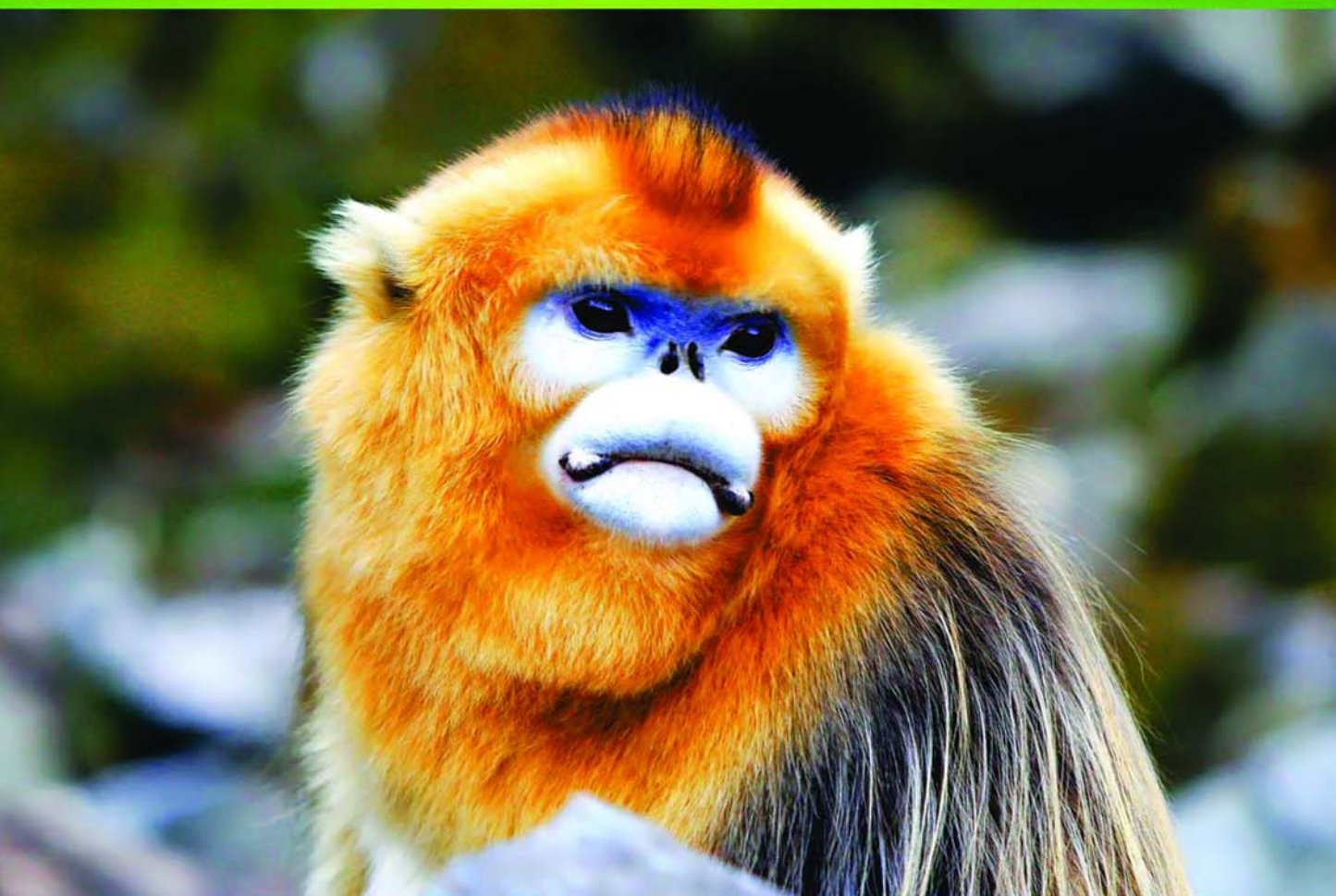


ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

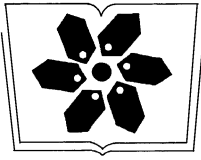
## Acta Ecologica Sinica



第32卷 第2期 Vol.32 No.2 **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 2 期      2012 年 1 月      (半月刊)

## 目 次

北部湾秋季底层鱼类多样性和优势种数量的变动趋势 .....	王雪辉,邱永松,杜飞雁,等 (333)
中国大陆鸟类和兽类物种多样性的空间变异 .....	丁晶晶,刘定震,李春旺,等 (343)
粉蝶盘绒茧蜂中国和荷兰种群学习行为及 EAG 反应的比较 .....	王国红,刘勇,戈峰,等 (351)
君主绢蝶的生物学及生境需求 .....	方健惠,骆有庆,牛犇,等 (361)
西南大西洋阿根廷滑柔鱼生物学年间比较 .....	方舟,陆化杰,陈新军,等 (371)
城市溪流中径流式低坝对底栖动物群落结构的影响 .....	韩鸣花,海燕,周斌,等 (380)
沉积再悬浮颗粒物对马氏珠母贝摄食生理影响的室内模拟 .....	栗志民,申玉春,余南涛,等 (386)
太平洋中西部海域浮游植物营养盐的潜在限制 .....	徐燕青,陈建芳,高生泉,等 (394)
几株赤潮甲藻的摄食能力 .....	张清春,于仁成,宋静静,等 (402)
高摄食压力下球形棕囊藻凝聚体的形成 .....	王小冬,王艳 (414)
大型绿藻浒苔藻段及组织块的生长和发育特征 .....	张必新,王建柱,王乙富,等 (421)
链状亚历山大藻生长衰亡相关基因的筛选 .....	仲洁,隋正红,王春燕,等 (431)
太湖春季水体固有光学特性及其对遥感反射率变化的影响 .....	刘忠华,李云梅,吕恒,等 (438)
程海富营养化机理的神经网络模拟及响应情景分析 .....	邹锐,董云仙,张祯祯,等 (448)
沙质海岸灌化黑松对蛀食胁迫的补偿性响应 .....	周振,李传荣,许景伟,等 (457)
泽陆蛙和饰纹蛙蝌蚪不同热驯化下选择体温和热耐受性 .....	施林强,赵丽华,马小浩,等 (465)
麦蚜和寄生蜂对农业景观格局的响应及其关键景观因子分析 .....	赵紫华,王颖,贺达汉,等 (472)
镉胁迫对芥蓝根系膜过氧化及 ATPase 活性的影响 .....	郑爱珍 (483)
生姜水浸液对生姜幼苗根际土壤酶活性、微生物群落结构及土壤养分的影响 .....	韩春梅,李春龙,叶少平,等 (489)
九州虫草菌丝体对 Mn 的耐性及富集 .....	罗毅,程显好,张聪聪,等 (499)
土霉素暴露对小麦根际抗生素抗性细菌及土壤酶活性的影响 .....	张昊,张利兰,王佳,等 (508)
氮沉降对杉木人工林土壤有机碳矿化和土壤酶活性的影响 .....	沈芳芳,袁颖红,樊后保,等 (517)
火炬树雌雄母株克隆生长差异及其光合荧光日变化 .....	张明如,温国胜,张瑾,等 (528)
湖南乌云界自然保护区典型生态系统的土壤持水性能 .....	潘春翔,李裕元,彭亿,等 (538)
祁连山东段高寒地区土地利用方式对土壤性状的影响 .....	赵锦梅,张德罡,刘长仲,等 (548)
沙质草地生境中大型土壤动物对土地沙漠化的响应 .....	刘任涛,赵哈林 (557)
腾格里沙漠东南缘可培养微生物群落数量与结构特征 .....	张威,章高森,刘光秀,等 (567)
塔克拉玛干沙漠南缘玉米对不同荒漠化环境的生理生态响应 .....	李磊,李向义,林丽莎,等 (578)
内蒙古锡林河流域羊草草原 15 种植物热值特征 .....	高凯,谢中兵,徐苏铁,等 (588)
不同密度条件下芨芨草空间格局对环境胁迫的响应 .....	张明娟,刘茂松,徐驰,等 (595)
环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响 .....	任学敏,杨改河,王得祥,等 (605)
海藻酸铈配合物对毒死蜱胁迫下菠菜叶片抗坏血酸-谷胱甘肽循环的影响 .....	栾霞,陈振德,汪东风,等 (614)
城市化进程中城市热岛景观格局演变的时空特征——以厦门市为例 .....	黄聚聪,赵小锋,唐立娜,等 (622)
基于遥感和 GIS 的川西绿被时空变化研究 .....	杨存建,赵梓健,任小兰,等 (632)
亚热带城乡复合系统 BVOC 排放清单——以台州地区为例 .....	常杰,任远,史琰,等 (641)
<b>研究简报</b>	
不同水分条件下毛果苔草枯落物分解及营养动态 .....	侯翠翠,宋长春,李英臣,等 (650)
大山雀对巢箱颜色的识别和繁殖功效 .....	张克勤,邓秋香,Justin Liu,等 (659)



**封面图说:** 雄视——中国的金丝猴有川、黔、滇金丝猴三种,此外还有越南和缅甸金丝猴两种。金丝猴是典型的森林树栖动物,常年栖居于海拔 1500—3300m 的亚热带山地、亚高山针叶林、针阔叶混交林、常绿落叶阔叶混交林中,随着季节的变化,只在栖息的生境中作垂直移动。川金丝猴身上长着柔软金色长毛,十分漂亮。个体大、嘴角处有瘤状突起的是雄性金丝猴的特征。川金丝猴只分布在中国的四川、甘肃、陕西和湖北省。属国家一级重点保护、CITES 附录一物种。

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

DOI: 10.5846/stxb201011291695

任学敏, 杨改河, 王得祥, 秦晓威, 刘振学, 赵双喜, 白宇. 环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性的影响. 生态学报, 2012, 32(2): 0605-0613.

Ren X M, Yang G H, Wang D X, Qin X W, Liu Z X, Zhao S X, Bai Y. Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an *Abies fargesii*-*Betula utilis* mixed forest. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(2): 0605-0613.

## 环境因子对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种 分布及多样性的影响

任学敏<sup>1,2</sup>, 杨改河<sup>1,2,\*</sup>, 王得祥<sup>3</sup>, 秦晓威<sup>1,2</sup>, 刘振学<sup>2,3</sup>, 赵双喜<sup>2,3</sup>, 白宇<sup>1,2</sup>

(1. 西北农林科技大学农学院, 杨凌 712100; 2. 陕西省循环农业工程技术研究中心, 杨凌 712100;

3. 西北农林科技大学林学院, 杨凌 712100)

**摘要:**对太白山巴山冷杉(*Abies fargesii*)-糙皮桦(*Betula utilis*)混交林及其环境因子进行了调查,采用 CCA 排序法分析了环境因子与物种分布的关系,偏 CCA 评估了各个环境因子的重要程度,GAM 拟合了物种丰富度对各个环境因子的响应。结果显示,土壤 pH、海拔、岩石盖度对物种分布有显著影响( $P < 0.05$ ),其影响强度为:海拔>岩石盖度>pH,其它环境因子(土壤有机质、全 N、全 P 含量和坡度)影响不显著( $P > 0.05$ )。GAM 拟合结果表明,土壤 pH、岩石盖度、海拔和全 N 含量是影响物种丰富度的主要环境因子( $P < 0.01$ ),物种丰富度随 pH 值升高而增加,随岩石盖度和海拔升高而减小,而随全 N 含量的变化较为复杂;土壤有机质、全 P 含量和坡度对物种丰富度没有显著影响( $P > 0.05$ )。巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性是由海拔、岩石盖度和土壤 pH 值为主的多种环境因子综合作用的结果。

**关键词:**物种分布;CCA;环境因子;物种多样性;GAM;巴山冷杉-糙皮桦混交林

## Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an *Abies fargesii*-*Betula utilis* mixed forest

REN Xuemin<sup>1,2</sup>, YANG Gaihe<sup>1,2,\*</sup>, WANG Dexiang<sup>3</sup>, QIN Xiaowei<sup>1,2</sup>, LIU Zhenxue<sup>2,3</sup>, ZHAO Shuangxi<sup>2,3</sup>, BAI Yu<sup>1,2</sup>

1 College of Agronomy, Northwest A & F University, Yangling 712100, China

2 The Research Center of Recycle Agricultural Engineering and Technology of Shaanxi Province, Yangling 712100, China

3 College of Forest, Northwest A & F University, Yangling 712100, China

**Abstract:** Environmental factors have a full impact on species distribution and diversity of forest community. The relationship between environmental factors and species patterns suggests important implications for developing optimal strategies for conservation of species diversity, sustainable managing and utilizing plant resources. Various types of plant communities have been documented in regard to the relationship of environmental factors to species distribution and diversity; however, little attention has been paid to *Abies fargesii*-*Betula utilis* mixed forest, the typical plant community functioning critically in soil and water conservation. We investigated characteristics and environmental factors of the *Abies fargesii*-*Betula utilis* mixed forest located within an elevation of 2700—3100 m in Taibai Mountain, China from July through September 2009 and July through August 2010. We established 3 transects along elevation gradient, and set up 10 plots (20m×20m, for trees) in each transect. In the corner of each plot, we set up one subplot (10m×10m) for shrubs and

基金项目:科技基础性专项重点项目(2007FY110800);林业公益性行业专项(200804022B);国家自然科学基金资助项目(31070570)

收稿日期:2010-11-29; 修订日期:2011-04-07

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ygh@nwsuaf.edu.cn



herb. We recorded the community characteristics including species name, number, cover, height, tree basal diameter and diameter at breast height ( $DBH > 1\text{cm}$ ) as well as the environmental factors including elevation, slope, stone cover, soil pH, organic matter, total nitrogen and total phosphorus. Three analysis procedures were carried out: canonical correspondence analysis (CCA) to examine relationship between species distribution and environmental factors, partial CCA to assess the respective importance of environmental factors on species distribution, and generalized additive model (GAM) to fit response of species richness to various environmental factors. The results showed that soil pH, elevation and stone cover had significant effect on species distribution ( $P < 0.05$ ) with the impact intensity being elevation  $>$  stone cover  $>$  pH. Nevertheless, the other environmental factors (soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus content and slope) had no significant effect ( $P > 0.05$ ). Some species, such as *Ribes glaciale*, *Lonicera webbiana*, *Rubus amabilis*, *Chrysosplenium pilosum* var. *valdepilosum*, and *Kobresia myosuroides*, were associated with low stone cover, acidic and total phosphorus poor-soil; otherwise, *Betula utilis*, *Sabina pingii* var. *wilsonii*, *Potentilla glabra*, *Ajuga ciliate* and *Ajania variifolia* were more prominent in high stone cover, low acidic and total phosphorus rich-soil. Besides, *Spiraea mongolica*, *Pleurospermum heterosciadium*, *Carex filamentosa*, *Poa nemoralis* and *Draba ladyginii* var. *trichocarpa* occurred at a high elevation. However, *Lonicera szechuanica*, *Rubus pileatus*, *Fragaria gracilis*, *Viola biflora* and *Carex capilliformis* var. *major* were found in all plots since all environmental factors had little effects on their distribution. GAM analysis indicated that the major environmental factors associated with species richness were soil pH, stone cover, elevation and total nitrogen content ( $P < 0.01$ ). Species richness increased with increasing pH and decreasing stone cover and elevation, and richness changed intricately with changes of total nitrogen content; in contrast, there were no significant effects on species richness ( $P > 0.05$ ) from soil organic matter, total phosphorus content and slope. Thus, species distribution and richness pattern of *Abies fargesii*-*Betula utilis* mixed forest were influenced by a variety of environmental factors in which elevation, stone cover and soil pH played the most important role.

**Key Words:** species distribution; CCA; environmental factors; species diversity; GAM; *Abies fargesii*-*Betula utilis* mixed forest

植物-环境关系一直是生态学研究的重要方面<sup>[1]</sup>。一个多世纪以来,植物生态学家们探索决定物种分布及多样性因子的努力从未间断<sup>[2]</sup>,对这一问题的研究有助于了解物种分布的空间特征,从而为人们制定物种多样性保护对策,进一步管理、利用植物资源提供理论依据。

环境因子包括生物和非生物因子。生物因子如人类活动、竞争等<sup>[3-4]</sup>,非生物因子如地形、土壤特征等<sup>[5-6]</sup>。众多研究表明,海拔、坡度等地形因子对物种分布和多样性具有重要影响<sup>[7-8]</sup>。土壤特征,如 pH,有机质、N、P 等养分指标也不同程度地影响物种分布和多样性。Schuster 和 Diekmann<sup>[9]</sup>在相关综述中阐述了土壤 pH 对物种分布及多样性有显著影响,近来 Fried 等<sup>[10]</sup>和 Medinski 等<sup>[11]</sup>的研究也证明了这点。一些研究表明,物种多样性与土壤肥力之间存在正相关<sup>[12-13]</sup>,但另一些研究却认为高的土壤肥力增加了竞争排斥使得多样性降低<sup>[14-15]</sup>。有关物种分布及多样性与环境因子关系的研究已涉及多种植物群落类型<sup>[13, 16-18]</sup>,然而到目前为止,对于巴山冷杉(*Abies fargesii*)-糙皮桦(*Betula utilis*)混交林这一群落类型在该方面的研究鲜有报道。

太白山巴山冷杉-糙皮桦混交林分布在海拔 2700—3100 m 范围内,为该海拔范围主要群落类型之一,分布面积广大,其对保持该区域水土流失具有极其重要的作用。长期以来,人们对这一重要群落类型没有给予充分的关注,仅林玥等<sup>[19]</sup>研究了其空间格局及种间关联;秦晓威等<sup>[20]</sup>从林隙的角度研究了草本植物多样性与环境因子的关系。本文在对该群落详细调查的基础上,深入分析了其物种分布及多样性与环境因子的关系,以期为该区域植物多样性保护和森林管理提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区自然概况

研究区位于秦岭太白山自然保护区(107°41'23"—107°51'40"E, 33°49'31"—34°08'11"N)南坡,海拔

2700—3100 m 范围内。该区属典型的内陆季风气候,冬季寒冷干燥,夏季炎热湿润,据厚畛子气象站(距样地约 15 km)25a 的观测数据显示,年均降水量 945.5 mm,主要集中在 7—9 月;年均温 8.4 °C,最冷月 1 月份均温 -4.2 °C,最热月 7 月份均温 20.4 °C,极端低温 -19 °C,极端高温 29.7 °C。该区域为流水地貌,到处分布着斑块状的古石海、石河<sup>[21]</sup>,土壤类型为山地暗棕壤,土层浅薄,成土母岩主要是片麻岩和花岗岩。

## 1.2 取样及数据收集方法

调查于 2009 年 7—9 月和 2010 年 7—8 月进行。在巴山冷杉-糙皮桦混交林分布区内,沿海拔梯度设置 3 条样带,每条样带上选择 10 个典型样方进行调查,样方的设置最大程度涵盖巴山冷杉-糙皮桦混交林的整个分布海拔。总计调查样方 30 个。乔木样方面积为 20 m × 20 m,在其中心设 1 个 10 m × 10 m 小样方,用于灌木和草本调查(本文将蕨类植物归于草本内进行分析)。记录了各个物种的多度、盖度、高度,其中还记录了每株乔木的胸径和基径。

用手持式 GPS500 测定了每个样方的海拔,用地质罗盘测量了坡度,估计了露头岩石的盖度。收集了每个样方 0—30 cm 的土壤样品,方法是在样方 4 角及中心各挖一个剖面(土壤厚度不足 30 cm 的以挖到岩石为止),沿剖面从上到下收集土壤,将各点收集的样品混合为 1 个,带回实验室测定其 pH 值,有机质、全 N、全 P 含量。pH 值用 pHS-3CT 型 pH 计测定,有机质用重铬酸钾容量法-外加加热法,全 N 用凯氏定氮法,全 P 用酸溶-钼锑抗比色法。

## 1.3 数据处理

### 1.3.1 排序

典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)梯度排序用于分析巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布与环境因子的关系, Monte Carlo 随机置换检验进行排序的显著性检验。由于不少物种在调查中出现的频率很小,所以在排序时对稀有物种进行了降权处理。排序的物种数据矩阵由物种的重要值组成,其矩阵(样方 × 物种)为 30 × 125;环境矩阵由 7 个环境因子组成 30 × 7。乔木、灌木和草本植物的重要值计算公式<sup>[22]</sup>分别为:

$$\text{乔木} = (\text{相对多度} + \text{相对高度} + \text{相对优势度}) / 3$$

$$\text{灌木、草本} = (\text{相对多度} + \text{相对高度} + \text{相对盖度}) / 3$$

为了估计各个环境因子对物种分布的影响,每一环境因子的总效应和净效应被测定。总效应的测定方法是分别以 1 个单独的环境因子为自变量进行 CCA 排序;净效应是分别以 1 个环境因子为自变量,其它 6 个环境因子为协变量进行偏 CCA(partial CCA)排序,显著性由 499 次置换检验来确定。分别以每个环境因子的典范特征值与所有特征值之和的比值来衡量该环境因子对物种分布的影响强度<sup>[23]</sup>。

### 1.3.2 回归分析

广义可加模型(Generalized additive model, GAM)是一种拟合非参数函数来估计响应变量与解释变量之间关系的模型,是广义线性模型(Generalized linear model, GLM)的进一步推广,优点是能直接处理响应变量与多个解释变量之间的非线性关系。其一般形式为:

$$g(\mu) = \alpha + \sum_{j=1}^p f_j(x_j)$$

式中,  $\mu = E[Y|X]$ 。  $g(\mu)$  为联系函数,  $\alpha$  为常数截距项;  $f_j(x_j)$  是用来描述  $g(\mu)$  与第  $j$  个解释变量关系的非参数函数,本文通过 3 次样条平滑估计获得<sup>[24]</sup>。

本文以物种丰富度为响应变量,7 个环境因子为解释变量进行 GAM 拟合,分析环境因子对物种丰富度的影响。  $F$  测验用于检验各环境因子影响的显著性。物种丰富度的公式<sup>[25]</sup>为:

$$R = S$$

式中,  $S$  为每个样方的物种总数。

CCA 排序由 CANOCO for Windows 4.5 完成,排序图由 CanoDraw for windows 4.0 完成, GAM 模型的构建、

检验及物种丰富度对各环境因子的响应曲线由 S-PLUS 8.0 完成。

## 2 结果与分析

### 2.1 环境因子与 CCA 排序轴的相关

对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种及环境因子进行 CCA 排序, Monte Carlo 检验表明, 所有典范轴都是极显著的( $P < 0.01$ )。CCA 4 个轴累积解释了物种-环境关系的 85.9%, 其中前 2 轴的累积解释量达到 69.5% (表 1), 说明 CCA 前 2 轴已能较好地反映物种-环境关系。7 个环境因子中, 土壤全 P 含量、pH 值、岩石盖度与 CCA1 轴显著或极显著负相关; 海拔与 CCA2 轴极显著正相关(表 1)。这些显著或极显著的相关关系说明排序轴可以较好地体现环境梯度。

表 1 环境因子与 CCA 排序轴的相关系数及排序概要

Table 1 Correlation coefficients between environmental factors and CCA ordination axes and ordination summary

环境因子 Environmental factors	第 1 轴 Axis 1	第 2 轴 Axis 2	第 3 轴 Axis 3	第 4 轴 Axis 4
pH	-0.53 **	-0.17	-0.02	0.05
有机质 Organic matter	-0.18	-0.30	0.06	-0.20
全 N Total nitrogen	0.15	-0.11	0.31	-0.15
全 P Total phosphorus	-0.38 *	-0.08	0.43 *	0.37 *
海拔 Elevation	-0.23	0.84 **	-0.06	0.04
坡度 Slope	0.11	-0.10	0.44 *	-0.43 *
岩石盖度 Stone cover	-0.80 **	-0.30	0.15	0.00
CCA 排序概要 Summary of CCA ordination				
特征值 Eigenvalues	0.22	0.12	0.05	0.04
物种环境相关 Species-environment correlations	0.89	0.90	0.70	0.81
物种环境关系的方差累积比例 Cumulative percentage variance of species-environment relation /%	44.90	69.50	78.60	85.90
所有典范轴的显著性检验 Test of significance of all canonical axes	$P = 0.004$			

\* 表示在 0.05 水平上显著, \*\* 表示在 0.01 水平上显著

### 2.2 环境因子对物种分布的影响

在所调查的 30 个样方中, 总共记录了 127 种物种, 其中 4 种乔木, 22 种灌木, 101 种草本。由于乔木中太白红杉(*Larix chinensis*)和康定柳(*Salix paraplesia*)各只在 1 个样方中出现, 为稀有种, 故未纳入本文的分析。

岩石盖度、pH 值、土壤全 P 含量沿 CCA1 轴由左向右逐渐降低(图 1), 海拔沿 CCA2 轴由下向上增加。冰川茶藨子(*Ribes glaciale*)、华西忍冬(*Lonicera webbiana*)、美丽悬钩子(*Rubus amabilis*)、柔毛金腰(*Chrysosplenium pilosum* var. *valdepilosum*)、嵩草(*Kobresia myosuroides*)等分布在 CCA1 轴的右端, 即在有较少岩石裸露、较酸及较低全 P 含量的土壤环境条件下有较多分布, 而糙皮桦、香柏(*Sabina pingii* var. *wilsonii*)、银露梅(*Potentilla glabra*)、筋骨草(*Ajuga ciliata*)、异叶亚菊(*Ajania variifolia*)等的分布与之相反。排序图上位于 CCA2 轴上端的物种, 如蒙古绣线菊(*Spiraea mongolica*)、异伞棱子芹(*Pleurospermum heterosciadium*)、丝秆藁草(*Carex filamentosa*)、林地早熟禾(*Poa nemoralis*)、毛线果葶苈(*Draba ladyginii* var. *trichocarpa*)等, 其分布主要受海拔高度的影响, 即在较高海拔有最多的分布; 四川忍冬(*Lonicera szechuanica*)、孤帽悬钩子(*Rubus pileatus*)、细弱草莓(*Fragaria gracilis*)、双花堇菜(*Viola biflora*)、大毛状藁草(*Carex capilliformis* var. *major*)等位于排序图中间的物种, 其分布受环境因子影响较小, 几乎在所有样方都有分布。

置换检验表明, 7 个环境因子中有 3 个对群落物种分布影响显著(表 2)。偏 CCA 分析结果显示, 净效应解释物种分布最大的环境因子是海拔, 其次为岩石盖度, 土壤 pH 值最小, 而土壤有机质、全 N, 全 P 和坡度未能显著地解释物种分布(表 2)。

### 2.3 环境因子对物种多样性的影响

以物种丰富度为因变量, 各环境因子为自变量的 GAM 拟合结果如图 2。物种丰富度随 pH 值的增大而快

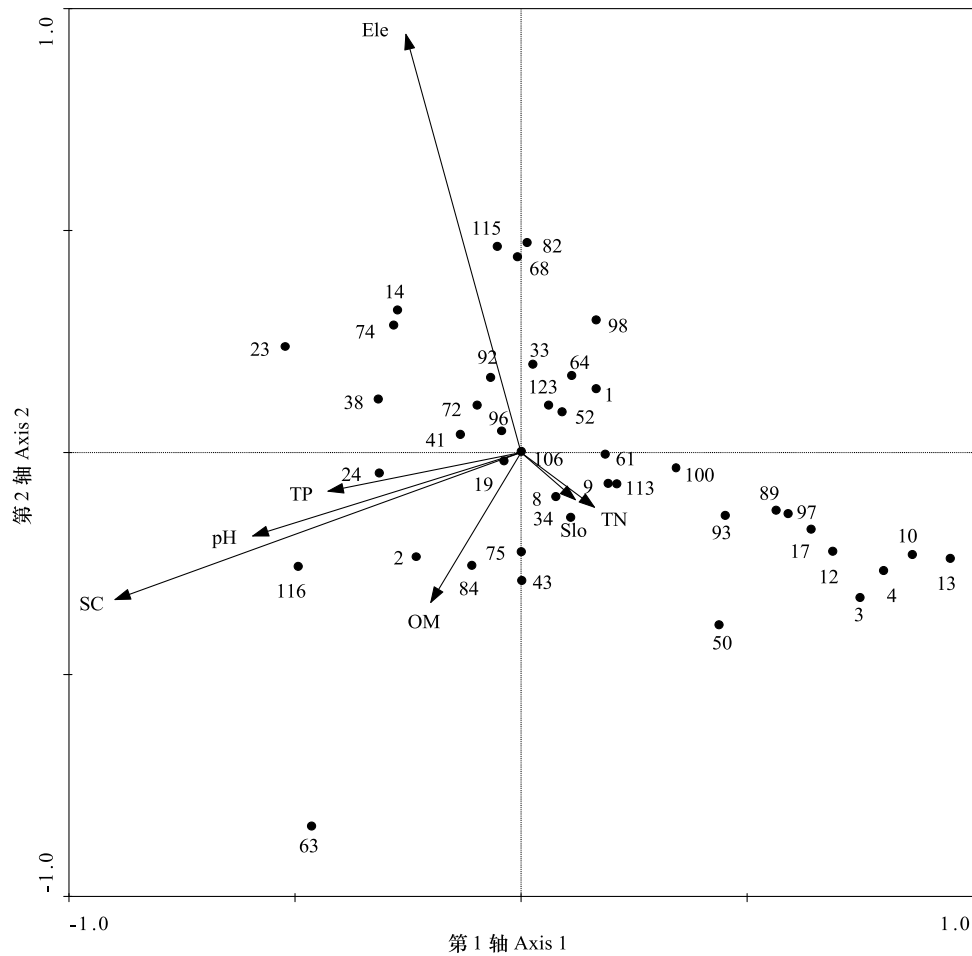


图1 物种和环境因子的 CCA 双序图

Fig. 1 CCA biplot of species and environmental factors

图中仅显示了权重 1%—100% 的物种,共 42 个; OM: 有机质; TN: 全氮; TP: 全磷; Ele: 海拔; Slo: 坡度; SC: 岩石盖度

1. 巴山冷杉 *Abies fargesii*; 2. 糙皮桦 *Betula utilis*; 3. 白绒覆盆子 *Rubus coreanus* var. *tomentosus*; 4. 冰川茶藨子 *Ribes glaciale*; 8. 菰帽悬钩子 *Rubus pileatus*; 9. 红毛五加 *Acanthopanax giraldii*; 10. 华西忍冬 *Lonicera webbiana*; 12. 瘤糖茶藨子 *Ribes himalense* var. *verruculosum*; 13. 美丽悬钩子 *Rubus amabilis*; 14. 蒙古绣线菊 *Spiraea mongolica*; 17. 陕甘花楸 *Sorbus koehneana*; 19. 四川忍冬 *Lonicera szechuanica*; 23. 香柏 *Sabina pingii* var. *wilsonii*; 24. 银露梅 *Potentilla glabra*; 33. 翅茎风毛菊 *Saussurea cauloptera*; 34. 翅茎香青 *Anaphalis sinica* var. *sinica* f. *pteroaula*; 38. 大耳叶风毛菊 *Saussurea macrota*; 41. 大毛状薹草 *Carex capilliformis* var. *major*; 43. 大叶碎米荠 *Cardamine macrophylla*; 50. 高山露珠草 *Circaea alpina*; 52. 孩儿参 *Pseudostellaria heterophylla*; 61. 假报春 *Cortusa matthioli*; 63. 筋骨草 *Ajuga ciliata*; 64. 冷蕨 *Cystopteris fragilis*; 68. 林地早熟禾 *Poa nemoralis*; 72. 裸茎碎米荠 *Cardamine scaposa*; 74. 毛线果葶苈 *Draba ladyginii* var. *trichocarpa*; 75. 毛状薹草 *Carex capilliformis*; 82. 丝秆薹草 *Carex filamentosa*; 84. 秦岭蒿 *Artemisia qinlingensis*; 89. 柔毛金腰 *Chrysosplenium pilosum* var. *valdepilosum*; 92. 山酢浆草 *Oxalis acetosella* subsp. *griffithii*; 93. 蛇岩高山紫菀 *Aster alpinus* var. *serpentimontanus*; 96. 双花堇菜 *Viola biflora*; 97. 蒿草 *Kobresia myosuroides*; 98. 太白虎耳草 *Saxifraga josephii*; 100. 太白山橐吾 *Ligularia dolichobotrys*; 106. 细弱草莓 *Fragaria gracilis*; 113. 小银莲花 *Anemone exigua*; 115. 异伞棱子芹 *Pleurospermum heterosciadium*; 116. 异叶亚菊 *Ajania variifolia*; 123. 中华金腰 *Chrysosplenium sinicum*

速增加(图 2a),说明较中性的土壤更适合多数物种的生长;物种丰富度随土壤有机质含量的增加缓慢下降(图 2b);土壤全 N 含量的影响分为两部分,小于 5000 mg/kg 时,物种丰富度缓慢减小,大于 5000 mg/kg 时,物种丰富度快速增加(图 2c);物种丰富度随土壤全 P 含量的增加而递增,在 230 mg/kg 时达到峰值,之后缓慢下降(图 2d)。海拔 2850 m 以下,物种丰富度变化不大,但 2850 m 以上,随海拔升高而迅速下降(图 2e)。物种丰富度随坡度变化平稳,说明坡度对其影响较小(图 2f)。岩石盖度 17% 之前,物种丰富度随其增加快速减小,之后缓慢减小(图 2g)。

表 2 环境因子对物种分布的影响

	总效应 Gross effect	<i>P</i>	净效应 Net effect	<i>P</i>
pH	0.069 **	0.004	0.052 *	0.048
有机质 Organic matter	0.028	0.662	0.019	0.876
全 N Total nitrogen	0.025	0.810	0.024	0.724
全 P Total phosphorus	0.049	0.084	0.025	0.686
海拔 Elevation	0.087 **	0.006	0.084 **	0.002
坡度 Slope	0.028	0.742	0.026	0.606
岩石盖度 Stone cover	0.137 **	0.002	0.063 **	0.008
所有因子 All factors	0.346 **	0.004	0.346 **	0.004

*P* 值由 CCA 及偏 CCA 分析 499 次置换检验所得; \* 表示在 0.05 水平上显著, \*\* 表示在 0.01 水平上显著

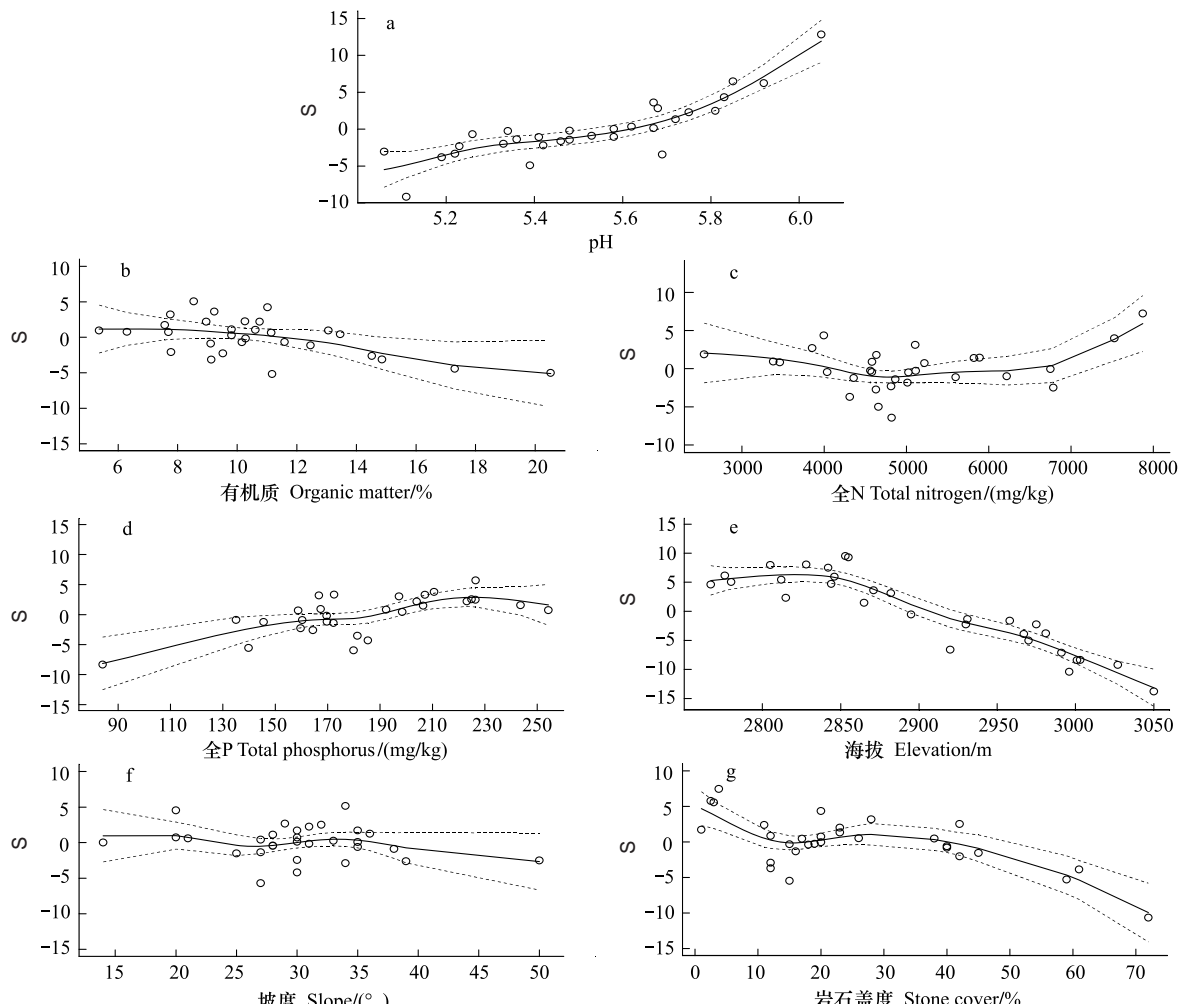


图 2 环境因子对物种丰富度影响的 GAM 拟合曲线

Fig. 2 GAM fitting curve of effects of various environmental factors on species richness.

图中虚线表示 95% 置信区间

*F* 测验表明,土壤 pH 值、全 N 含量、海拔、岩石盖度对物种丰富度的影响达极显著水平( $P < 0.01$ ),而土壤有机质、全 P 含量、坡度的影响不显著( $P > 0.05$ )(表 3)。

### 3 结论与讨论

物种分布及多样性与环境因子的关系受到研究尺度的强烈影响<sup>[26-27]</sup>。在大区域甚至全球尺度,气候是



决定植物组成、分布及多样性的主导因素,而在较小尺度(如群落),地形因子(如海拔、坡度)、土壤肥力(如有机质、N、P 含量)等起主要作用<sup>[28]</sup>。

表 3 GAM 拟合结果的 *F* 检验  
Table 3 *F*-test for GAM fitting results

	<i>F</i>	<i>Pr</i> ( <i>F</i> )
pH	11.96 **	0.001
有机质 Organic matter	0.68	0.573
全 N Total nitrogen	5.51 **	0.004
全 P Total phosphorus	2.76	0.059
海拔 Elevation	5.96 **	0.003
坡度 Slope	2.10	0.121
岩石盖度 Stone cover	6.77 **	0.001

\* 表示在 0.05 水平上显著; \*\* 表示在 0.01 水平上显著

本研究表明,海拔、岩石盖度和土壤 pH 值对巴山冷杉-糙皮桦混交林物种分布及多样性具有显著影响(表 2,表 3),物种丰富度随海拔下降递减(图 2),这种结果已为许多研究所发现<sup>[29-30]</sup>。同时也说明了海拔这个综合反映降水、相对湿度以及温度<sup>[31]</sup>的地形因子无论是在大尺度还是较小尺度的研究中都对物种分布及多样性有重要影响。

岩石盖度是本研究中一个比较特殊的环境因子,其范围 1%—72%。之所以有这样高的岩石盖度,是因为巴山冷杉-糙皮桦混交林分布在由巨石角砾堆积成的古石海、石河、石环、石流坡发育出的浅薄土壤上,尽管经过了漫长年代的土壤沉积,至今依然有较多的岩石裸露<sup>[21]</sup>。物种丰富度随岩石盖度的增加明显降低(表 3,图 2),一些物种如糙皮桦、香柏、异叶亚菊、筋骨草的分布与较高的岩石盖度密切相关,而另一些物种如冰川茶藨子、美丽悬钩子、华西忍冬、柔毛金腰、嵩草等则多分布在有较低岩石盖度的生境上(图 1)。根据臧润国等<sup>[32]</sup>方法鉴定糙皮桦为演替的先锋树种,香柏、异叶亚菊、筋骨草等为早期演替种,那么岩石盖度的大小及与其相关的植物种类分布可能指示着潜在的演替阶段。

很多研究表明,土壤特性明显影响植物分布及多样性<sup>[12-13,15]</sup>。本研究发现,土壤 pH 对物种分布及丰富度有显著影响,物种丰富度随 pH 升高而增加(表 2,表 3),相似结论已为很多研究所报道<sup>[9-11]</sup>。全 N 含量对物种分布没有显著影响,但对物种丰富度影响显著;而有机质和全 P 含量对物种分布及丰富度均没有显著影响(表 2,表 3)。然而一些研究者在对某些干旱地区的研究中发现,土壤有机质由于关系到氮素循环,水分储存和利用,其含量的缺乏导致了物种多样性的降低<sup>[33-34]</sup>。本研究中土壤为山地暗棕壤,有机质含量丰富(10.7±3.2)%,其未对植物分布及多样性产生明显影响(表 3)。

植物-环境关系是极其复杂的,被引入分析的大量环境因子之间复杂的相互作用使得确定每一环境因子影响的重要程度面临巨大挑战<sup>[35]</sup>,在不同条件下分离各个环境因子相对重要性的研究已有一些报道<sup>[23,36]</sup>。本文所采用的衡量各个环境因子对物种分布影响解释程度的计算方法依然是较粗略的<sup>[10]</sup>。精确、定量地确定每一环境因子与物种分布及多样性的关系任重而道远。

## References:

- [ 1 ] Guisan A, Zimmermann N E. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 2000, 135(2/3): 147-186.
- [ 2 ] Motzkin G, Eberhardt R, Hall B, Foster D R, Harrod J, MacDonald D. Vegetation variation across Cape Cod, Massachusetts: environmental and historical determinants. *Journal of Biogeography*, 2002, 29(10/11): 1439-1454.
- [ 3 ] Bampfyld C J, Brown N D, Gavaghan D J, Maini P K. Modelling rain forest diversity: the role of competition. *Ecological Modelling*, 2005, 188(2/3): 253-278.
- [ 4 ] Niggemann M, Jetzkowitz J, Brunzel S, Wichmann M C, Bialozyt R. Distribution patterns of plants explained by human movement behaviour. *Ecological Modelling*, 2009, 220(9/10): 1339-1346.

- [ 5 ] Sang W G. Plant diversity patterns and their relationships with soil and climatic factors along an altitudinal gradient in the middle Tianshan Mountain area, Xinjiang, China. *Ecological Research*, 2009, 24(2): 303-314.
- [ 6 ] Joseph S, Reddy C S, Pattanaik C, Sudhakar S. Distribution of plant communities along climatic and topographic gradients in Mudumalai Wildlife Sanctuary (southern India). *Biological Letters*, 2008, 45(1): 29-41.
- [ 7 ] Ma X D, Zhang S J, Su Z Y, Qu Y D, Liu G. Community structure in relation to microtopography in a montane evergreen broadleaved forest in Chebaling National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5151-5160.
- [ 8 ] Mujuru L, Kundhlande A. Small-scale vegetation structure and composition of Chirinda Forest, southeast Zimbabwe. *African Journal of Ecology*, 2007, 45(4): 624-632.
- [ 9 ] Schuster B, Diekmann M. Changes in species density along the soil pH gradient—evidence from German plant communities. *Folia Geobotanica*, 2003, 38(4): 367-379.
- [ 10 ] Fried G, Norton L R, Reboud X. Environmental and management factors determining weed species composition and diversity in France. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2008, 128(1/2): 68-76.
- [ 11 ] Medinski T V, Mills A J, Esler K J, Schmiedel U, Jürgens N. Do soil properties constrain species richness? Insights from boundary line analysis across several biomes in south western Africa. *Journal of Arid Environments*, 2010, 74(9): 1052-1060.
- [ 12 ] Wright S J. Seasonal drought, soil fertility and species density of tropical forest plant communities. *Trends in Ecology & Evolution*, 1992, 7(8): 260-263.
- [ 13 ] Wang S X, Wang X A, Li G Q, Guo H, Zhu Z H. Species diversity and environmental interpretation in the process of community succession in the Ziwu Mountain of Shaanxi Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(6): 1638-1647.
- [ 14 ] Goldberg D E, Miller T E. Effects of different resource additions of species diversity in an annual plant community. *Ecology*, 1990, 71(1): 213-225.
- [ 15 ] Wedin D, Tilman D. Competition among grasses along a nitrogen gradient: initial conditions and mechanisms of competition. *Ecological Monographs*, 1993, 63(2): 199-229.
- [ 16 ] Klimek S, Kemmermann A R G, Hofmann M, Isselstein J. Plant species richness and composition in managed grasslands: the relative importance of field management and environmental factors. *Biological Conservation*, 2007, 134(4): 559-570.
- [ 17 ] Small C J, McCarthy B C. Relationship of understory diversity to soil nitrogen, topographic variation, and stand age in an eastern oak forest, USA. *Forest Ecology and Management*, 2005, 217(2/3): 229-243.
- [ 18 ] Økland T, Rydgren K, Økland R H, Storaunet K O, Rolstad J. Variation in environmental conditions, understorey species number, abundance and composition among natural and managed *Picea abies* forest stands. *Forest Ecology and Management*, 2003, 177(1/3): 17-37.
- [ 19 ] Lin Y, Ren J Y, Yue M. Spatial patterns and associations in a birch-fir forest in Mt. Taibai. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 2009, 27(1): 47-54.
- [ 20 ] Qin X W, Li G, Wang D X, Yang G H, Ren X M, Zhao S X, Bai Y, Liu Z X. Effects of forest gap on herbaceous plant diversity in mixed birch-fir forest of Taibai Mountain. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(10): 2494-2500.
- [ 21 ] Xia Z K. The ancient glacial relief and the faulting tectonics in the Taibai, Qinling Mts. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1990, 12(2): 155-160.
- [ 22 ] Yue M, Zhou H X. Diversity of higher plants in deciduous broadleaved forests on the northern slope of Taibai Mountain. *Acta Botanica Yunnanica*, 1997, 19(2): 171-176.
- [ 23 ] Lososová Z, Chytrý M, Cimalová S, Kropáč Z, Otypková Z, Pyšek P, Tichý L. Weed vegetation of arable land in central Europe: gradients of diversity and species composition. *Journal of Vegetation Science*, 2004, 15(3): 415-422.
- [ 24 ] Yee T W, Mitchell N D. Generalized additive models in plant ecology. *Journal of Vegetation Science*, 1991, 2(5): 587-602.
- [ 25 ] Ma K P, Huang J H, Yu S L, Chen L Z. Plant community diversity in Dongling Mountain, Beijing, China II. Species richness, evenness and species diversities. *Acta Ecologica Sinica*, 1995, 15(3): 268-277.
- [ 26 ] Kunin W E. Extrapolating species abundance across spatial scales. *Science*, 1998, 281(5382): 1513-1515.
- [ 27 ] Meng B, Wang J F. A review on the methodology of scaling with geo-data. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2): 277-288.
- [ 28 ] Woodward F I, Mckee I F. Vegetation and climate. *Environment International*, 1991, 17(6): 535-546.
- [ 29 ] Feng Y, Ma K M, Zhang Y X, Qi J. DCCA analysis of plant species distributions in different strata of Oak (*Quercus Liaotungensis*) forest along an altitudinal gradient in Dongling Mountain, China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(3): 568-573.
- [ 30 ] Yu S L, Ma K P, Xu C B, Jin S F, Song X B, Chen L Z. The species diversity characteristics comparison of *Quercus mongolica* community along environmental gradient factors. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(12): 2932-2939.
- [ 31 ] Huston M A. *Biological Diversity: The Coexistence of Species in Changing Landscapes*. Cambridge: Cambridge University Press, 1994.

- [32] Zang R G, An S Q, Tao J P, Jang Y X, Wang B S. Mechanism of Biodiversity Maintenance of Tropical Forests in Hainan Island. Beijing: Science Press, 2004.
- [33] Abd El-Ghani M M. Environmental correlations of species distribution in arid desert ecosystems of eastern Egypt. *Journal of Arid Environments*, 1998, 38(2): 297-313.
- [34] He M Z, Zheng J G, Li X R, Qian Y L. Environmental factors affecting vegetation composition in the Alxa Plateau, China. *Journal of Arid Environments*, 2007, 69(3): 473-489.
- [35] Pyšek P, Lepš J. Response of a weed community to nitrogen fertilization; a multivariate analysis. *Journal of Vegetation Science*, 1991, 2(2): 237-244.
- [36] Hallgren E, Palmer M W, Milberg P. Data diving with cross-validation: an investigation of broad-scale gradients in Swedish weed communities. *Journal of Ecology*, 1999, 87(6): 1037-1051.

#### 参考文献:

- [7] 马旭东, 张苏峻, 苏志尧, 区余端, 刘刚. 车八岭山地常绿阔叶林群落结构特征与微地形条件的关系. *生态学报*, 2010, 30(19): 5151-5160.
- [13] 王世雄, 王孝安, 李国庆, 郭华, 朱志红. 陕西子午岭植物群落演替过程中物种多样性变化与环境解释. *生态学报*, 2010, 30(6): 1638-1647.
- [19] 林玥, 任坚毅, 岳明. 太白山牛皮桦-巴山冷杉混交林空间格局及关联性研究. *武汉植物学研究*, 2009, 27(1): 47-54.
- [20] 秦晓威, 李刚, 王得祥, 杨改河, 任学敏, 赵双喜, 白宇, 刘振学. 林隙对太白山牛皮桦-巴山冷杉混交林内草本植物多样性的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(10): 2494-2500.
- [21] 夏正楷. 太白山古冰川地貌与地质构造. *冰川冻土*, 1990, 12(2): 155-160.
- [22] 岳明, 周虹霞. 太白山北坡落叶阔叶林物种多样性特征. *云南植物研究*, 1997, 19(2): 171-176.
- [25] 马克平, 黄建辉, 于顺利, 陈灵芝. 北京东灵山地区植物群落多样性的研究 II 丰富度、均匀度和物种多样性指数. *生态学报*, 1995, 15(3): 268-277.
- [27] 孟斌, 王劲峰. 地理数据尺度转换方法研究进展. *地理学报*, 2005, 60(2): 277-288.
- [29] 冯云, 马克明, 张育新, 祁建. 辽东栎林不同层植物沿海拔梯度分布的 DCCA 分析. *植物生态学报*, 2008, 32(3): 568-573.
- [30] 于顺利, 马克平, 徐存宝, 金淑芳, 宋晓兵, 陈灵芝. 环境梯度下蒙古栎群落的物种多样性特征. *生态学报*, 2004, 24(12): 2932-2939.
- [32] 臧润国, 安树青, 陶建平, 蒋有绪, 王伯荪. 海南岛热带林生物多样性维持机制. 北京: 科学出版社, 2004.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 2 January, 2012 (Semimonthly)

## CONTENTS

Dynamics of demersal fish species diversity and biomass of dominant species in autumn in the Beibu Gulf, northwestern South China Sea	WANG Xuehui, QIU Yongsong, DU Feiyan, et al (333)
Spatial variation in species richness of birds and mammals in mainland China	DING Jingjing, LIU Dingzhen, LI Chunwang, et al (343)
Comparative study on learning behavior and electroantennogram responses in two geographic races of <i>Cotesia glomerata</i>	WANG Guohong, LIU Yong, GE Feng, et al (351)
Biological characteristics and habitat requirements of <i>Parnassius imperator</i> (Lepidoptera: Parnassidae)	FANG Jianhui, LUO Youqing, NIU Ben, et al (361)
Annual variability in biological characteristics of <i>Illex argentinus</i> in the southwest Atlantic Ocean	FANG Zhou, LU Huajie, CHEN Xinjun, et al (371)
The impact of run-of stream dams on benthic macroinvertebrate assemblages in urban streams	HAN Minghua, YU Haiyan, ZHOU Bin, et al (380)
Effect of suspended sediment on the feeding physiology of <i>Pinctada martensii</i> in laboratory	LI Zhimin, SHEN Yuchun, YU Nantao, et al (386)
Potential nutrient limitation of phytoplankton growth in the Western and Central Pacific Ocean	XU Yanqing, CHEN Jianfang, GAO Shengquan, et al (394)
Ingestion of selected HAB-forming dinoflagellates	ZHANG Qingchun, YU Rencheng, SONG Jingjing, et al (402)
Formation of aggregation by <i>Phaeocystis globosa</i> (Prymnesiophyceae) in response to high grazing pressure	WANG Xiaodong, WANG Yan (414)
Growth and reproduction of the green macroalga <i>Ulva prolifera</i>	ZHANG Bixin, WANG Jianzhu, WANG Yifu, et al (421)
Screening of growth decline related genes from <i>Alexandrium catenella</i>	ZHONG Jie, SUI Zhenghong, WANG Chunyan, et al (431)
Analysis of inherent optical properties of Lake Taihu in spring and its influence on the change of remote sensing reflectance	LIU Zhonghua, LI Yunmei, LU Heng, et al (438)
Neural network modeling of the eutrophication mechanism in Lake Chenghai and corresponding scenario analysis	ZOU Rui, DONG Yunxian, ZHANG Zhenzhen, et al (448)
The compensatory growth of shrubby <i>Pinus thunbergii</i> response to the boring stress in sandy coast	ZHOU Zhen, LI Chuanrong, XU Jingwei, et al (457)
Selected body temperature and thermal tolerance of tadpoles of two frog species ( <i>Fejervarya limnocharis</i> and <i>Microhyla ornata</i> ) acclimated under different thermal conditions	SHI Linqiang, ZHAO Lihua, MA Xiaohao, et al (465)
Effects of landscape structure and key landscape factors on aphids-parasitoids-hyper parasitoids populations in wheat fields	ZHAO Zihua, WANG Ying, HE Dahan, et al (472)
Effects of cadmium on lipid peroxidation and ATPase activity of plasma membrane from Chinese kale ( <i>Brassica alboglabra</i> Bailey) roots	ZHENG Aizhen (483)
Effects of ginger aqueous extract on soil enzyme activity, microbial community structure and soil nutrient content in the rhizosphere soil of ginger seedlings	HAN Chunmei, LI Chunlong, YE Shaoping, et al (489)
Manganese tolerance and accumulation in mycelia of <i>Cordyceps kyuysuensis</i>	LUO Yi, CHENG Xianhao, ZHANG Congcong, et al (499)
Influence of oxytetracycline exposure on antibiotic resistant bacteria and enzyme activities in wheat rhizosphere soil	ZHANG Hao, ZHANG Lilan, WANG Jia, et al (508)
Effects of elevated nitrogen deposition on soil organic carbon mineralization and soil enzyme activities in a Chinese fir plantation	SHEN Fangfang, YUAN Yinghong, FAN Houbao, et al (517)
Differences in clonal growth between female and male plants of <i>Rhus typhina</i> Linn. and their diurnal changes in photosynthesis and chlorophyll fluorescence	ZHANG Mingru, WEN Guosheng, ZHANG Jin, et al (528)
Soil water holding capacity under four typical ecosystems in Wuyunjie Nature Reserve of Hunan Province	PAN Chunxiang, LI Yuyuan, PENG Yi, et al (538)
The effect of different land use patterns on soil properties in alpine areas of eastern Qilian Mountains	ZHAO Jinmei, ZHANG Degang, LIU Changzhong, et al (548)
Responses of soil macro-fauna to land desertification in sandy grassland	LIU Rentao, ZHAO Halin (557)
Characteristics of cultivable microbial community number and structure at the southeast edge of Tengger Desert	ZHANG Wei, ZHANG Gaosen, LIU Guangxiu, et al (567)
Physiological and ecological responses of maize to different severities of desertification in the Southern Taramakan desert	LI Lei, LI Xiangyi, LIN Lisha, WANG Yingju, et al (578)
Characterization of caloric value in fifteen plant species in <i>Leymus chinensis</i> steppe in Xilin River Basin, Inner Mongolia	GAO Kai, XIE Zhongbing, XU Sutie, et al (588)
Spatial pattern responses of <i>Achnatherum splendens</i> to environmental stress in different density levels	ZHANG Mingjuan, LIU Maosong, XU Chi, et al (595)
Effects of environmental factors on species distribution and diversity in an <i>Abies fargesii</i> - <i>Betula utilis</i> mixed forest	REN Xuemin, YANG Gaihe, WANG Dexiang, et al (605)
Effects of alginate cerium complexes on ascorbate- glutathione cycle in spinach leaves under chlorpyrifos stress	LUAN Xia, CHEN Zhende, WANG Dongfeng, et al (614)
Analysis on spatiotemporal changes of urban thermal landscape pattern in the context of urbanisation: a case study of Xiamen City	HUANG Jucong, ZHAO Xiaofeng, TANG Lina, et al (622)
The analysis of the green vegetation cover change in western Sichuan based on GIS and Remote sensing	YANG Cunjian, ZHAO Zijian, REN Xiaolan, et al (632)
An inventory of BVOC emissions for a subtropical urban-rural complex: Greater Taizhou Area	CHANG Jie, REN Yuan, SHI Yan, et al (641)
<b>Scientific Note</b>	
Litter decomposition and nutrient dynamics of <i>Carex lasiocapa</i> under different water conditions	HOU Cuicui, SONG Changchun, LI Yingchen, et al (650)
Nest-box color preference and reproductive success of great tit	ZHANG Keqin, DENG Qiuxiang, Justin Liu, et al (659)



# 《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 2 期 (2012 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 2 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:100717	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@espg.net	Distributed by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: (010)64034563 E-mail: journal@espg.net
订 购	全国各地邮局	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