。春季闽楠幼树处在新梢建成初期, 叶片未达到完全成熟状态, 所以其同种光环境下 P_{nmax} 在春季表现最小。夏季闽楠幼树抽夏梢, 为全年的生长高峰, 叶片也完全成熟, 所以同种光环境下 P_{nmax} 在夏季表现比春季大。秋季闽楠幼树抽秋梢, 为全年的第 2 个生长高峰, 但是其叶片开始出现老化, 所以其 P_{nmax} 增幅减缓甚至下降。

3.2 不同光环境下闽楠幼树生物量特征

Farquhar 认为植物生物量的最优分配方式应该可以使获得的光能刚好满足其光合的需要^[20], 有的研究表明生物量随着光强的增加而增加^[10], 也有的研究表明适当遮阴的植物生物量最大^[18], 闽楠幼树生物量对光环境的响应符合前者的规律。这表明高光有利于闽楠幼树生物量的积累。光照强度降低时, 闽楠幼树采取保守策略进行缓慢的资源获取和消耗, 所以生物量积累较少, 后期郁闭度降低, 闽楠幼树采取快速的资源获取和消耗策略, 所以生物量积累较多。植物幼苗或幼树一般需要适当遮阴减少水分蒸发及过高的光强对其自身的伤害, 对于闽楠幼树来说增加生物量的积累, 应增加闽楠幼树的光照。闽楠幼树细根, 粗根, 茎, 叶的生物量均表现为 100% 光环境下最大, 增加的根生物量尤其是细根的生物量有利于闽楠幼树维持正常的水分吸收和蒸腾, 保持较高的光合速率, 叶生物量的增加则有利于光能的捕获^[21], 茎生物量的增加有利于闽楠幼树支持结构和运输的结构的构建。

通常, 当植物受到光照条件的限制时, 植物就会将更多的资源分配到地上部分, 通过减少根生物量的分配, 增加叶生物量的分配、茎生物量的分配来获得更多的光照资源, 这样提高其光竞争能力和生存适合度^[7]。郭志华等对不同光环境下喜树 (*Camptotheca acuminata*) 与四川大头茶 (*Gordonia acuminata*) 幼苗生物量分配研究结果支持上述观点^[22], 但王俊峰、冯玉龙对两种入侵植物生物量分配研究时发现兰花菊三七 (*Gynura* sp.) 在强光下减少根和叶生物量分配, 增加枝的生物量分配^[23]。可见, 植物对光限制条件下生物量的分配策略并不是单一的。本研究中闽楠幼树则采取了不同于以上方式的分配策略, 闽楠幼树的根生物量比, 叶生物量比, 茎生物量比, 根冠比在 3 种光环境下均无显著差异, 这说明闽楠幼树并不是通过生物量分配比例的改变

来适应光环境的变化。具有较宽的生态幅和拓殖能力的物种拥有较高的生物量分配可塑性,以此来缓解新环境的選擇压力^[24]。闽楠幼树生物量分配可塑性极低,因此自然生境中闽楠幼树就会面临较大的选择压力,可占据的分布区狭窄,这可能是闽楠零星散生的一个重要的非人为干扰因素。闽楠幼树在 3 种光环境下地上部分生物量所占的比重约为总生物量的 60% 以上,这说明闽楠幼树所采取的生存策略是以地上部分生长为主,干物质则主要储存在叶与茎中。

4 结论

闽楠幼树通过降低 P_{nmax} , LSP, LCP, Rd , 升高 AQY 的光合策略来适应光照强度的降低。通常认为闽楠耐阴,忌强光,但是本研究中闽楠幼树在 100% 光环境中的 P_{nmax} 最大,说明全光照条件下更有利于闽楠幼树光合产物的积累。针对此特点未来造林时可以将闽楠与毛竹混交来减少郁闭度,促进闽楠幼树的生长,闽楠幼树所采取的生存策略以地上部分生长为主,遮阴条件下采取保守策略进行缓慢的资源获取和消耗,全光照条件下采取快速的资源获取和消耗策略。闽楠幼树生物量分配策略不同于大多数树种,它是通过生物量积累的改变而非生物量分配比例的改变来适应光环境的变化。闽楠幼树在三种光环境下生物量分配比例并无显著的改变,生物量分配可塑性极低可能是闽楠零星分布的一个重要非人为干扰因素。

References:

- [1] Salgado-Luarte C, Gianoli E. Herbivory may modify functional responses to shade in seedlings of a light-demanding tree species. *Functional Ecology*, 2011, 25(3): 492-499.
- [2] Hulme P E. Phenotypic plasticity and plant invasions: is it all Jack?. *Functional Ecology*, 2008, 22(1): 3-7.
- [3] Valladares F, Niinemets Ü. Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2008, 39: 237-257.
- [4] Sack L, Grubb P J. The combined impacts of deep shade and drought on the growth and biomass allocation of shade-tolerant woody seedlings. *Oecologia*, 2002, 131(2): 175-185.
- [5] Poorter L. Light-dependent changes in biomass allocation and their importance for growth of rain forest tree species. *Functional Ecology*, 2001, 15(1): 113-123.
- [6] Poorter H, Nagel O. The role of biomass allocation in the growth response of plants to different levels of light, CO₂, nutrients and water: a quantitative review. *Functional Plant Biology*, 2000, 27(12): 1191.
- [7] Nishimura E, Suzuki E, Irie M, Nagashima H, Hirose T. Architecture and growth of an annual plant *chenopodium album* in different light climates. *Ecological Research*, 2010, 25(2): 383-393.
- [8] Yang Y, Wang C H, Liu Y H. The effect of low irradiance on growth, photosynthetic characteristics, and biomass allocation in two deciduous broad-leaved tree seedlings in southeast of Hubei Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(22): 6082-6090.
- [9] Xue W, Li X L, Zhu J T, Lin L S, Wang Y J. Effects of shading on leaf morphology and response characteristics of photosynthesis in *Alhagi sparsifolia*. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(1): 82-90.
- [10] Toledo-Aceves T, Swaine M D. Biomass allocation and photosynthetic responses of lianas and pioneer tree seedlings to light. *Acta Oecologica*, 2008, 34(1): 38-49.
- [11] Curt T, Coll L, Prévosto B, Balandier P, Kunstler G. Plasticity in growth, biomass allocation and root morphology in beech seedlings as induced by irradiance and herbaceous competition. *Annals of Forest Science*, 2005, 62(1): 51-60.
- [12] Ye Z P. A new model for relationship between irradiance and the rate of photosynthesis in *oryza sativa*. *Photosynthetica*, 2007, 45(4): 637-640.
- [13] Miyazawa Y, Kikuzawa K. Photosynthesis and physiological traits of evergreen broadleaved saplings during winter under different light environments in a temperate forest. *Canadian Journal of Botany*, 2006, 84(1): 60-69.
- [14] Wang K, Zhu J J, Yu L Z, Sun Y R, Chen G H. Effects of shading on the photosynthetic characteristics and light use efficiency of *phellodendron amurense* seedlings. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2009, 33(5): 1003-1012.
- [15] Xu D Q. *Photosynthetic Efficiency*. Shanghai: Shanghai Science and Technology Publishing House, 2002.
- [16] Miao Z, Xu M, Lathrop R G Jr, Wang Y. Comparison of the A-Cc curve fitting methods in determining maximum ribulose 1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase carboxylation rate, potential light saturated electron transport rate and leaf dark respiration. *Plant Cell and Environment*, 2009, 32(2): 109-122.
- [17] Gamage H K, Jesson L. Leaf heteroblasty is not an adaptation to shade: seedling anatomical and physiological responses to light. *New Zealand*

Journal of Ecology, 2007, 31(2): 245-254.

- [18] Xu F, Guo W H, Xu W H, Wang R Q. Effects of light intensity on growth and photosynthesis of seedlings of *Quercus acutissima* and *Robinia pseudoacacia*. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(12): 3098-3107.
- [19] Lusk C H, Reich P B, Montgomery R A, Ackerly D D, Cavender-Bares J. Why are evergreen leaves so contrary about shade? Trends in Ecology and Evolution, 2008, 23(6): 299-303.
- [20] Farquhar G D. Models of integrated photosynthesis of cells and leaves. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences, 1989, 323(1216): 357-367.
- [21] Clark B, Bullock S. Shedding light on plant competition: modelling the influence of plant morphology on light capture (and vice versa). Journal of theoretical Biology, 2007, 244(2): 208-217.
- [22] Guo Z H, Wang R, Xiao W F. Phenotypic plasticity of the seedlings of *camptotheca acuminata* and *gordonia acuminata* under different light regimes. Scientia Silvae Sinicae, 2009, 45(9): 6-12.
- [23] Wang J F, Feng Y L. The effect of light intensity on biomass allocation, leaf morphology and relative growth rate of two invasive plants. Acta Phytoecologica Sinica, 2004, 28(6): 781-786.
- [24] Wu G L, Chen M, Du G Z. Response of biomass allocation and morphological characteristics to light and nutrient resources for seedlings of three alpine species. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(1): 60-66.

参考文献:

- [8] 杨莹, 王传华, 刘艳红. 光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响. 生态学报, 2010, 30(22): 6082-6090.
- [9] 薛伟, 李向义, 朱军涛, 林丽莎, 王迎菊. 遮阴对疏叶骆驼刺叶形态和光合参数的影响. 植物生态学报, 2011, 35(1): 82-90.
- [14] 王凯, 朱教君, 于立忠, 孙一荣, 陈光华. 遮阴对黄波罗幼苗的光合特性及光能利用效率的影响. 植物生态学报, 2009, 33(5): 1003-1012.
- [15] 许大全. 光合作用效率. 上海: 上海科学技术出版社, 2002.
- [18] 徐飞, 郭卫华, 徐伟红, 王仁卿. 不同光环境对麻栎和刺槐幼苗生长和光合特征的影响. 生态学报, 2010, 30(12): 3098-3107.
- [22] 郭志华, 王荣, 肖文发. 不同光环境下喜树与四川大头茶幼苗的表型可塑性. 林业科学, 2009, 45(9): 6-12.
- [23] 王俊峰, 冯玉龙. 光强对两种入侵植物生物量分配、叶片形态和相对生长速率的影响. 植物生态学报, 2004, 28(6): 781-786.
- [24] 武高林, 陈敏, 杜国祯. 三种高寒植物幼苗生物量分配及性状特征对光照和养分的响应. 生态学报, 2010, 30(1): 60-66.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 12 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China	SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, WU Tao, et al (3645)
Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland	ZHANG Qunjun, YU Xiubo, QIAN Jianxin, et al (3656)
Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City	FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, et al (3670)
Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu	YE Chun, LI Chunhua, WANG Qiuguang, et al (3681)
The concentrations distribution and composition of nitrogen and phosphorus in stormwater runoff from green roofs	WANG Shumin, HE Qiang, ZHANG Junhua, et al (3691)
Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna	HE Xianjin, WU Pengfei, CUI Liwei, et al (3701)
Investigation of populations of parasitic wasps parasitizing <i>Carposina sasakii</i> Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) in jujube orchards in China, with respect to the wasp-host relationship	YAO Yanxia, ZHAO Wenxia, CHANG Jupu, et al (3714)
Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model	ZOU Lili, CHEN Xiaoxiang, HE Ying, et al (3722)
Combined effects of temperature, salinity and pH on the clearance rate of juveniles of <i>Pinctada martensii</i> (Dunker)	ZHU Xiaowen, WANG Hui, LIU Jin, et al (3729)
Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system	ZHAO Liping, YANG Guiming, ZHAO Tongke, et al (3737)
Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe river	ZHANG Junhua, LI Guodong, NAN Zhongren (3745)
Effects of DEM resolution and watershed subdivision on hydrological simulation in the Xingzihe watershed	QIU Linjing, ZHENG Fenli, YIN Runsheng (3754)
Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis	GUO Guanhua, CHEN Yingbiao, WEI Jianbing, et al (3764)
Landscape connectivity analysis for the forest landscape restoration: a case study of Gongyi City	CHEN Jie, LIANG Guofu, DING Shengyan (3773)
Carbon footprint analysis on urban energy use: a case study of Xiamen, China	LIN Jianyi, MENG Fanxin, CUI Shenghui, et al (3782)
The ecological footprint of alpine pastures at the village-level: a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China	WANG Lucang, GAO Jing (3795)
The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu	LI Chunhua, YE Chun, ZHAO Xiaofeng, et al (3806)
The biomass of <i>Bashania fargesii</i> in giant pandas habitat in Qinling Mountains	DANG Kunliang, CHEN Junxian, SUN Feixiang, et al (3816)
Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte <i>Limonium aureum</i> (L.) Hill	YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, et al (3825)
Liana-host tree associations in the tropical montane primary forest and post-harvest forest of Bawangling, Hainan Island, China	LIU Jinxian, TAO Jianping, HE Zeet al (3834)
The response of photosynthetic characters and biomass allocation of <i>P. bournei</i> young trees to different light regimes	WANG Zhenxing, ZHU Jinmao, WANG Jian, et al (3841)
Genetic variation among populations of the endangered <i>Sinocalycanthus chinensis</i> based on morphological traits and ISSR profiles	JIN Zexin, GU Jingjing, LI Junmin (3849)
Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter	JIANG Qingbiao, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (3859)
Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant <i>Alcimandra cathartii</i>	YUAN Chunming, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al (3866)
The water consumption and water use efficiency of the seedlings of <i>Eucalyptus grandis</i> and other five tree species in Sichuan Province	HU Hongling, ZHANG Jian, WAN Xueqin, et al (3873)
Effects of leaf litter of <i>Cinnamomum septentrionale</i> on growth and resistance physiology of <i>Brassica rapa</i> in the decomposition process of litter	HUANG Weiwei, HU Tingxing, ZHANG Niannian, et al (3883)
Water transport velocity and efficiency in <i>Quercus variabilis</i> detected with deuterium tracer and thermal dissipation technique	SUN Shoujia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3892)
The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification	ZHANG Xianqiang, ZENG Jianjun, CHEN Jinwu, et al (3902)
Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community	CHEN Lin, GU Jie, GAO Hua, et al (3912)
Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in <i>Eurya obtusifolia</i>	WANG Qian, DENG Hongping, DING Bo, et al (3921)
Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China	HE Qijin, ZHOU Guangsheng (3931)
Effects of uniconazole dry seed dressing on nitrogen accumulation and translocation and kernel protein quality in wheat	FAN Gaoqiong, YANG Ennian, ZHENG Ting, et al (3940)
Review and Monograph	
International comparison and policy recommendation on the development model of industrial symbiosis in China	SHI Lei, LIU Guoguo, GUO Siping (3950)
Scientific Note	
The Change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years	ZHANG Guokun, LU Jinghua, SONG Kaishan, et al (3958)
Footprint analysis of turbulent flux over a poplar plantation in Northern China	JIN Ying, ZHANG Zhiqiang, FANG Xianrui, et al (3966)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

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 32 卷 第 12 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 12 (June, 2012)

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	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 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	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:100071	Published by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
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@cspg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
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	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