

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

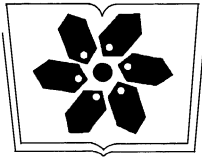
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第7期 Vol.32 No.7 **2012**

中国生态学会
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 7 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目次

城市生态景观研究的基础理论框架与技术构架	孙然好, 许忠良, 陈利顶, 等 (1979)
拟南芥芥子酸酯对 UV-B 辐射的响应	李 敏, 王 垠, 牟晓飞, 等 (1987)
蛋白核小球藻对 Pb(II) 和 Cd(II) 的生物吸附及其影响因素	姜 晶, 李 亮, 李海鹏, 等 (1995)
梨枣在果实生长期对土壤水势的响应	韩立新, 汪有科, 张琳琳 (2004)
产业生态系统资源代谢分析方法	施晓清, 杨建新, 王如松, 等 (2012)
基于物质流和生态足迹的可持续发展指标体系构建——以安徽省铜陵市为例 赵卉卉, 王 远, 谷学明, 等 (2025)
河北省县域农田生态系统供给功能的健康评价	白琳红, 王 卫, 张 玉 (2033)
温郁金内生真菌 <i>Chaetomium globosum</i> L18 对植物病原菌的抑菌谱及拮抗机理 王艳红, 吴晓民, 朱艳萍, 等 (2040)
基于稳定碳同位素技术的华北低丘山区核桃-小麦复合系统种间水分利用研究 何春霞, 孟 平, 张劲松, 等 (2047)
云贵高原喀斯特坡耕地土壤微生物量 C、N、P 空间分布	张利青, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2056)
水稻根系通气组织与根系泌氧及根际硝化作用的关系	李奕林 (2066)
苹果绵蚜对不同苹果品种春梢生长期生理指标的影响	王西存, 于 毅, 周洪旭, 等 (2075)
磷高效转基因大豆对根际微生物群落的影响	金凌波, 周 峰, 姚 涓, 等 (2082)
基于 MODIS-EVI 数据和 Symlet11 小波识别东北地区水稻主要物候期 徐岩岩, 张佳华, YANG Limin (2091)
基于降水利用比较分析的四川省种植制度优化	王明田, 曲辉辉, 杨晓光, 等 (2099)
气候变暖对东北玉米低温冷害分布规律的影响	高晓容, 王春乙, 张继权 (2110)
施肥对巢湖流域稻季氨挥发损失的影响	朱小红, 马中文, 马友华, 等 (2119)
丛枝菌根真菌对枳根净离子流及锌污染下枳苗矿质营养的影响	肖家欣, 杨 慧, 张绍铃 (2127)
不同 R:FR 值对菊花叶片气孔特征和气孔导度的影响	杨再强, 张 静, 江晓东, 等 (2135)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林凋落物现存量及其养分循环动态	刘 蕾, 申国珍, 陈芳清, 等 (2142)
黄土高原刺槐人工林地表凋落物对土壤呼吸的贡献	周小刚, 郭胜利, 车升国, 等 (2150)
贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局	陈志阳, 杨 宁, 姚先铭, 等 (2158)
LAS 测算森林冠层上方温度结构参数的可行性	郑 宁, 张劲松, 孟 平, 等 (2166)
基于 RS/GIS 的重庆缙云山自然保护区植被及碳储量密度空间分布研究 徐少君, 曾 波, 苏晓磊, 等 (2174)

模拟氮沉降增加对寒温带针叶林土壤 CO₂ 排放的初期影响 温都如娜,方华军,于贵瑞,等 (2185)

桂江流域附生硅藻群落特征及影响因素..... 邓培雁,雷远达,刘 威,等 (2196)

小浪底水库排沙对黄河鲤鱼的急性胁迫..... 孙麓垠,白音包力皋,牛翠娟,等 (2204)

上海池塘养殖环境成本——基于双边界二分式 CVM 法的实证研究 唐克勇,杨正勇,杨怀宇,等 (2212)

稻纵卷叶螟绒茧蜂对寄主的搜索行为 周 慧,张 扬,吴伟坚 (2223)

农林复合系统中灌木篱墙对异色瓢虫种群分布的影响..... 严 飞,周在豹,王 朔,等 (2230)

苹果脱乙酰几丁质发酵液诱导苹果叶片对斑点落叶病的早期抗性反应.....
..... 王荣娟,姚允聪,戚亚平,等 (2239)

专论与综述

气候变化影响下海岸带脆弱性评估研究进展..... 王 宁,张利权,袁 琳,等 (2248)

外来红树植物无瓣海桑引种及其生态影响 彭友贵,徐正春,刘敏超 (2259)

问题讨论

城市污泥生物好氧发酵对有机污染物的降解及其影响因素..... 余 杰,郑国砥,高 定,等 (2271)

4 种绿化树种盆栽土壤微生物对柴油污染响应及对 PAHs 的修复 闫文德,梁小翠,郑 威,等 (2279)

研究简报

云南会泽铅锌矿废弃矿渣堆常见植物内生真菌多样性..... 李东伟,徐红梅,梅 涛,等 (2288)

南方根结线虫对不同砧木嫁接番茄苗活性氧清除系统的影响 梁 朋,陈振德,罗庆熙 (2294)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-04



封面图说: 站立的仓鼠——仓鼠为小型啮齿类动物,栖息于荒漠、荒漠草原等地带的洞穴之中。白天他们往往会躲在洞穴中睡觉和休息,以避开天敌的攻击,偶尔也会出来走动,站立起来警惕地四处张望。喜欢把食物藏在腮的两边,然后再走到安全的地方吐出来,由此得仓鼠之名。它们的门齿会不停的生长,所以它们的上下门齿必须不断啃食硬东西来磨牙,一方面避免门齿长得太长,妨碍咀嚼,一方面保持门牙的锐利。仓鼠以杂草种子、昆虫等为食。

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

DOI: 10.5846/stxb201109101330

陈志阳, 杨宁, 姚先铭, 田小梅, 杨满元. 贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局. 生态学报, 2012, 32(7): 2158-2165.

Chen Z Y, Yang N, Yao X M, Tian X M, Yang M Y. Life history and spatial distribution of a *Taiwania flousiana* population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(7): 2158-2165.

贵州雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局

陈志阳¹, 杨宁^{1,*}, 姚先铭¹, 田小梅², 杨满元³

(1. 湖南环境生物职业技术学院园林系; 2. 湖南环境生物职业技术学院信息技术系;

3. 湖南环境生物职业技术学院实训中心, 衡阳 421005)

摘要: 秃杉是一种珍稀濒危植物, 以斑块状分布于雷公山东南面斜坡海拔 800—1300 m 之间的沟谷两侧。从年龄结构、生命表特征、存活曲线以及种群不同龄级个体空间分布格局等方面研究了雷公山秃杉种群生活史特征与空间分布格局。研究结果表明: 秃杉的种群结构存在波动性, 成年阶段个体较丰富, 幼苗与老龄数目相对较少, 秃杉自身的生物学特性及环境因素是形成这种现象的主要原因; 秃杉种群存活曲线趋于 Deevey II 型, 出现 2 个死亡率高点, 一个出现在第 6 龄级阶段, 另一个出现在第 12 龄级阶段, 期望寿命单调下降; 秃杉种群空间分布格局总体上为聚集分布, 处于不同发育阶段的秃杉种群, 其分布格局随时间而发生变化, 从幼龄期到中年期再到老龄期, 种群分布格局由聚集分布逐渐变为随机分布, 秃杉种群在不同发育阶段的空间分布格局差异与其生物学和生态学特性密切相关, 同时受群落小环境的影响。

关键词: 秃杉; 种群结构; 静态生命表; 分布格局; 雷公山

Life history and spatial distribution of a *Taiwania flousiana* population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China

CHEN Zhiyang¹, YANG Ning^{1,*}, YAO Xianming¹, TIAN Xiaomei², YANG Manyuan³

¹ Department of Landscape Architecture, Hunan Environment-Biological Polytechnic

² Department of Information Technology, Hunan Environment-Biological Polytechnic

³ Centre of Practice and Training, Hunan Environment-Biological Polytechnic, Hengyang 421005, China

Abstract: *Aims:* We studied the life history and distribution of a *Taiwania flousiana* Gaussen population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China, to explain population growth characteristics, and how biological and environmental factors affect population distribution and dynamics. *Methods:* *T. flousiana*, a rare and endangered plant, is distributed in patches on southeastern facing slopes at altitudes of 800—1300m on Leigong Mountain. We sampled trees in 30 plots (30m × 30m), and in each plot, we established 9 subplots (10m × 10m) to measure the shrubs, grasses and regeneration of this species. We recorded the diameter at breast height (DBH) of each tree, and then divided them into 13 size classes: S1, $H \leq 2.5\text{m}$ ($\text{DBH} < 5.0\text{cm}$); S2, $H > 2.5\text{m}$ ($\text{DBH} < 5.0\text{cm}$); S3, $5.0\text{cm} \leq \text{DBH} < 10.0\text{cm}$; S4, $10.0\text{cm} \leq \text{DBH} < 15.0\text{cm}$; S5, $15.0\text{cm} \leq \text{DBH} < 20.0\text{cm}$, and so on. We recorded the location of every *T. flousiana* individual using coordinates (x, y) within each subplot. We determined the population size and structure, life expectancy and survivorship curve of *T. flousiana* to analyze population structure and dynamics.

Important findings: Because *T. flousiana* seedlings and big trees were rare, the structure and size classes of the population indicate the *T. flousiana* population is in decline. This appears to be caused by the species biological characteristics and environmental factors. The survivorship curve of this *T. flousiana* population generally matches the

基金项目: 国家林业局 948 重点项目 (2008-4-32); 湖南省重点课题项目 (62020608001)

收稿日期: 2011-09-10; 修订日期: 2012-01-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yangning678787@sina.com

Deevey II type. There are 2 peaks of mortality in the 6th and 12th size classes caused by intraspecific competition for resources and physiological aging, respectively. The life expectancy of this species decreased monotonically during its life span, although *T. flousiana* seedlings and big trees were rare and had low survival rates. The species generally has a clumped distribution pattern, but this gradually changes over time from a clumped to a random pattern as trees matures from young to middle-aged to old trees. Populations tend to be clumped in the first five size classes, and are distributed-randomly from the 7th size class to the 13th size class. These different developmental stages were related to the biological and ecological characteristics of the species and to microenvironmental conditions. *Meanings*: We conclude *T. flousiana* conservation strategies should focus on seedling establishment and conservation, reducing human disturbance and enhancing genetic diversity between populations.

Key Words: *Taiwania flousiana*; population structure; static life table; spatial distribution; Leigong Mountain

种群结构是植物种群的重要属性,不仅反映了种群个体在空间上的分布方式,也在一定程度上反映了种群的发展趋势^[1-3];种群分布格局是种群研究的重要内容,是种群的重要结构特征之一,它指得是种群在空间上的配置与分布状况,是由种群特性、种间关系和环境条件的综合影响所决定的^[4];在某种意义上来说种群结构与动态是对环境适应与选择的结果,因此种群结构与动态通常反映一定的环境因子对个体行为、生存和生长的影响^[5]。

秃杉(*Taiwania flousiana*)属杉科台湾杉属,起源古老,是第三纪古热带植物区系的孑遗种,为世界上稀有的珍贵常绿树种,国务院于1999年批准的《国家重点保护野生植物》(第一批)中,秃杉被列为Ⅰ级保护的濒危植物,是我国特有的活化石植物^[6]。已有的研究主要有秃杉林群落学^[7]、分类学^[8]、引种、育种等^[9-10],而目前国内关于自然群落中秃杉种群结构和动态方面的研究鲜见报道。本文通过对雷公山秃杉种群结构、数量动态特征以及空间分布格局进行调查研究,对于了解秃杉种群的生存现状,揭示秃杉种群的整体活力,发展特征,动态规律以及濒危机制的探索和群落的稳定性具有重要意义。亦为可更好地保护秃杉这一珍稀濒危植物提供科学依据。

1 研究区域环境概况

雷公山国家级自然保护区位于贵州省东南部黔东南州境内,地理坐标为26°20′25″—26°25′00″N,108°12′00″—108°20′00″E,属中亚热带润湿气候,具有温暖湿润,雨量充沛,雨雾日较多,光照少等特点。年降雨量1400 mm以上,其中4—9月较为集中,约占全年降雨总量的80%,10月—翌年3月偏少,约占全年降雨量的20%。年平均气温为14.3℃,7月份最热,均温为23.5℃;1月最冷,月平均气温为3.6℃。≥10℃的活动积温为4110℃,≥10℃的天数为197 d,凝冻日约20 d;土壤为山地黄壤类,酸性,质地为壤土,土层深厚。保护区森林资源丰富,种子植物有137科349属592种,且植被垂直分布分明。从山麓到山顶,大致可划分为3个植物群系:(1)在海拔1350 m以下为常绿阔叶林,主要由丝栗栲+石栎群系(Form. *Castanopsis fargesii*+*Lithocarpus glaber*)组成;(2)在海拔1350—2100 m为山地常绿、落叶阔叶混交林,主要由青冈+水青冈群系(Form. *Quercus liaotungensis*+*Fagus longipetiolata*)组成;(3)在海拔2100 m以上为高山灌丛,主要由高山杜鹃+箭竹群系(Form. *Rhododendron lapponicum*+*Sinarundinaria basihirsuta*)组成。

2 研究方法

2.1 样地设置

在雷公山自然保护区,秃杉主要以斑块状星散地分布在雷公山东南面斜坡中部800—1300 m之间的沟谷两侧,在对秃杉分布区域进行实地考察的基础上,根据秃杉分布的生境情况共设置6个样地(分别用Q1、Q2、Q3、Q4、Q5、Q6表示)(表1),并在每个样地的四角和中心中分别设置5个共30个30 m×30 m的乔木样方,灌木样方、草本样方与更新苗样方采用相邻格子抽样法进行调查,在每个乔木样方共设置9个相邻格子,格子的大小为10 m×10 m。乔木样方记录树高、活枝下高、冠幅、盖度及生长情况;灌木和草本样方记录株数、高度、

盖度;更新苗样方记录植物的株数并测定其高度,且以每个样地的两边为坐标轴,测定每株植物的坐标(x , y)。同时记录每个样地的海拔、坡度、坡向、坡位、岩石裸露率、郁闭度等生境指标。

表 1 样地概况

Table 1 The description of experimental plots

样地号 No. of plots	海拔/m Altitude	坡度/(°) Slope	坡向/(°) Aspect	岩石裸露率/% Bareness of rock	郁闭度/% Canopy coverage	坡位 Slope position	群落类型 Community type
Q1	930	35°	85°ES	10	85	中坡	秃杉-木荷群落
Q2	1170	70°	55°ES	15	90	上坡	秃杉-水青冈群落
Q3	960	45°	15°ES	30	70	下坡	秃杉-杉木群落
Q4	1320	50°	40°ES	20	85	上坡	秃杉-马尾松-杉木群落
Q5	1080	65°	75°ES	69	75	中坡	秃杉-贵州石栎群落
Q6	810	50°	10°ES	15	90	下坡	秃杉-箭竹群落

秃杉-木荷群落 Comm. *Taiwania flousiana*-*Schima superba*; 秃杉-水青冈群落 Comm. *Taiwania flousiana*-*Fagus longipetiolata*; 秃杉-杉木群落 Comm. *Taiwania flousiana*-*Cunninghamia lanceolata*; 秃杉-马尾松-杉木群落 Comm. *Taiwania flousiana*-*Pinus massoniana*-*Cunninghamia lanceolata*; 秃杉-贵州石栎群落 Comm. *Taiwania flousiana*-*Lithocarpus elizabethae*; 秃杉-箭竹群落 Comm. *Taiwania flousiana*-*Sinarundinaria basihursuta*

2.2 种群大小级结构划分方法

秃杉是濒危植物,为保护其每一个体,避免其种群受到人为损毁,在缺乏解析资料的情况下,采用立木级结构代替大小级结构。根据秃杉的生活史特征,并参考有关种群的大小级划分方法进行划分^[11-14],将秃杉共划分出 13 个大小级。即:胸径 DBH<5.0 cm 为幼树,个体高度 $H \leq 2.5$ m 为第 1 大小级;个体高度 $H > 2.5$ m 为第 2 大小级;胸径 DBH ≥ 5.0 cm 的个体按 5.0 cm 的间隔段划分,即:5.0 cm \leq DBH<10.0 cm 为第 3 大小级;10.0 cm \leq DBH<15.0 cm 为第 4 大小级;15.0 cm \leq DBH<20.0 cm 为第 5 大小级,……,如此一一对应,统计各大小级秃杉植株数,编制秃杉种群静态生命表,分析其动态变化。

2.3 种群空间分布格局分析

2.3.1 空间分布格局及动态分析

用方差/均值比率法对不同发育阶段的种群进行空间格局分析,计算其聚集强度指标,种群分布格局和聚集强度采用方差/均值比的 t 检验法、平均拥挤指数与聚块性指数和 Morisita 指数的 F 检验法,并进行格局分布拟合^[15-16]。

2.3.2 种群分布与环境的相关分析

为分析环境因子与雷公山秃杉种群分布之间的关系,将海拔、坡向、坡度、坡位 4 个环境因子作为因变量,分别与每个样方内的秃杉个体数量进行相关分析^[17]。并对相关系数 r 的可信度进行 t 检验^[18]。求算时,海拔用实测数据,坡向、坡度和坡位按如下指标进行分级^[19]:

按光照条件由弱至强的梯度,用数字将 8 个方位坡向分为 8 级;以正东方向为起点(作为 0°),沿顺时针方向旋转,1 表示北坡(247.5°—292.5°)、2 表示东北坡(292.5°—337.5°)、3 表示西北坡(202.5°—247.5°)、4 表示东坡(337.5°—22.5°)、5 表示西坡(157.5°—202.5°)、6 表示东南坡(22.5°—67.5°)、7 表示西南坡(112.5°—157.5°)、8 表示南坡(67.5°—112.5°);按所测坡度上下限,均分为 6 级,1 级为 11°—15°,每 5°增加 1 级,6 级为 36°—40°;上坡位定为 1 级,中坡位定为 2 级,下坡位定为 3 级。

3 结果与分析

3.1 秃杉种群的大小级结构

以 6 个样地中平均每个 30 m \times 30 m 的样方调查得到的秃杉株数,形成径级结构图(图 1),从图 1 可以看出,秃杉种群结构存在波动性,幼年阶段与老龄林阶段植株个体数较少,各样方秃杉林的总数以第 1、11、12、13 大小级个体数较少,分别为 3、3、1 株与 1 株;成年阶段个体较丰富,各样方秃杉林的总数在第 3、4、5、6、7 大

小级较多,分别为 22、17、13、15 株与 12 株,种群结构图整体呈近金字塔形。由此可见,秃杉种群结构中幼苗、幼树与老龄树少见,成年树所占比例大,种群处于前期薄弱、后期衰退的不稳定状态,表明秃杉种群的生存受到威胁,属于衰退型种群。

3.2 秃杉种群生命表特征分析

由于是“空间推时间”,“横向导纵向”,调查中可能存在系统误差,在生命表中会出现死亡率为负的情况^[20]。对此 Wretten 等认为,生命表分析中产生一些负值与数据假设技术不符,但仍可提供有用的生态记录,即表明种群并非静止不动,而是在发展与衰落之中。据此,采用江洪在云杉种群生命表的编制过程所采用的匀滑技术对数据进行处理^[21]。

林分在不同生境条件和群落背景下的种群数量动态可以认为是以某平均值为基础所产生的变形,平均值可以看成是该地区该林分的基本属性^[21]。根据秃杉群落调查资料,把 13 个龄级,6 个种群相对应的个体数合并,结果发现数据在第 1、2、5 与 9 龄级的数据发生波动,分别小于第 2、3、6 和 10 龄级的存活数。据特定生命表假设,年龄组合是稳定的,各年龄的比例不变。因此,将数据分为 2 个区段:1—7 龄级和 9—13 龄级。分别计算 2 个区段存活数的累积:

$$T_1 = \sum_{i=1}^7 \alpha_{xi} = 90$$

$$T_2 = \sum_{i=9}^{13} \alpha_{xi} = 16$$

平均数 $\overline{\alpha_{x_1}} = T_1/n_1 = 90/7 = 12.86 \approx 13$; $\overline{\alpha_{x_2}} = T_2/n_2 = 16/5 = 3.2 \approx 3$,且认为这 2 个平均数是区段的组中值。另外,由于 2 个区段的最多存活数和最小存活数的差数(分别为 19 和 5)及段的间隔的数量(分别为 7 和 5),可以确定 2 个区段每一相邻年龄组的存活数之间的差分别为 3 和 1 左右。经匀滑修正后,得到 α_x^* ,然后据此编制出秃杉种群的特定时间生命表(表 2)。以生命表中的 $\ln(l_x)$ 为纵坐标,以各龄级为横坐标,建立秃杉种群的存活曲线(图 2)。

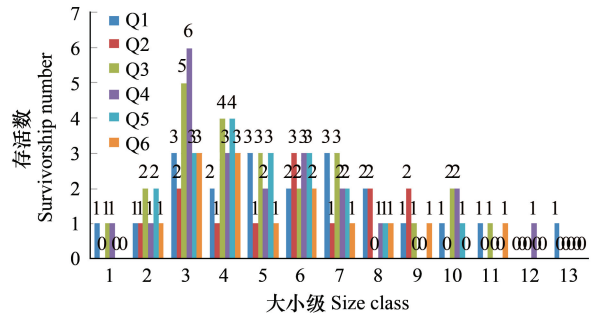


图 1 秃杉种群大小级结构

Fig. 1 The size structure of *Taiwania flossiana* population

表 2 雷公山秃杉种群的特定时间生命表

Table 2 The time-specific life table of *Taiwania flossiana* population

大小级 Size class	组中值 Mean value	α_x	α_x^*	l_x	$\ln(l_x)$	q_x	d_x	T_x	e_x
1	5	3	22	890.00	6.91	0.22	220.00	4619.80	4.62
2	15	8	19	760.01	6.76	0.24	207.27	3729.80	4.32
3	25	22	16	629.09	6.59	0.27	196.36	2969.79	4.08
4	35	17	13	522.96	6.38	0.23	135.91	2340.70	3.96
5	45	13	11	435.00	6.21	0.26	130.00	1817.74	3.64
6	55	15	9	333.41	6.01	0.37	151.36	1382.74	3.38
7	65	12	7	281.59	5.76	0.23	73.18	1049.33	3.30
8	75	7	6	238.64	5.61	0.25	68.18	767.74	2.82
9	85	5	5	195.45	5.43	0.28	63.64	529.10	2.33
10	95	6	4	146.37	5.20	0.39	70.91	333.65	1.84
11	105	3	3	105.00	4.92	0.46	62.73	187.28	1.37
12	115	1	2	59.55	4.51	0.69	62.73	82.28	0.91
13	125	1	1	22.73	3.82	—	—	22.73	0.50

秃杉种群死亡率 q_x 反映了秃杉种群的一般特征。从表 2 可见,虽然秃杉种群死亡率 q_x 的变化存在一定的波动性,但总体来说,随着大小级的增加呈现一种增加趋势。对应出现 2 个明显的“峰值”,第 1 个“峰值”发生在第 6 大小级阶段,其原因中随着群落演替的进行,秃杉个体间的竞争加大,个体之间的生态位发生重叠,林内光照、水分、养分和空间等因子不能满足其要求,植株间竞争激烈,自疏和它疏作用加强,个体间分化严重,导致高的死亡率 q_x ,个体经过上述的竞争之后,占据上层者的地位基本巩固,环境条件基本满足秃杉的生长需要,个体竞争减弱,秃杉死亡率 q_x 有所回落,待到秃杉进入生理死亡年龄阶段,死亡率 q_x 明显升高,产生第 2 个“峰值”^[22-23]。

从表 2 可知,秃杉的期望寿命 e_x 随着秃杉大小级的增大而减小,对于秃杉种群来说,大小级越低,个体竞争较小,能有效地利用群落内的生态条件,从而种群进入生长旺盛期,期望寿命 e_x 较大,这符合种群的生物学特征。但值得一提的是在第 6 大小级的死亡高峰后,环境条件能满足秃杉的生长需要,但是期望寿命 e_x 并没有提高,主要原因是秃杉种群达到一定的年龄,生理机能开始退化的缘故。

存活曲线是对生命表的重要反映。对秃杉的存活曲线分别用指数方程 $N_x = N_0 e^{-bx}$ 与幂函数式 $N_x = N_0 x^{-b}$ 进行描述。运用 SPSS13.0 统计软件进行拟合建立相应的模型如下:

$$N_x = 21.354e^{-0.247x} \quad (r = 0.945, F = 240.089)$$

$$N_x = 35.842x^{-1.038} \quad (r = 0.789, F = 54.351)$$

由于指数模型的相关系数 r 值及 F 检验值均大于幂函数模型的相关系数 r 值及 F 检验值,因此,认为,秃杉的存活曲线更趋于 Deevey II 型^[21]。

3.3 种群空间分布格局分析

3.3.1 种群的分布格局

从表 3 可知,雷公山秃杉种群总体上为聚集分布,这与多数珍稀植物种群的空间分布格局一致^[24]。但随

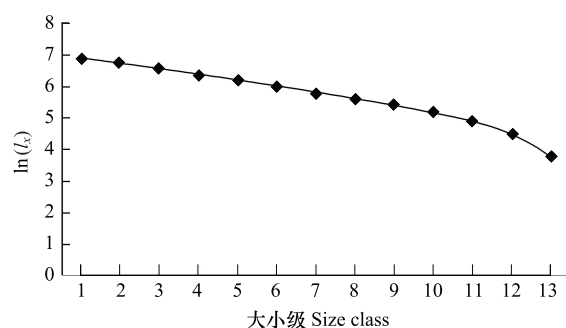


图 2 秃杉种群的存活曲线

Fig. 2 The survivorship curve of *Taiwania flousiana* population

表 3 雷公山秃杉种群分布格局及其动态

Table 3 Distribution pattern and dynamics of *Taiwania flousiana* population

大小级 Size class	方差均值比 v/\bar{x} ratio		平均拥挤度 Index of mean crowding	聚块性指数 Patchiness index	Morisita 指数 Morisita index		格局 Pattern
	Value	t			值 Value	F	
1	4.32	11.17 ***	5.56	2.50	2.48	4.30 **	C
2	4.22	10.58 ***	5.26	2.49	2.32	4.11 **	C
3	4.13	10.53 ***	5.20	2.43	2.30	4.00 **	C
4	2.45	4.92 **	3.15	1.98	1.86	2.45 **	C
5	2.25	4.48 **	2.20	2.56	2.58	2.35 **	C
6	1.89	1.69 *	1.68	1.46	1.49	1.50 *	C→R
7	1.50	1.68	1.55	1.57	1.53	1.49	R
8	1.55	1.50	1.48	1.42	1.40	1.39	R
9	1.05	0.18	0.72	1.09	1.08	1.06	R
10	1.23	0.74	0.56	1.68	1.72	1.23	R
11	1.39	1.29	1.68	1.30	1.30	1.37	R
12	1.45	1.44	1.25	1.50	1.52	1.42	R
13	1.15	0.43	1.18	1.16	1.12	1.13	R
1→13	2.96	6.62 ***	2.93	3.05	3.04	2.96 **	C

C: 聚集分布 Clumped distribution; R: 随机分布 Random distribution; * * * $P < 0.001$; * * $P < 0.01$; * $P < 0.05$

着龄期的增大,秃杉种群的分布格局由聚集分布逐渐变为随机分布,这种变化是可能是由于种子的散布与萌发、微地形变化、光照及水分与土壤等因素的共同作用而造成的。

3.3.2 种群分布与环境的相关分析

从表 4 可以看出 4 个环境因子变量与样方内秃杉分布密度的相关结果,秃杉种群的分布多度与海拔及坡向呈显著正相关($P<0.05$),这说明秃杉较适宜于一定海拔高度的阴坡与半阴坡的生境。在雷公山自然保护区,秃杉分布的海拔高度为 800—1300 m,秃杉对此生境和选择说明其具有喜湿凉的生活特性;秃杉的分布对光照条件较弱的坡向选择说明,秃杉种群具有耐阴性。阳坡光照过强会导致水分散失剧烈,影响其对生境湿度的要求,故秃杉多分布于阴坡及半阴坡的东南坡,西南及正南坡未见有秃杉的分布。因此,秃杉分布的聚集程度主要受水分、温度及光照的综合影响,湿凉向阴的区域是秃杉种群生存的适宜环境。

表 4 雷公山秃杉的个体数量与环境因子之间的相关性

Table 4 Correlation analysis between individual numbers of *Taiwania flousiana* population and its environmental factors

项目 Item	海拔 Altitude	坡向 Slope direction	坡度 Slope gradient	坡位 Slope position
相关系数 correlation coefficient (R^2)	0.3359 *	0.3687 *	-0.1658	0.1429
双尾检验概率 2-tailed Sig.	0.034	0.025	0.289	0.367

* $P<0.05$

综合上述,环境因素与生物因素的综合作用导致秃杉种群表现出的分布特征。在湿凉向阴的环境中,当秃杉群落中的种间竞争较弱时,其种群的聚集程度较高;在不同的发育阶段,秃杉种群分布格局动态变化,受种内竞争的影响。

4 讨论

(1) 秃杉的大小级结构呈现幼老龄个体数量少,中龄个体数量多的特征,表明种群呈现衰退趋势^[24-25]。秃杉自身的生物学特性及环境因素是形成这种现象的主要原因。在雷公山,秃杉主要以斑块状星散地分布于东南面斜坡中部 800—1300 m 之间的沟谷两侧,分布面积狭小,种群变小,种子更新困难、缺乏无性繁殖、容易造成近亲繁殖,增加遗传漂变的机率,影响种群的生存能力;自然与人为因素使秃杉种群年龄不连续,树龄老化,数量有限,不利于雄、雌花序的授粉,加之头年 3—4 月开花至第 2 年 10—11 月结果,其间经历雨水多、酷热、严冬等逆境而造成结实率低,自然条件下可供更新的有效种子数量少;秃杉种子体积较小,所含的营养物质少,当种子成熟自然落下时“一不小心”落进缝裂等土壤较深的不利生境中而“不能自拔”,而造成秃杉种子发芽困难,种子成苗率低。因此,秃杉种群的衰退与其自身适应能力差有关。

(2) 秃杉种群存活曲线接近 Deevey II 型,秃杉种群死亡率呈现一种增长的趋势,期间出现 2 个高峰,一个出现在第 6 龄级阶段,它与种内与种间竞争有关;另一个出现在第 12 龄级阶段,它与秃杉的生理衰老有关;期望寿命单调下降。这是一种前期薄弱,后期衰退的濒危植物种群的一种现象,因此,提高结实量,提高种子向幼苗的转化率是秃杉种群恢复的关键环节。

(3) 秃杉种群在不同发育阶段的空间分布格局与其生物学和生态学特性密切相关,同时受群落小环境的影响。秃杉种群分布格局总体为聚集分布,由于植物固着生长的特征,种子成熟受重力影响掉落在母树周围,秃杉种群在幼龄期为聚集分布;另外由于生境的空间异质性,如地面的起伏不平,凹处易集聚种子,土层也较厚,形成不同规模和尺度的聚集分布;秃杉个体为了寻求光照支持,在林窗内和林窗边缘形成异龄聚集;地表岩石裸露与土壤侵蚀的斑块,在斑块之间凹处积聚的土壤有利于秃杉的生长,形成聚集分布格局。幼龄期个体向中龄期个体的发展过程中,由于空间竞争和营养竞争出现自疏、它疏现象,导致种群的聚集程度下降,变为随机分布。老龄期个体由于所需空间、光照和营养均多于中年期个体,竞争更加激烈,再加上其接近该物种的实际寿命,个体较少,因此,分布格局为随机分布^[26-27]。

秃杉的分布格局受群落的组成和结构的影响,作为共优种,多生长于阔叶林或针阔混交林,幼龄树生长空

间小,采光不足,导致幼龄树死亡率较高;由于箭竹地下根系盘根错节,地上成丛生长,影响到秃杉的更新与生长,最终使秃杉难以生存。

(4)雷公山秃杉种群不仅亟须有效保护,更需要采取一定的技术措施促进种群的延续与发展。首先,由于雷公山秃杉数量稀少,种群的生存与发展难以保证,天然条件下更新繁殖率低,因此,突破繁殖技术难关,加强秃杉种子繁殖和营养繁殖的研究,为实现迁地保护,大面积营造秃杉人工林,提供充足的种苗保障;由于秃杉多与阔叶林混合生长,且阔叶树种的荫蔽能力强,不利于秃杉的天然更新,此外,盖度偏高的灌木层如箭竹也严重影响秃杉种子的萌发和幼苗的生长。因此,对种群的演替进程进行适度的人为干扰,在郁闭度大的林分中,对阔叶树种进行适当的疏伐,使其郁闭度保持在0.4—0.5,这样可以促进秃杉更新,达到“伐阔保针”的目的。

References:

- [1] Zhang F, Shangguan T L. Population patterns of dominant species in an *Elaeagnus mollis* communities, Shanxi. *Acta Phytocologica Sinica*, 2000, 24(5): 590-594.
- [2] Yang N, Zou D SH, Li J G, Chen S B, Chen Z Y. Niche dynamics of main plant communities in natural restoration succession process on sloping land with purple soils in Hengyang Basin. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2010, 30(4): 87-93.
- [3] Yang N, Peng W X, Zou D S, Lin Z G. Eco-economic Vegetation Restoration Model of Soil and Water Conservation in the Karst Mountainous Earth-rock Areas in Guizhou. *China Population Resources and Environment*, 2011, 21(S1): 474-477.
- [4] Wang B C, Li M G, Peng S L. *Plant Population*. Guangzhou: Guangdong High Education Press, 1995: 92-105.
- [5] Zhang H F, Li X. Spatial distribution pattern of *Populus euphratica* populations in the lower reaches of Tarim River. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2006, 26(10): 2125-2130.
- [6] Li X C, Huang L B, Zhou Y S, Li X P, Gu B X, Wang S H. A study on *Taiwania flousiana*'s ecoadaptation and introduction potentiality. *Forest Research*, 1993, 6(3): 42-48.
- [7] Qiu X Q, Wu SH Y, Long K H. Investigation of *Taiwania flousiana* forests of Leigong Mountain preserve in Guizhou province. *Acta Phytocologica Sinica*, 1984, 8(4): 264-278.
- [8] Yu Y F. Taxonomic studies on the family *Taxodiaceae*. *Bulletin of Botanical Research*, 1994, (4): 369-384.
- [9] Hong J S, You Y T, Shi X B, Wu S X, You Y T. Study on cultivation and introduction of *Taiwania flousiana*. *Forest Science and Technology*, 1997, (1): 5-12.
- [10] Wang Z C. Study on natural grow and introduction cultivation of *Taiwania flousiana* in Guizhou Province. *Guizhou Forestry Science and Technology*, 1995, 23(1): 8-13.
- [11] Su J R, Zhang Z J, Deng J, Chen Z Y. Population structure and life table of the endangered population of *Taxus yunnanensis*. *Forest Research*, 2005, 18(6): 651-656.
- [12] Huang S X, Zhang Y, Zhao X H. Spatial distribution pattern of *Pinus tabulaeformis* population in Taiyue Mountain, Shanxi Province. *Journal of Fujian College of Forestry*, 2009, 29(3): 269-273.
- [13] Su W, Yue Y J, Yu X X. Community structure and population spatial pattern of *Pinus tabulaeformis* natural forests. *Journal of Northeast Forestry University*, 2009, 37(3): 18-20.
- [14] Liu Z H. A primary study on the structure and dynamics of *Castanopsis fargesii* population on Jinyun Mountain, Sichuan Province. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 1999, 14(2): 120-128.
- [15] Yang N, Zou D SH, Li J G. Spatial pattern of main populations of the natural recovery shrub stage community in sloping-land with purple soils in Hengyang. *Ecology and Environment*, 2009, 18(3): 996-1001.
- [16] Kershaw K A. An empirical approach to the estimation of pattern intensity from density and cover data. *Ecology*, 1970, 51(4): 729-734.
- [17] Yang H, Lou A R, Gao Y J, Song H T. Life history characteristics and spatial distribution of the *Betula platyphylla* population in the Dongling mountain region, Beijing, China. *Journal of Plant Ecology*, 2007, 31(2): 272-282.
- [18] Rosner B. *Fundamentals of Biostatistics*. 5th ed. Sun S G, Translated. Beijing: Science Press, 2004: 412-437.
- [19] Zhang J T. *Numerical Ecology*. Beijing: Science Press, 2004: 245-251.
- [20] Bi X L, Hong W, Wu C Z, Yan S J, Lan B. Population statistics analysis of *pinus taiwanensis*. *Scientia Silvae Sinicae*, 2002, 38(1): 62-67.
- [21] Jiang H. *Picea asperata* Population Ecology. Beijing: Chinese Forestry Press, 1992: 1-7.
- [22] Yang N, Zou D S, Li J G. The vegetation restoration mode construction in sloping-land with purple soils in Hengyang basin. *Pratacultural Science*,

2010, 27(10): 10-16.

- [23] Yang N, Zou D S, Li J G. On biomass properties of the main plant communities in sloping-land with purple soils in Hengyang basin. Journal of Hunan Agricultural University: Natural Science Edition, 2009, 35(5): 466-469.
- [24] Xie Z Q, Chen W L. The present status and the future of *Cathaya argyrophylla* forest. Chinese Biodiversity, 1994, 2(1): 11-15.
- [25] He Sh A, Hao R M. Study on the natural population dynamics and the endangering habitat of *Liriodendron chinense* in China. Acta Phytocologica Sinica, 1999, 23(1): 87-95.
- [26] 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.
- [27] Xie Z Q, Chen W L, Lu P, Hu D. The demography and age structure of the endangered plant population of *Cathaya argyrophylla*. Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(4): 523-528.

参考文献:

- [1] 张峰, 上官铁梁. 山西翅果油树群落优势种群分布格局研究. 植物生态学报, 2000, 24(5): 590-594.
- [2] 杨宁, 邹冬生, 李建国, 陈盛彬, 陈志阳. 衡阳盆地紫色土丘陵坡地主要植物群落自然恢复演替进程中种群生态位动态. 水土保持通报, 2010, 30(4): 87-93.
- [3] 杨宁, 彭晚霞, 邹冬生, 林仲桂. 贵州喀斯特土石山区水土保持生态经济型植被恢复模式. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(S1): 474-477.
- [4] 王伯荪, 李鸣光, 彭少麟. 植物种群学. 广州: 广东高等教育出版社, 1995: 92-105.
- [5] 张绘芳, 李霞. 塔里木河下游胡杨种群空间分布格局分析. 西北植物学报, 2006, 26(10): 2125-2130.
- [6] 李晓储, 黄利斌, 周玉山, 李锡鹏, 顾炳贤, 王生华. 秃杉引种潜力与生态适应性研究. 林业科学研究, 1993, 6(3): 42-48.
- [7] 邱显权, 吴述渊, 龙开湖. 贵州省雷公山秃杉林的初步研究. 植物生态与地植物学丛刊, 1984, 8(4): 264-278.
- [8] 于永福. 杉科植物的分类学研究. 植物研究, 1994, (4): 369-384.
- [9] 洪菊生, 游应添, 施行博, 吴士侠, 游应添. 秃杉的引种与栽培研究. 林业科技通讯, 1997, (1): 5-12.
- [10] 王孜昌. 秃杉在贵州省自然生长与引种栽培研究. 贵州林业科技, 1995, 23(1): 8-13.
- [11] 苏建荣, 张志钧, 邓疆, 陈智勇. 云南红豆杉种群结构与生命表分析. 林业科学研究, 2005, 18(6): 651-656.
- [12] 黄三祥, 张赞, 赵秀海. 山西太岳山油松种群的空间分布格局. 福建林学院学报, 2009, 29(3): 269-273.
- [13] 苏薇, 岳永杰, 余新晓. 油松天然林群落结构及种群空间分布格局. 东北林业大学学报, 2009, 37(3): 18-20.
- [14] 刘智慧. 四川省缙云山栲树种群结构和动态的初步研究. 植物生态学与地植物学报, 1999, 14(2): 120-128.
- [15] 杨宁, 邹冬生, 李建国. 衡阳盆地紫色土丘陵坡地自然恢复灌丛阶段主要种群空间分布格局. 生态环境学报, 2009, 18(3): 996-1001.
- [17] 杨慧, 娄安如, 高益军, 宋宏涛. 北京东灵山地区白桦种群生活史特征与空间分布格局. 植物生态学报, 2007, 31(2): 272-282.
- [19] 张金屯. 数量生态学. 北京: 科学出版社, 2004: 245-251.
- [20] 毕晓丽, 洪伟, 吴承祯, 闫淑君, 蓝斌. 黄山松种群统计分析. 林业科学, 2002, 38(1): 62-67.
- [21] 江洪. 云杉种群生态学. 北京: 中国林业出版社, 1992: 1-7.
- [22] 杨宁, 邹冬生, 李建国. 衡阳盆地紫色土丘陵坡地植被恢复模式建设. 草业科学, 2010, 27(10): 10-16.
- [23] 杨宁, 邹冬生, 李建国. 衡阳盆地紫色土丘陵坡地主要植物群落生物量特征. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2009, 35(5): 466-469.
- [24] 谢宗强, 陈伟烈. 中国特有植物银杉林的现状和未来. 生物多样性, 1994, 2(1): 11-15.
- [25] 贺善安, 郝日明. 中国鹅掌楸自然种群动态及其致危生境的研究. 植物生态学报, 1999, 23(1): 87-95.
- [26] 张文辉, 祖元刚, 刘国杉. 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.
- [27] 谢宗强, 陈伟烈, 路鹏, 胡东. 濒危植物银杉的种群统计与年龄结构. 生态学报, 1999, 19(4): 523-528

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 7 April, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Theoretical framework and key techniques of urban ecological landscape research	SUN Ranhao, XU Zhongliang, CHEN Liding, et al (1979)
Response of sinapate esters in <i>Arabidopsis thaliana</i> to UV-B radiation	LI Min, WANG Yin, MU Xiaofei, et al (1987)
Biosorption of lead (II) and cadmium (II) from aqueous solution by <i>Chlorella pyrenoidsa</i> and its influential factors	JIANG Jing, LI Liang, LI Haipeng, et al (1995)
Response of pear jujube trees on fruit development period to different soil water potential levels	HAN Lixin, WANG Youke, ZHANG Linlin (2004)
An approach for analyzing resources metabolism of industrial ecosystems	SHI Xiaoqing, YANG Jianxin, WANG Rusong, et al (2012)
Establishment of environmental sustainability assessment indicators based on material flow and ecological footprint model in Tongling City of Anhui Province	ZHAO Huihui, WANG Yuan, GU Xueming, et al (2025)
Health status evaluation of the farmland supply function at county level in Hebei Province	BAI Linhong, WANG Wei, ZHANG Yu (2033)
Inhibition effects and mechanisms of the endophytic fungus <i>Chaetomium globosum</i> L18 from <i>Curcuma wenyujin</i>	WANG Yanhong, WU Xiaomin, ZHU Yanping, et al (2040)
Water use of walnut-wheat intercropping system based on stable carbon isotope technique in the low hilly area of North China	HE Chunxia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (2047)
Spatial heterogeneity of soil microbial biomass carbon, nitrogen, and phosphorus in sloping farmland in a karst region on the Yunnan-Guizhou Plateau	ZHANG Liqing, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2056)
Relationship among rice root aerenchyma, root radial oxygen loss and rhizosphere nitrification	LI Yilin (2066)
Effects of <i>Eriosoma lanigerum</i> (Hausmann) on physiological indices of different apple cultivars	WANG Xicun, YU Yi, ZHOU Hongxu, et al (2075)
Effects of P-efficient transgenic soybean on rhizosphere microbial community	JIN Lingbo, ZHOU Feng, YAO Juan, et al (2082)
Detecting major phenological stages of rice using MODIS-EVI data and Symlet11 wavelet in Northeast China	XU Yanyan, ZHANG Jiahua, YANG Limin (2091)
Cropping system optimization based on the comparative analysis of precipitation utilization in Sichuan Province	WANG Mingtian, QU Huihui, YANG Xiaoguang, et al (2099)
The impacts of global climatic change on chilling damage distributions of maize in Northeast China	GAO Xiaorong, WANG Chunyi, ZHANG Jiquan (2110)
Effect of fertilization on ammonia volatilization from paddy fields in Chao Lake Basin	ZHU Xiaohong, MA Zhongwen, MA Youhua, et al (2119)
Effects of arbuscular mycorrhizal fungus on net ion fluxes in the roots of trifoliate orange (<i>Poncirus trifoliata</i>) and mineral nutrition in seedlings under zinc contamination	XIAO Jiaxin, YANG Hui, ZHANG Shaoling (2127)
The effect of red:far red ratio on the stomata characters and stomata conductance of <i>Chrysanthemum</i> leaves	YANG Zaiqiang, ZHANG Jing, JIANG Xiaodong, et al (2135)
Dynamic characteristics of litterfall and nutrient return of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia, China	LIU Lei, SHEN Guozhen, CHEN Fangqing, et al (2142)
Aboveground litter contribution to soil respiration in a black locust plantation in the Loess Plateau	ZHOU Xiaogang, GUO Shenli, CHE Shengguo, et al (2150)
Life history and spatial distribution of a <i>Taiwania flousiana</i> population in Leigong Mountain, Guizhou Province, China	CHEN Zhiyang, YANG Ning, YAO Xianming, et al (2158)
The feasibility of using LAS measurements of the turbulence structure parameters of temperature above a forest canopy	ZHENG Ning, ZHANG Jinsong, MENG Ping, et al (2166)
Spatial distribution of vegetation and carbon density in Jinyun Mountain Nature Reserve based on RS/GIS	XU Shaojun, ZENG Bo, SU Xiaolei, et al (2174)
Early nitrogen deposition effects on CO ₂ efflux from a cold-temperate coniferous forest soil	WENDU Runa, FANG Huajun, YU Guirui, et al (2185)
Epilithic diatom assemblages distribution in Gui River basin, in relation to chemical and physiographical factors	DENG Peiyan, LEI Yuanda, LIU Wei, et al (2196)
Acute stress caused by sand discharging on Yellow River Carp (<i>Cyprinus carpio</i>) in Xiaolangdi Reservoir	SUN Luyin, Baiyinbaoligao, NIU Cuijuan, et al (2204)
Environmental cost of pond aquaculture in Shanghai: an empirical analysis based on double-bounded dichotomous CVM method	TANG Keyong, YANG Zhengyong, YANG Huaiyu, et al (2212)
Host searching behaviour of <i>Apanteles cypris</i> Nixon (Hymenoptera: Braconidae) ...	ZHOU Hui, ZHANG Yang, WU Weijian (2223)
The effect of hedgerows on the distribution of <i>Harmonia axyridis</i> Pallas in agroforestry systems	YAN Fei, ZHOU Zaibao, WANG Shuo, et al (2230)
Induction of early resistance response to <i>Alternaria alternata</i> f. sp. <i>mali</i> in apple leaves with apple and chitosan fermentation broth ...	WANG Rongjuan, YAO Yuncong, QI Yaping, et al (2239)
Review and Monograph	
Research into vulnerability assessment for coastal zones in the context of climate change	WANG Ning, ZHANG Liquan, YUAN Lin, et al (2248)
Introduction and ecological effects of an exotic mangrove species <i>Sonneratia apetala</i>	PENG Yougui, XU Zhengchun, LIU Minchao (2259)
Discussion	
Degradation of organic contaminants with biological aerobic fermentation in sewage sludge dewatering and its influencing factors	YU Jie, ZHENG Guodi, GAO Ding, et al (2271)
Remediation of soils contaminated with polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) using four greening tree species	YAN Wende, LIANG Xiaocui, ZHENG Wei, et al (2279)
Scientific Note	
Diversity of endophytic fungi from six dominant plant species in a Pb-Zn mine wasteland in China	LI Dongwei, XU Hongmei, MEI Tao, et al (2288)
Effects of <i>Meloidogyne incognita</i> on scavenging system of reactive oxygen species in tomato seedlings grafted with different rootstocks ...	LIANG Peng, CHEN Zhende, LUO Qingxi (2294)

《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 7 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 7 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