

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 11 期 Vol.32 No.11 **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 11 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

黑龙江省大兴安岭林区火烧迹地森林更新及其影响因子·····	蔡文华, 杨健, 刘志华, 等 (3303)
基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价·····	杨柳, 李泳慧, 王俊才, 等 (3313)
川西亚高山暗针叶林不同恢复阶段红桦、岷江冷杉土壤种子损耗特征·····	马姜明, 刘世荣, 史作民, 等 (3323)
老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析·····	丁胜建, 张春雨, 夏富才, 等 (3334)
内蒙古高原荒漠区四种锦鸡儿属植物灌丛沙包形态和固沙能力比较·····	张媛媛, 马成仓, 韩磊, 等 (3343)
角果藜的生长动态及其生殖配置·····	全杜娟, 魏岩, 周晓青, 等 (3352)
基于 MODIS/NDVI 时间序列的森林灾害快速评估方法——以贵州省为例·····	侍昊, 王笑, 薛建辉, 等 (3359)
祁连山西水林区土壤阳离子交换量及盐基离子的剖面分布·····	姜林, 耿增超, 李珊珊, 等 (3368)
水分和温度对春玉米出苗速度和出苗率的影响·····	马树庆, 王琪, 吕厚荃, 等 (3378)
施氮对水稻土 N ₂ O 释放及反硝化功能基因 (<i>narG/nosZ</i>) 丰度的影响·····	郑燕, 侯海军, 秦红灵, 等 (3386)
中国西北潜在蒸散时空演变特征及其定量化成因·····	曹雯, 申双和, 段春峰 (3394)
基于植被降水利用效率和 NDVI 的黄河上游地区生态退化研究·····	杜加强, 舒俭民, 张林波 (3404)
异速生长法计算秋茄红树林生物量·····	金川, 王金旺, 郑坚, 等 (3414)
乌兰布和沙漠沙蒿与油蒿群落的物种组成与数量特征·····	马全林, 郑庆中, 贾举杰, 等 (3423)
不同光强下单叶蔓荆的光合蒸腾与离子累积的关系·····	张萍, 刘林德, 柏新富, 等 (3432)
浑善达克沙地沙地榆种子雨的扩散规律·····	谷伟, 岳永杰, 李钢铁, 等 (3440)
咸水灌溉对沙土土壤盐分和胡杨生理生长的影响·····	何新林, 陈书飞, 王振华, 等 (3449)
外源 NO 对 NaHCO ₃ 胁迫下黑麦草幼苗光合生理响应的调节·····	刘建新, 王金成, 王鑫, 等 (3460)
呼伦贝尔草地植物群落与土壤化学计量学特征沿经度梯度变化·····	丁小慧, 罗淑政, 刘金巍, 等 (3467)
海南稻田土壤硒与重金属的含量、分布及其安全性·····	耿建梅, 王文斌, 温翠萍, 等 (3477)
江苏省典型区农田土壤及小麦中重金属含量与评价·····	陈京都, 戴其根, 许学宏, 等 (3487)
应用稳定同位素研究广西东方洞食物网结构和营养级关系·····	黎道洪, 苏晓梅 (3497)
利用细胞计数手段和 DGGE 技术分析松花江干流部分地区的细菌种群多样性·····	屠腾, 李蕾, 毛冠男, 等 (3505)
中国主要入海河流域河口集水区划分与分类·····	黄金良, 李青生, 黄玲, 等 (3516)
基于 VGPM 模型和 MODIS 数据估算梅梁湾浮游植物初级生产力·····	殷燕, 张运林, 时志强, 等 (3528)
低温胁迫下虎纹蛙的生存力及免疫和抗氧化能力·····	王娜, 邵晨, 颜志刚, 等 (3538)
转 Bt 水稻土壤跳虫群落组成及其数量变化·····	祝向钰, 李志毅, 常亮, 等 (3546)
尼日利亚非洲蜂和安徽意大利蜜蜂及其杂交二代形态特征与微卫星 DNA 遗传多样性·····	余林生, 解文飞, 巫厚长, 等 (3555)
北京城市公园湿地休憩功能的利用及其社会人口学因素·····	李芬, 孙然好, 陈利顶 (3565)
基于协整理论的经济增长与生态环境变化关系分析——以重庆市渝东南地区为例·····	肖强, 胡聃, 肖洋, 等 (3577)
感潮河网区环境合作博弈模型及实证·····	刘红刚, 陈新庚, 彭晓春 (3586)
专论与综述	
国内外生态效率核算方法及其应用研究述评·····	尹科, 王如松, 周传斌, 等 (3595)
全球变化背景下的现代生态学——第六届现代生态学讲座纪要·····	温腾, 徐德琳, 徐驰, 等 (3606)
问题讨论	
流域环境要素空间尺度特征及其与水生态分区尺度的关系——以辽河流域为例·····	刘星才, 徐宗学, 张淑荣, 等 (3613)
研究简报	
不同光照强度对兴安落叶松几种主要防御蛋白活力的影响·····	鲁艺芳, 石蕾, 严善春 (3621)
木荷种源间光合作用参数分析·····	熊彩云, 曾伟, 肖复明, 等 (3628)
基于能值分析的深圳市三个小型农业生态系统研究·····	杨卓翔, 高阳, 赵志强, 等 (3635)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 342 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2012-06



封面图说: 爬升樟木沟的暖湿气流——樟木沟是中国境内横切喜马拉雅山脉南坡的几条著名大沟之一,它位于我国西藏聂拉木县境内的希夏邦马峰东南侧,延绵 5400km 的 318 国道在此沟中到达其最西头。从聂拉木县城到樟木口岸短短的 30km 中,海拔从 4000m 急降至 2000m。在大气环流作用下,来自印度洋的暖湿气流沿樟木沟不断费力地往上爬升,给该沟谷留下了大量的降水。尤其是在雨季到来时,山间到处是流水及悬垂崖头的瀑布,翠峰直插云霄,森林茂密苍郁,溪流碧澄清澈,奇花异葩繁多,风景美如画卷,气势壮丽非凡。

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

DOI: 10.5846/stxb201105250688

丁胜建,张春雨,夏富才,赵秀海,倪瑞强,范娟,何怀江. 老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析. 生态学报, 2012, 32(11): 3334-3342.
Ding S J, Zhang C Y, Xia F C, Zhao X H, Ni R Q, Fan J, He H J. Habitat associations of understorey species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(11): 3334-3342.

老龄阔叶红松林下层木空间分布的生境关联分析

丁胜建¹, 张春雨¹, 夏富才^{1,2}, 赵秀海^{1,*}, 倪瑞强¹, 范娟¹, 何怀江¹

(1. 北京林业大学森林培育与保护教育部重点实验室, 北京 100083; 2. 北华大学林学院, 吉林 132013)

摘要: 基于老龄阔叶红松林 30 hm² (500 m×600 m) 固定监测样地, 分析了老龄阔叶红松林下层 (1 cm≤DBH≤5 cm) 14 个主要树种 (个体数>300) 的空间分布与空间距离、地形因子及郁闭度之间关联性。结果显示: (1) 14 个种都显示出了聚集分布, 绝大多数种呈现出了在小距离级上呈显著正空间自相关大距离级上呈现显著负空间自相关的趋势。 (2) 6 个种显示与空间距离显著相关即存在本身的聚集效应, 占被检验种的 42.86%; 7 个种显示出与环境 (地形、郁闭度) 有显著相关性即存在显著的生境偏好, 占 50%。个体数大于 1000 的 7 优势种中有 5 个种空间分布与生境显著相关, 5 个种与空间距离显著相关。 (3) 色木槭、千金榆显示出了对低海拔、向阳坡生境类型的偏好, 簇毛槭、花楷槭、毛榛显示出对高海拔、坡度陡、向阴坡生境类型的偏好。这表明, 老龄阔叶红松林下层木多数树种为聚集分布, 其聚集性的空间分布受生境及自身聚集效应的重要影响。多个树种对同种生境的偏好体现了植物利用资源的相似性和生态位的重叠, 对不同生境的偏好体现了物种间的排斥性, 这是长期适应不同微环境, 利用不同空间资源的结果, 也是生态位分离的反映。

关键词: 空间分布; 地形; 生境异质; 生境偏好

Habitat associations of understorey species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (*Pinus koraiensis*) forest

DING Shengjian¹, ZHANG Chunyu¹, XIA Fucan^{1,2}, ZHAO Xiuhai^{1,*}, NI Ruiqiang¹, FAN Juan¹, HE Huaijiang¹

1 The Key Laboratory for Silviculture and Conservation of Ministry of Education, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

2 Forestry College of Beihua University, Jilin 132013, China

Abstract: Recent studies have documented local-scale associations between tree species and habitat factors in forests worldwide. A 30 hm² plot (500 m×600 m) was established in the Jiaohe Forestry Experimental Zone Bureau of Jilin province to study the long term dynamics of a broad-leaved Korean pine mixed forest. Within the plot, all free-standing trees and shrubs with a DBH of at least 1cm were identified, tagged and mapped, and their geographic coordinates recorded following a standard field protocol. One objective was to study mechanisms of the formation of spatial distribution patterns of understorey tree species and to explore how environmental gradients influence these patterns in a broad-leaved Korean pine mixed forest. Based on the data from the 30 hm² plot, all trees with a DBH not greater than 5cm were defined as understorey trees. Only species represented by at least 300 individuals were chosen. 14 tree species representing 94.32% of all understorey trees satisfied this condition. First, the spatial patterns of the 14 selected species were analysed at scale of 20m×20m cells, using Morisita's index (I_s). The results indicate that all 14 species show a clumped spatial distribution. Second, the spatial autocorrelations of the 14 species were studied at 15 distance classes using the spatial autocorrelation coefficient Moran's I . The results show a significant positive correlation at small distance classes and significant negative

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项 (HJ2010-19); 国家“十二五”科技支撑项目 (2012BAC01B03); 国家林业公益性行业科研专项项目 (201104009); 北京市共建项目专项 (2011)

收稿日期: 2011-05-25; **修订日期:** 2011-09-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhaoxh@bjfu.edu.cn

correlations at large spatial distance classes in most species were. Third, the partial Mantel test was used to find the relationship between the abundance of the 14 tree species and certain habitat factors. The results show a significant correlation with spatial distances for 6 species which represent 42.86% of the tested species. 7 species (50%) were significantly correlated with habitat factors. 4 species showed neither a significant correlation with spatial distance nor with habitat factors. 3 species showed a significant correlation with both distance and at least one habitat factor. 5 of 7 dominant species with more than 1000 individuals had significant correlation with spatial distances. 5 species had significant correlation with habitat. The partial Mantel tests suggested that the mass effect from neighboring quadrats and habitat association could explain most of the tree species abundance distribution in a quadrat in the broad-leaved Korean pine forest community. At last, the Pearson correlation coefficient between species abundance in a quadrat and microtopographic attributes of the quadrat was calculated to test the effects of microtopography (elevation, slope, aspect, convexity) on species distribution. The results showed that *Acer mono*, *Carpinus cordata* preferred lower elevations and southern aspects. *Acer barbinerve*, *Acer ukurunduense* and *Corylus mandshurica* preferred higher elevations, steeper slopes and north-facing aspects. This result shows obvious habitat niche specialization and confirms niche theory. It is concluded that habitat niche specialization and mass effect are important factors in structuring distributions of understorey tree species in a broad-leaved Korean pine forest community. Many tree species prefer similar habitats which indicates similar resource usage and niche overlapping. Other tree species prefer specific habitat indicating repellency between different species, which may be the result of long term adaptation to different habitats, different resource usage, and which may explain the niche separation.

Key Words: spatial distribution; topography; environmental heterogeneity; habitat preference

植物水平空间分布格局是指构成植物群落的植物个体在水平空间上的配置方式。在群落中几乎所有树种的空间分布格局均为聚集分布而非均匀分布和随机分布^[1-2]。由于物种分布同时受多种因素的影响,所以确定引起物种聚集分布的原因并不单一。例如树种的繁殖特性及种子传播方式^[3],生态位的特化,种间竞争或者天敌及历史因素等。如果物种具有特化的生态位,则该物种在适生环境中密度会较高,在生态位边缘密度会相对较低,在不适生环境中密度可能为零。物种与生境间的相关性在生物多样性较高的热带森林中普遍存在^[4-7]。植物种群的空间分布特征以及环境因子对植物种群空间分布的影响,已成为生态学者广泛关注的问题^[8]。近来在全球范围基于固定监测大样地,一些研究发现物种与地形和土壤环境的因子间在小尺度上存在关联^[4-5,9-12]。孙伟中等^[13]及侯向阳等^[14]分别对长白山原始红松阔叶林主要树种的空间分布格局进行了研究。Hao 等^[15]及 Wang 等^[16]以大面积固定样地为基础,对原始红松阔叶林中优势树种不同生长阶段的空间格局及空间关系进行了分析。在全球范围内,针对下层木也有学者进行了相关研究。Takeshita 等在日本温带森林通过设立 66 个非连续临时样方,分析了光照、地形等生境变量对下层木分布的影响^[17]。Närhi 等在芬兰拉普兰德泰加林 119 个点进行了取样调查,分析了土壤养分对下层木树种组成的影响^[18]。Chávez 等在加拿大西部北温带成熟混交林通过设置 10 对监测样方,分析了下层植被不同生长型间相互影响^[19]。

阔叶红松林树种空间分布格局的形成机制仍不清楚,树种的空间自相关性及其环境因子在树种空间结构形成过程中所起的作用,不同树种对不同环境的偏好等仍需做进一步的探讨。本文检验了环境变量(坡度、坡向、凸凹度、海拔、郁闭度)及 14 个树种的空间自相关格局,探讨了环境因子与下层木空间分布之间的关系。

1 研究区概况

研究点设置于吉林省蛟河林业实验区管理局,海拔 890 m,地理坐标为东经 127°35′—127°51′,北纬 43°51′—44°05′,属长白山系张广才岭山脉。该区属大陆季风性气候,年平均气温为 3.5℃,年平均降水量在 700—800 mm 之间,多集中在 6—8 月份,土壤为山地暗棕色森林土,土层厚度 20—80 cm。地势复杂,坡度最大达 40°。林分为受人为干扰较小的老龄阔叶红松林,林龄 200 年以上。主要树种有红松(*Pinus koraiensis*)、鱼鳞松(*Picea jezoensis*)、沙松(*Abies holophylla*)、臭松(*Abies nephrolepis*)、胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、色木槭

(*Acer mono*)、紫椴(*Tilia amurensis*)、枫桦(*Betula costata*)、白牛槭(*Acer mandshurica*)、千金榆(*Carpinus cordata*)等。主要下木有暴马丁香(*Syringa reticulata* var. *mandshurica*)、毛榛子(*Corylus mandshurica*)、东北山梅花(*Philadelphus schrenkii*)、东北溲苏(*Deutzia amurensis*)、刺五加(*Eleutherococcus senticosus*)等。主要草本有苔草(*Carex* spp.)、蚊子草(*Filipendula* sp.)、山茄子(*Brachybotrys paridiformis*)、小叶芹(*Aegopodium alpestre*)和蕨类(*Adiantum* spp.)等^[20]。

2 研究方法

2.1 样地建立

于2010年5月建立30 hm²(500 m×600 m)固定样地,用全站仪将其进一步划分为750个20 m×20 m的连续样方,每隔20 m设一基点,并记录每一点的高差,最后转化为高程,用10 cm×10 cm×70 cm的大理石柱标记。

以20 m×20 m样方为单位,将其进一步划分为16个5 m×5 m的小样方。将样地内所有胸径DBH≥1 cm的乔木用铝合金号牌编号,并记录种名、胸径、树高、冠幅(东西冠幅长、南北冠幅长)、枝下高及其所处坐标。坐标测定方法为测量植株到其所在5 m×5 m小样方4个边的垂距,之后转换为样地内的坐标。记录每一个5 m×5 m小样方左下角点正上方是否有林冠覆盖,用以统计每个20 m×20 m样方的郁闭度。整个样地内调查到54个树种,共计47284株乔木。

2.2 环境因子测定

样方地形变量(坡度、坡向、凸凹度、海拔)的计算,参考Harms等^[5]的计算方法。海拔为样方4个顶点海拔值的平均值;凸凹度是样方的海拔减去与该样方相邻的8个样方海拔的平均值,处于边缘的样方的凸度为样方中心的海拔值减去4个顶点海拔的平均值;样方的坡度值的计算是,从样方4个顶点取3个顶点组成一个平面,4个顶点可以组合成4个不同的平面,这4个平面与样方投影面的夹角的平均值就是样方的坡度值;坡向角度的计算同坡度的计算方法类似,正南坡向定义为0°,按顺时针方向正西、正北、正东依次为90°、180°、270°,然后对角度对应的弧度取cos值作为坡向的量化值;郁闭度为20 m×20 m样方内,16个5 m×5 m小样方左下角点中,正上方有林冠覆盖的点数与16的百分比。

2.3 分析方法

2.3.1 Morisita 分布指数(I_δ)

$$I_\delta = n \sum_{i=1}^n x_i(x_i - 1) / (N(N - 1))$$

式中, n 是格子的数目, x_i 是第*i*个格子中个体的数目, N 是总个体数。如果个体是随机分布则 $I_\delta = 1$;如果个体是聚集分布则 $I_\delta > 1$;如果个体是均匀分布则 $I_\delta < 1$ ^[21]。

聚集强度用 I_δ 值来判定。值越大,聚集强度越大。偏离随机的意义用*F*统计来检验,分子自由度为 q ,分母的自由度为 ∞ 。Morisita的分布指数的最大优点是不受样方大小的影响,求出的值可表明个体在空间散布的非随机程度。因而,可直接互相比对^[22]。

2.3.2 空间自相关分析

局部Moran's *I*统计量是一种常用的检验变量局部空间相关性的统计量。空间自相关系数Moran's *I*可用如下公式计算:

$$I(d) = \left[n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x}) \right] / \left[\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} \right]$$

在环境变量空间自相关分析中, x_i 和 x_j 分别为环境因子*x*在配对空间单元*i*和*j*上的观测值, $\bar{x}$ 为环境因子在*n*个空间单元上含量的平均值。在植物种群空间自相关分析中, x_i 和 x_j 分别为种群在配对空间单元*i*和*j*上的株数, $\bar{x}$ 为种群在*n*个空间单元上的株数平均值。 w_{ij} 为根据空间单元*i*和*j*的相对位置计算的二元相邻权重。当空间单元*i*和*j*位于相同的行或列,并且它们之间的距离等于*d*,即空间单元*i*和*j*相连接时, $w_{ij} = 1$;

否则, $w_{ij} = 0$ 。

Moran's I 值通常介于 1 与 -1 之间, 当 Moran's I 值为 0 时, 表示环境因子或植物种群不存在空间自相关, 当具有较高的空间自相关时, 其值接近于 1 或 -1。正空间自相关代表相邻空间具有相似的特征或属性, 负空间自相关则表示相邻空间具有不同的特征或属性, 无空间自相关则表示不存在支配格局形成的特定系统结构 (即格局趋向于随机性)。Moran's I 值从 1 (正空间自相关) 向 -1 (负空间自相关) 变化, 反映了由空间相邻相似的正相关向空间相邻相异的负相关过渡。空间异质性可以导致变量在某一区域上呈正空间自相关, 而在另一区域上呈负空间自相关。显著的空间自相关暗示着一个非随机性空间分布格局, 即变量存在空间格局。显著正空间自相关代表着聚集性分布, 显著负空间自相关代表着均匀性分布格局。有关 Moran's I 的计算方法及理论解释见参考文献^[23,24]。

本文将样点间最大空间距离分为 15 段, 距离级步长设为 30 m, 除了第 15 距离级设为 420—800 m。在 15 个滞后距离级上计算 14 树种 (个体数 > 300) 的空间自相关系数 Moran's $I(d = 1, 2, \dots, 15)$, 并通过 5000 次置换检验计算 Moran's I 的显著性。

2.3.3 偏相关分析

偏相关分析方法分析多变量相关时, 有时需要分析其中某两个变量的相关关系, 但由于多个变量之间的相互作用, 难以体现出某两个变量的真实相关关系。解决这一问题的办法是控制其它变量的变化, 即在其他变量固定不变的情况下, 计算此两变量间的相关系数, 这就是偏相关分析, 经偏相关分析得出的相关系数为偏相关系数。这里用 Mantel test 和 partial Mantel test 来实现, Mantel test 用来检验两矩阵之间的相关性, partial Mantel test 用来检验去掉第 3 个矩阵 C 影响效应下矩阵 A 和矩阵 B 的相关性^[25]。

建立了地形因子、郁闭度、样方间空间距离、物种多度多个距离矩阵, 两两之间的相关性通过 Mantel test 和 partial Mantel test 实现, 地形因子距离矩阵是根据每个样方的海拔、坡度、坡向、凸凹度各特征值计算 Gower 相似系数^[26], 物种多度、郁闭度采用 Manhattan 距离, 空间距离采用欧式距离分别计算样方间的距离^[27]。

首先检验物种多度分布及环境因子自身是否存在空间自相关, 接着对存在显著空间自相关的物种进行 partial Mantel test 检验, 检验物种分布与其中一个的环境因子间在去除其它环境因子影响的情况下是否存在显著相关性, 显著性通过 5000 次的随机置换检验获得。计算利用 R 软件“vegan”包实现。

2.3.4 生境偏好检验

对与地形因子呈显著相关的物种, 计算了各物种多度与微地形因子 (凸凹度、海拔、坡度、坡向) 的 Pearson 相关系数, 并用 χ^2 检验其显著性。

3 结果与分析

3.1 环境条件

750 个 20 m×20 m 样方的地形变量及郁闭度统计值如表 1 所示。接着检验了各环境变量在 15 个距离级上的空间自相关 (图 1), 坡度、坡向、海拔呈现出相同趋势且空间自相关系数显著偏离于 0, 表明三者在小距

表 1 环境变量概况

Table 1 Characteristics of microhabitat variables used in this study

环境变量 Environmental variables	最小值 Min.	最大值 Max.	平均值 Mean	标准差 Stand Deviation	变异系数 Coefficient of variation
凸凹度 Convexity	-4.36	5.71	0.03	1.42	55.98
海拔 Elevation/m	577.80	780.70	663.40	52.50	0.08
坡度 Slope/(°)	4.78	40.86	19.59	6.35	0.32
郁闭度 Canopy closure/%	0.00	100.00	94.00	13.17	0.14
Cos(坡向 Aspect)	-0.99	0.99	0.01	0.51	100.54

离级上均存在空间聚集性。凸凹度、郁闭度二者趋势相似且空间自相关系数普遍较小,表明二者整体上空间聚集性不明显。应用 partial Mantel test 检验了任意两个环境因子间在去除第 3 个因子影响下的相关性(表 2),只有地形因子(Gower 相似系数)距离矩阵和空间距离矩阵在去除林冠影响的情况下,显示出显著的相关性。

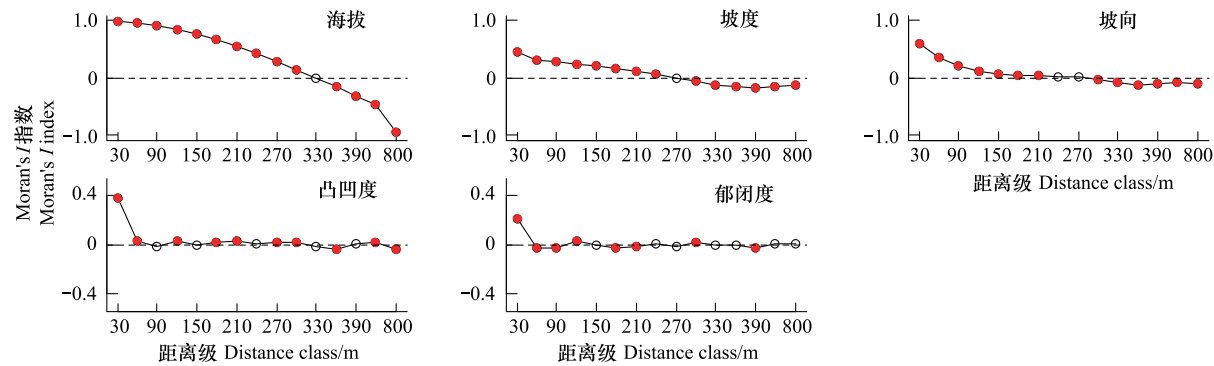


图 1 环境因子的空间自相关图

Fig. 1 Spatial correlograms of Moran's *I* statistics per distance class for microhabitat variables

空心圈和红色实心圈分别代表在 $P<0.05$ 水平上存在不显著和显著的空间自相关(5000 次的置换检验)

表 2 环境因子间偏相关系数

Table 2 The partial mantel correlations among microhabitat and spatial matrices

矩阵 A Matrix A	矩阵 B Matrix B	矩阵 C Matrix C	偏相关系数 Partial Mantel <i>r</i>
地形 Topography	空间距离 Spatial distance	郁闭度 Canopy closure	0.3939 ***
地形 Topography	郁闭度 Canopy closure	空间距离 Spatial distance	-0.0177
空间距离 Spatial distance	郁闭度 Canopy closure	地形 Topography	0.0248

* * * $P<0.001$

3.2 物种空间分布

本文将 $1\text{ cm}\leq\text{DBH}\leq5\text{ cm}$ 的本本植物定义为下层木。筛选了个体数>300 的 14 个树种,所选 14 个树种个体数占下层木总个体数的 94.32%。14 树种的生物学特征如表 3 所示。统计了各树种的多度,又计算了各树种扩散型指数(Morisita I_d)并用 χ^2 检验进行显著性检验(表4)。14 树种在20m×20m的尺度上均显示出

表 3 物种的生物学特征

Table 3 Biological characteristics of species

物种 Species	林层 Canopy layer	耐阴性 Shade tolerant	传播方式 Dispersal mode
簇毛槭 <i>Acer barbinerve</i>	下层	耐阴	风力
毛榛 <i>Corylus mandshurica</i>	下层	耐阴	重力
白牛槭 <i>Acer mandshuricum</i>	中层	耐阴	风力
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	中层	耐阴	风力
暴马丁香 <i>Syringa reticulata</i>	中层	喜阳	风力
色木槭 <i>Acer mono</i>	中层	耐阴	风力
花楷槭 <i>Acer ukurunduense</i>	中层	耐阴	风力
裂叶榆 <i>Ulmus laciniata</i>	中层	喜阳	风力
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	上层	中性	动物
稠李 <i>Prunus padus</i>	中层	耐阴	重力
青楷槭 <i>Acer tegmentosum</i>	中层	耐阴	风力
瘤枝卫矛 <i>Euonymus pauciflorus</i>	下层	耐阴	重力
翅卫矛 <i>Euonymus macropterus</i>	下层	耐阴	重力
水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i>	下层	耐阴	重力

显著的聚集型分布。对 14 个树种分布的空间自相关分析如图 2 所示。结果显示所有树种至少都有一个距离级上呈显著的正空间自相关, 绝大多数树种均表现出在小距离尺度 ($d=1, 2, 3$ 距离级) 上呈显著的正空间自相关, 在大距离尺度上呈显著的负空间自相关的趋势, 说明绝大多数树种呈聚集性空间分布。这与孙伟中在针阔混交林树种空间格局研究的结论基本一致。树木种群的空间自相关主要来源于植物的生长、补充、死亡、种子传播以及竞争动态等生物学过程, 而生物学过程也是植物种群形成空间聚集性结构的一个重要机制。

表 4 14 树种多度及 Morisita I_δ 指数Table 4 14 species abundance and Morisita I_δ index

物种 Species	多度 Abundance	扩散型指数 Morisita I_δ	上限 Maximum value	下限 Minimum value
簇毛槭 <i>Acer barbinerve</i>	6053	2.3297	1.0250	0.9762
毛榛 <i>Corylus mandshurica</i>	5256	2.2550	1.0405	0.9615
白牛槭 <i>Acer mandshuricum</i>	3107	4.4898	1.2293	0.7819
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	2618	12.8560	1.1469	0.8602
暴马丁香 <i>Syringa reticulata</i>	1920	2.6377	1.0128	0.9878
色木槭 <i>Acer mono</i>	1560	3.8498	1.1350	0.8716
花楷槭 <i>Acer ukurunduense</i>	1066	4.1963	1.0730	0.9306
裂叶榆 <i>Ulmus laciniata</i>	677	3.8348	1.1150	0.8906
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	577	5.2437	1.2130	0.7974
稠李 <i>Prunus padus</i>	530	4.0075	1.0148	0.9859
青楷槭 <i>Acer tegmentosum</i>	404	3.6729	1.0297	0.9717
瘤枝卫矛 <i>Euonymus pauciflorus</i>	366	4.9382	1.1929	0.8165
翅卫矛 <i>Euonymus macropterus</i>	340	2.5059	1.0499	0.9526
水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i>	311	3.7029	1.2508	0.7615

对 14 个树种的偏相关分析结果如表 5 所示, 5 个树种与空间距离呈显著相关性, 即存在显著的聚集效应占被检验树种的 42.86%; 7 个树种与环境因子有显著相关性, 即存在显著的生境偏好占 50%; 4 个种均未显示出显著相关性, 即树种的聚集效应和对生境的偏好均不显著占 28.57%; 3 个种同时与空间距离和环境因子呈显著相关性即树种分布同时受聚集效应和生境偏好的影响占 21.43%。样地中个体数大于 1000 的 7 优势种中有 5 个种空间分布与生境显著相关, 5 个种与空间距离显著相关。因此可知, 树种对生境的偏好及树种自身的聚集效应是影响树种空间分布的主要因素。

表 5 Partial Mantel test 检验物种分布与环境因子和空间距离的相关性

Table 5 Partial Mantel correlations of 14 species abundance matrix with spatial distance matrix and with microhabitat matrices

树种 Species	空间距离 Spatial distance	地形 Topography	林冠 Canopy closure
簇毛槭 <i>Acer barbinerve</i>	0.0416 **	0.0474 **	0.0138
毛榛 <i>Corylus mandshurica</i>	0.0164	0.1353 ***	0.0707 *
白牛槭 <i>Acer mandshuricum</i>	0.0327 *	-0.0089	-0.0230
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	-0.0137	0.1248 ***	-0.0566
暴马丁香 <i>Syringa reticulata</i>	0.0842 ***	0.0159	0.0266
色木槭 <i>Acer mono</i>	0.0287 *	0.0591 **	-0.0612
花楷槭 <i>Acer ukurunduense</i>	0.0470 **	0.0796 ***	0.0263
裂叶榆 <i>Ulmus laciniata</i>	0.0729 ***	0.0274	-0.0288
红松 <i>Pinus koraiensis</i>	0.0139	-0.0405	-0.0115
稠李 <i>Prunus padus</i>	-0.0029	0.0241	0.0253
青楷槭 <i>Acer tegmentosum</i>	-0.0158	0.02569	-0.0193
瘤枝卫矛 <i>Euonymus pauciflorus</i>	0.0105	0.0439 *	-0.0149
翅卫矛 <i>Euonymus macropterus</i>	-0.0337	-0.0154	-0.0162
水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i>	-0.0031	0.0702 **	-0.0570

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

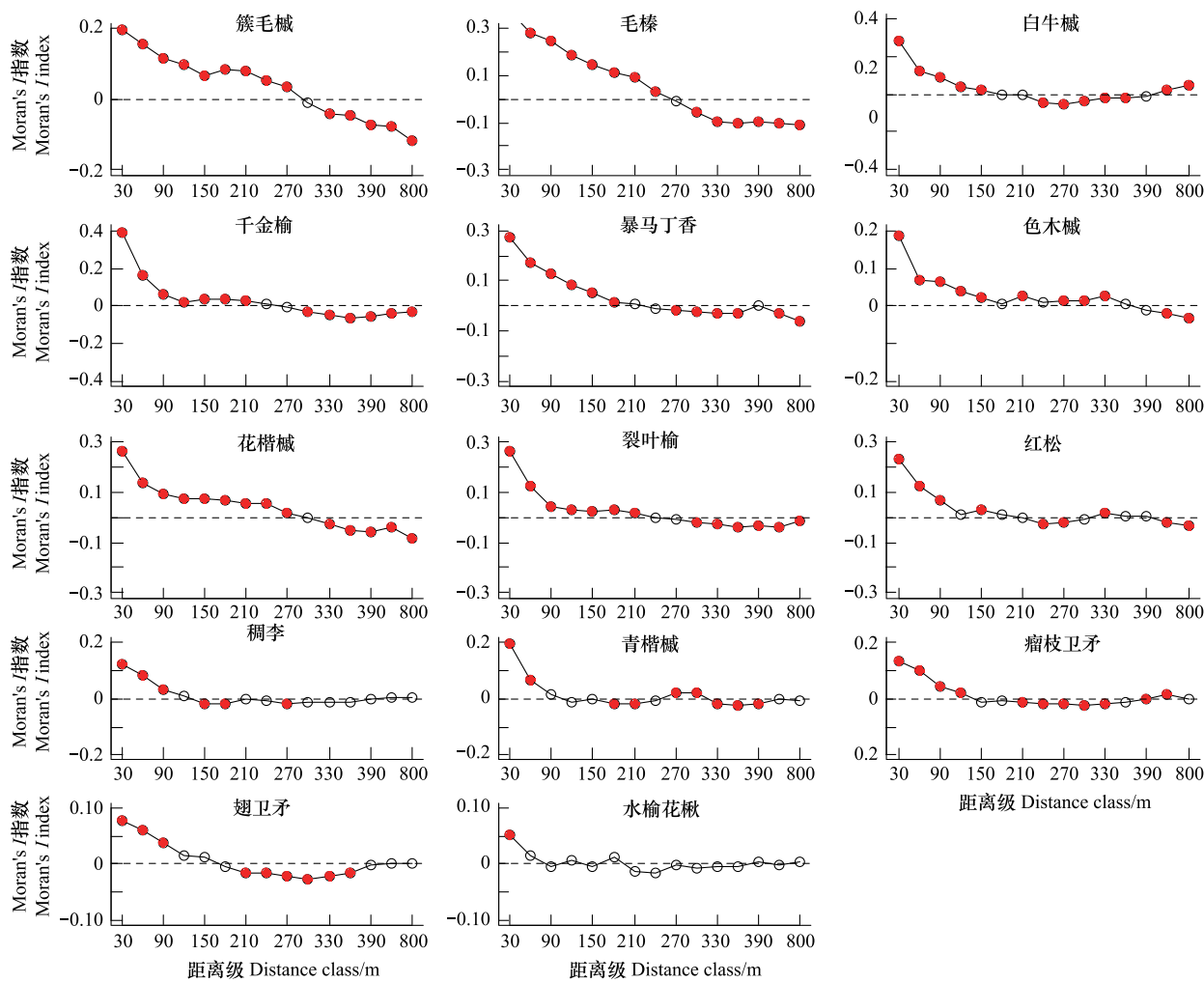


图 2 14 树种的空间自相关系数 Moran's I 指数

Fig. 2 14 tree species spatial autocorrelation coefficient Moran's I index

空心圈和红色实心圈分别代表在 $P < 0.05$ 水平上存在不显著和显著的空间自相关(5000 次的置换检验)

对与地形因子呈显著相关性的 7 个树种,又分析了各个树种在 20 m×20 m 样方中的多度分布与相应样方微地形因子间关联性(表 6)。结果表明色木槭、千金榆显示出了对低海拔、向阳坡生境类型的偏好,簇毛槭、花楷槭、毛榛显示出了对海拔高、陡度坡、向阴坡生境类型的偏好,水榆花楸显示出了对地势凸起、坡度陡生境类型的偏好,瘤枝卫矛显示出了对地势凸起、向阴坡生境类型的偏好。多个树种对同种生境类型的偏好体现

表 6 物种与微地形因子的 Pearson 相关系数

Table 6 The results of correlation analysis between 7 species abundance and microhabitat variables

树种 Species	凸凹度 Convexity	海拔 Elevation	坡度 Slope	坡向 Aspect
色木槭 <i>Acer mono</i>	-0.0039	-0.2118 ***	-0.0388	0.2281 ***
簇毛槭 <i>Acer barbinerve</i>	0.0225	0.3146 ***	0.1302 ***	-0.1054 **
水榆花楸 <i>Sorbus alnifolia</i>	0.0946 **	0.0405	0.1137 **	-0.0278
千金榆 <i>Carpinus cordata</i>	0.1044 **	-0.1991 ***	0.0072	0.2370 ***
花楷槭 <i>Acer ukurunduense</i>	0.0867 *	0.3095 ***	0.1554 ***	-0.2451 ***
毛榛 <i>Corylus mandshurica</i>	0.1190 **	0.4055 ***	0.2271 ***	-0.1732 ***
瘤枝卫矛 <i>Euonymus pauciflorus</i>	0.0894 *	0.0538	0.0402	-0.0736 *

*** $P < 0.001$, ** $P < 0.01$, * $P < 0.05$

了植物利用资源的相似性和生态位的重叠性, 对不同生境类型的偏好体现了物种间的排斥性, 这是长期适应不同微环境, 利用不同空间资源的结果, 同时也是生态位分离的反映。

4 讨论

在 20 m×20 m 的尺度上, 对 30 hm² 阔叶红松林样地中 1 cm≤DBH≤5 cm 个体数大于 300 的 14 个树种, 计算了各自扩散型指数(Morisita I_{δ})及分析了空间自相关, 结果显示绝大多数树种呈现出显著的聚集型分布。物种聚集的分布格局一部分是由生境的影响决定的, 同时也受物种自身扩散限制引起的聚集效应的影响。通过偏相关分析方法, 对 14 树种空间分布与空间距离及生境的相关性进行的检验表明: 被检验的 14 个树种中, 与空间距离显著相关树种有 6 个, 即存在本身的聚集效应, 占 42.86%; 与生境显著相关的树种有 7 个, 即树种存在显著的生境偏好, 占 50%。在 BCI 样地中 Harms 等人^[5]利用 Torus 检验发现有 64% 的物种至少与 1 种生境类型显著相关; Gunatilleke 等人^[10]在地形比较复杂的 Sinharaja 25 hm² 样地, 用 Torus 检验发现有 79% 的物种至少与 1 种生境类型显著相关; Yamada 等人^[27]研究发现马来西亚 Limbir 52 hm² 样地中梧桐科有 80% 的物种与生境显著相关。通过以上数据可以看出: 相比于以上样地, 蛟河老龄阔叶红松样地中与生境表现出显著相关的物种数相对较少, 这可能主要是因为: (1) 检验方法的不同, Torus 转换检验的是物种与环境变量组的关系, 结果必然比偏相关检验法相对保守; (2) 仅仅选择了地形因子和郁闭度而没有考虑诸如土壤酸碱度、营养成分等因素, 而这些因素对物种的分布又有着重要的影响; 但是, 研究结果也表明, 样地中个体数大于 1000 的 7 优势种中有 5 个种空间分布与生境显著相关; 5 个种与空间距离显著相关。因此, 生境分化及树种自身的聚集效应对阔叶红松林树种空间格局起主要作用。所得结论与台湾学者 Lin 等^[28]应用异质托马斯过程模型拟合物种空间分布得出的结论一致, 揭示了生境及聚集效应对物种空间分布的重要作用。对于树种空间分布而言, 生境分化和扩散限制引起的聚集效应可能是对其产生影响的主要原因, 当然可能还有其他方面的原因, 例如物种间的竞争作用、一些未涉及的环境因子、干扰事件或随机因子的影响等。

References:

- [1] Condit R, Ashton P S, Baker P, Bunyavejchewin S, Gunatilleke S, Gunatilleke N, Hubbell S P, Foster R B, Itoh A, Lafrankie J V, Lee H S, Losos E, Manokaran N, Sukumar R, Yamakura T. Spatial patterns in the distribution of tropical tree species. *Science*, 2000, 288(5470): 1414-1418.
- [2] Hubbell S P. Tree dispersion, abundance, and diversity in a tropical dry forest. *Science*, 1979, 203(4387): 1299-1309.
- [3] Hedenäs H, Ericson L. Epiphytic macrolichens as conservation indicators: successional sequence in *Populus tremula* stands. *Biological Conservation*, 2000, 93(1): 43-53.
- [4] Yamada T, Tomita A, Itoh A, Yamakura T, Ohkubo T, Kanzaki M, Tan S, Ashton P S. Habitat associations of *Sterculiaceae* trees in a Bornean rain forest plot. *Journal of Vegetation Science*, 2006, 17(5): 559-566.
- [5] Harms K E, Condit R, Hubbell S P, Foster R B. Habitat associations of trees and shrubs in a 50 ha neotropical forest plot. *Journal of Ecology*, 2001, 89(6): 947-959.
- [6] Comita L S, Condit R, Hubbell S P. Developmental changes in habitat associations of tropical trees. *Journal of Ecology*, 2007, 95(3): 482-492.
- [7] Hubbell S P, Foster R B, O'Brien S T, Harms K E, Condit R, Wechsler B, Wright S J, Loo de Lao S. Light-Gap disturbances, recruitment limitation, and tree diversity in a neotropical forest. *Science*, 1999, 283(5401): 554-557.
- [8] Brown J H, Mehlman D W, Stevens G C. Spatial variation in abundance. *Ecology*, 1995, 76(7): 2028-2043.
- [9] Valencia R, Foster R B, Villa G, Condit R, Svenning J C, Hernández C, Romoleroux K, Losos E, Magård E, Balslev H. Tree species distributions and local habitat variation in the Amazon: large forest plot in eastern Ecuador. *Journal of Ecology*, 2004, 92(2): 214-229.
- [10] Gunatilleke C V S, Gunatilleke I A U N, Esufali S, Harms K E, Ashton P M S, Burslem D F R P, Ashton P S. Species-habitat associations in a Sri Lankan dipterocarp forest. *Journal of Tropical Ecology*, 2006, 22(Part 4): 371-384.
- [11] Queenborough S A, Burslem D F R P, Garwood N C, Valencia R. Habitat niche partitioning by 16 species of *Myristicaceae* in Amazonian Ecuador. *Plant Ecology*, 2007, 192(2): 193-207.
- [12] Lai J S, Mi X C, Ren H B, Ma K P. Species-habitat associations change in a subtropical forest of China. *Journal of Vegetation Science*, 2009, 20(3): 415-423.
- [13] Sun W Z, Zhao S D. Distribution patterns of main tree species in Tilia broadleaf Korean pine forest on northern slope of Changbai Mountains.

- Chinese Journal of Applied Ecology, 1997, 8(2): 119-122.
- [14] Hou X Y, Han J X. Simulation analysis of spatial patterns of main species in the Korean-pine broadleaved forest in Changbai Mountain. *Acta Phytocologica Sinica*, 1997, 21(3): 242-249.
- [15] Hao Z Q, Zhang J, Song B, Ye J, Li B H. Vertical structure and spatial associations of dominant tree species in an old-growth temperate forest. *Forest Ecology and Management*, 2007, 252(1/3): 1-11.
- [16] Wang X G, Wiegand T, Hao Z Q, Li B H, Ye J, Lin F. Species associations in an old-growth temperate forest in north-eastern China. *Journal of Ecology*, 2010, 98(3): 674-686.
- [17] Takeshita Y, Muller O, Yamada T. Habitat niche specialization in an understory species in a warm temperate forest. *Ecological Research*, 2009, 24(2): 467-475.
- [18] Närhi P, Middleton M, Gustavsson N, Hyvönen E, Sutinen M L, Sutinen R. Importance of soil calcium for composition of understory vegetation in boreal forests of Finnish Lapland. *Biogeochemistry*, 2011, 102(1/3): 239-249.
- [19] Chávez V, Macdonald S E. Understory species interactions in mature boreal mixedwood forests. *Botany*, 2010, 88(10): 912-922.
- [20] Zang R G, Xu H C. Canopy disturbance regimes and gap regeneration in a Korean pine-broadleaved forest in Jiaohe, Northeast China. *Bulletin of Botanical Research*, 1999, 19(2): 232-240.
- [21] Morishita M. Measuring of the dispersion of individuals and analysis of the distributional patterns. *Memoirs of the Faculty of Science, Kyushu University, Series E: Biology*, 1959, 2(4): 215-235.
- [22] Wang W, Liu C R, Ma K P, Yu S L. Population structure and dynamics of *Quercus liaotungensis* in two broad-leaved deciduous forest in Dongling Mountain, Northern China. *Acta Botanica Sinica*, 1999, 41(4): 425-432.
- [23] Sokal R R, Sokal F M L S, Oden N L. Spatial autocorrelation in biology: 1. Methodology. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1978, 10(2): 199-228.
- [24] Sokal R R, Sokal F M L S, Oden N L. Spatial autocorrelation in biology: 2. Some biological implications and four applications of evolutionary and ecological interest. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1978, 10(2): 229-249.
- [25] Smouse P E, Long J C, Sokal R R. Multiple regression and correlation extensions of the mantel test of matrix correspondence. *Systematic Zoology*, 1986, 35(4): 627-632.
- [26] Legendre L, Legendre P. *Numerical Ecology*. Amsterdam: Elsevier, 1983: 383-389.
- [27] Yamada T, Zuidema P A, Itoh A, Yamakura T, Ohkubo T, Kanzaki M, Tan S, Ashton P S. Strong habitat preference of a tropical rain forest tree does not imply large differences in population dynamics across habitats. *Journal of Ecology*, 2007, 95(2): 332-342.
- [28] Lin Y C, Chang L W, Yang K C, Wang H H, Sun I F. Point patterns of tree distribution determined by habitat heterogeneity and dispersal limitation. *Oecologia*, 2011, 165(1): 175-184.

参考文献:

- [13] 孙伟中, 赵士洞. 长白山北坡椴树阔叶红松林群落主要树种分布格局的研究. *应用生态学报*, 1997, 8(2): 119-122.
- [14] 侯向阳, 韩进轩. 长白山红松林主要树种空间格局的模拟分析. *植物生态学报*, 1997, 21(3): 242-249.
- [20] 臧润国, 徐化成. 蛟河阔叶红松林林冠干扰及林隙更新研究. *植物研究*, 1999, 19(2): 232-240.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 11 June, 2012 (Semimonthly)
CONTENTS

Controls of post-fire tree recruitment in Great Xing'an Mountains in Heilongjiang Province	CAI Wenhua, YANG Jian, LIU Zhihua, et al (3303)
The assessment of river health using Benthic-Index of biotic integrity for Wenyu River	YANG Liu, LI Yonghui, WANG Juncai, et al (3313)
Consume of soil seeds of <i>Betula albo-sinensis</i> and <i>Abies faxoniana</i> in different natural successional stages of subalpine dark coniferous forest in western Sichuan, China	MA Jiangming, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (3323)
Habitat associations of understorey species spatial distribution in old growth broad-leaved Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>) forest	DING Shengjian, ZHANG Chunyu, XIA Fucui, et al (3334)
Nabkha morphology and sand-fixing capability of four dominant <i>Caragana</i> species in the desert region of the Inner Mongolia Plateau	ZHANG Yuanyuan, MA Chengchang, HAN Lei, et al (3343)
Growth dynamics, biomass allocation and ecological adaptation in <i>Ceratocarpus arenarius</i> L.	QUAN Dujuan, WEI Yan, ZHOU Xiaoqing, et al (3352)
A rapid assessment method for forest disaster based on MODIS/NDVI time series; a case study from Guizhou Province	SHI Hao, WANG Xiao, XUE Jianhui, et al (3359)
Soil cation exchange capacity and exchangeable base cation content in the profiles of four typical soils in the Xi-Shui Forest Zone of the Qilian Mountains	JIANG Lin, GENG Zengchao, LI Shanshan, et al (3368)
Impact of water and temperature on spring maize emergence speed and emergence rate	MA Shuqing, WANG Qi, LÜ Houquan, et al (3378)
Effect of N application on the abundance of denitrifying genes (<i>narG/nosZ</i>) and N ₂ O emission in paddy soil	ZHENG Yan, HOU Haijun, QIN Hongling, et al (3386)
Temporal-spatial variations of potential evapotranspiration and quantification of the causes in Northwest China	CAO Wen, SHEN Shuanghe, DUAN Chunfeng (3394)
Analysis of ecosystem degradation and recovery using precipitation use efficiency and NDVI in the headwater catchment of the Yellow River basin	DU Jiaqiang, SHU Jianmin, ZHANG Linbo (3404)
An assessment method of <i>Kandelia obovata</i> population biomass	JIN Chuan, WANG Jinwang, ZHENG Jian, et al (3414)
Quantitative characteristics and species composition of <i>Artemisia sphaerocephala</i> and <i>A. ordosica</i> communities in the Ulanbuh Desert ...	MA Quanlin, ZHENG Qingzhong, JIA Jujie, et al (3423)
Photosynthesis and transpiration in relation to ion accumulation in <i>Vitex trifolia</i> under varied light intensity	ZHANG Ping, LIU Linde, BAI Xinfu, et al (3432)
Diffusion of elm seed rain in Otindag Sand Land	GU Wei, YUE Yongjie, LI Gangtie, et al (3440)
Effect of saline water irrigation on sand soil salt and the physiology and growth of <i>Populus euphratica</i> Oliv.	HE Xinlin, CHEN Shufei, WANG Zhenhua, et al (3449)
Regulation of exogenous nitric oxide on photosynthetic physiological response of <i>Lolium perenne</i> seedlings under NaHCO ₃ Stress	LIU Jianxin, WANG Jincheng, WANG Xin, et al (3460)
Longitude gradient changes on plant community and soil stoichiometry characteristics of grassland in Hulunbeir	DING Xiaohui, LUO Shuzheng, LIU Jinwei, et al (3467)
Concentrations and distributions of selenium and heavy metals in Hainan paddy soil and assessment of ecological security	GENG Jianmei, WANG Wenbin, WEN Cuiping, et al (3477)
Heavy metal contents and evaluation of farmland soil and wheat in typical area of Jiangsu Province	CHEN Jingdu, DAI Qigen, XU Xuehong, et al (3487)
The studies on the food web structures and trophic relationships in Guangxi Dongfang Cave by means of stable carbon and nitro- gen isotopes	LI Daohong, SU Xiaomei (3497)
Analysis of bacterial diversity in the Songhua River based on nested PCR and DGGE	TU Teng, LI Lei, MAO Guannan, et al (3505)

Preliminary delineation and classification of estuarine drainage areas for major coastal rivers in China	HUANG Jinliang, LI Qingsheng, HUANG Ling, et al (3516)
Estimation of spatial and seasonal changes in phytoplankton primary production in Meiliang Bay, Lake Taihu, based on the Vertically Generalized Production Model and MODIS data	YIN Yan, ZHANG Yunlin, SHI Zhiqiang, et al (3528)
Viability and changes of physiological functions in the tiger frog (<i>Hoplobatrachus rugulosus</i>) exposed to cold stress	WANG Na, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (3538)
Community structure and abundance dynamics of soil collembolans in transgenic Bt rice paddyfields	ZHU Xiangyu, LI Zhiyi, CHANG Liang, et al (3546)
Morphological characteristics and microsatellite DNA genetic diversity of Nigeria African honey bee, Anhui <i>Apis mellifera</i> and theirs hybrid generation II	YU Linsheng, XIE Wenfei, WU Houchang, et al (3555)
Effects of social-demographic factors on the recreational service of park wetlands in Beijing	LI Fen, SUN Ranhao, CHEN Liding (3565)
Co-integration theory-based analysis on relationships between economic growth and eco-environmental changes: taking the south-east district in Chongqing city as an example	XIAO Qiang, HU Dan, XIAO Yang, et al (3577)
The cooperative environmental game model in the Tidal River Network Regions and its empirical research	LIU Honggang, CHEN Xingeng, PENG Xiaochun (3586)

Review and Monograph

Review of eco-efficiency accounting method and its applications	YIN Ke, WANG Rusong, ZHOU Chuanbin, et al (3595)
Overview on the 6th international symposium on modern ecology series of 2011	WEN Teng, XU Delin, XU Chi, et al (3606)

Discussion

Scale analysis of environmental factors and their relationship with the size of hierarchical aquatic ecoregion: a case study in the Liao River basin	LIU Xingcai, XU Zongxue, ZHANG Shurong, et al (3613)
--	--

Scientific Note

Effects of different light intensities on activities of the primary defense proteins in needles of <i>Larix gmelinii</i>	LU Yifang, SHI Lei, YAN Shanchun (3621)
An analysis of photosynthetic parameters among <i>Schima superba</i> provenances	XIONG Caiyun, ZENG Wei, XIAO Fuming, et al (3628)
Research on three small-scale agricultural ecological-economic systems in Shenzhen City based on emergy analysis	YANG Zhuoxiang, GAO Yang, ZHAO Zhiqiang, et al (3635)

《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 11 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 11 (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@csbg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@csbg.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