

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第9期 Vol.33 No.9 **2013**

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 33 卷 第 9 期 2013 年 5 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 可持续发展研究的学科动向 茶 娜, 邬建国, 于润冰 (2637)
- 代谢异速生长理论及其在微生物生态学领域的应用 贺纪正, 曹 鹏, 郑袁明 (2645)
- 植物内生菌促进宿主氮吸收与代谢研究进展 杨 波, 陈 晏, 李 霞, 等 (2656)
- 中国园林生态学发展综述 于艺婧, 马锦义, 袁韵珏 (2665)

个体与基础生态

- 基于最小限制水分范围评价不同耕作方式对土壤有机碳的影响 陈学文, 王 农, 时秀焕, 等 (2676)
- 草原土壤有机碳含量的控制因素 陶 贞, 次旦朗杰, 张胜华, 等 (2684)
- 外源钙离子与南方菟丝子寄生对喜旱莲子草茎形态结构的影响 车秀霞, 陈惠萍, 严巧娣, 等 (2695)
- 毛竹出笋后快速生长期茎秆色素含量与反射光谱的相关性 刘 琳, 王玉魁, 王星星, 等 (2703)
- 巴郎山异型柳叶片功能性状及性状间关系对海拔的响应 冯秋红, 程瑞梅, 史作民, 等 (2712)
- 外源磷或有机质对板蓝根吸收转运砷的影响 高宁大, 耿丽平, 赵全利, 等 (2719)
- 不同猎物饲喂对南方小花蝽捕食量和喜好性的影响 张昌容, 郅军锐, 莫利锋 (2728)
- 捕食风险对东方田鼠功能反应格局的作用 陶双伦, 杨锡福, 姚小燕, 等 (2734)
- 基于线粒体细胞色素 c 氧化酶亚基 I 基因序列的帘蛤科贝类分子系统发育研究
..... 程汉良, 彭永兴, 董志国, 等 (2744)
- 不同实验生态环境对海刺猬遮蔽行为的影响 常亚青, 李云霞, 罗世滨, 等 (2754)

种群、群落和生态系统

- 基于 RS 与 GIS 的赣江上游流域生态系统服务价值变化 陈美球, 赵宝华, 罗志军, 等 (2761)
- 长江口及邻近海域富营养化指标响应变量参照状态的确定 郑丙辉, 朱延忠, 刘录三, 等 (2768)
- 长江口及邻近海域富营养化指标原因变量参照状态的确定 郑丙辉, 周 娟, 刘录三, 等 (2780)
- 鸭绿江口及邻近海域生物群落的胁迫响应 宋 伦, 王年斌, 杨国军, 等 (2790)
- 杭州西溪湿地大型底栖动物群落特征及与环境因子的关系 陆 强, 陈慧丽, 邵晓阳, 等 (2803)
- 生物土壤结皮对荒漠土壤线虫群落的影响 刘艳梅, 李新荣, 赵 昕, 等 (2816)
- 大棚模拟条件下角倍蚜春季迁飞数量动态及其与气象因子的关系 李 杨, 杨子祥, 陈晓鸣, 等 (2825)
- 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 程 曼, 朱秋莲, 刘 雷, 等 (2835)
- 1958—2008 年太白山太白红杉林碳循环模拟 李 亮, 何晓军, 胡理乐, 等 (2845)
- 不同干扰对黄土区典型草原物种多样性和生物量的影响 陈芙蓉, 程积民, 刘 伟, 等 (2856)
- 乌拉山自然保护区白桦种群的年龄结构和点格局分析 胡尔查, 王晓江, 张文军, 等 (2867)
- 西南干旱对哀牢山常绿阔叶林凋落物及叶面积指数的影响 杞金华, 章永江, 张一平, 等 (2877)
- 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律 井学辉, 曹 磊, 臧润国 (2886)

景观、区域和全球生态

太湖流域生态风险评价 许 妍,高俊峰,郭建科 (2896)

基于 GIS 的关中-天水经济区土地生态系统固碳释氧价值评价 周自翔,李 晶,冯雪铭 (2907)

资源与产业生态

淹水条件下控释氮肥对污染红壤中重金属有效性的影响..... 梁佩筠,许 超,吴启堂,等 (2919)

研究简报

高温强光对小麦叶绿体 Deg1 蛋白酶和 D1 蛋白的影响及水杨酸的调节作用
..... 郑静静,赵会杰,胡巍巍,等 (2930)

不同 CO₂ 浓度变化下干旱对冬小麦叶面积指数的影响差异 李小涵,武建军,吕爱锋,等 (2936)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 308 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-05



封面图说: 肥美的当雄草原——高寒草甸是在寒冷的环境条件下,发育在高原和高山的一种草地类型。其植被组成主要是多年生草本植物,冬季往往有冰雪覆盖,土壤主要为高山草甸土。当雄草原位于藏北高原,藏南与藏北的交界地带,海拔高度为 5200—4300m,受海洋性气候影响,呈现高原亚干旱气候,年平均降水量 293—430mm。主要有小嵩草草甸、藏北嵩草草甸和沼泽草甸等,覆盖度为 60%—90%,其中小嵩草草甸分布面积最大,连片分布于广阔的高原面上。高寒草甸草层低,草质良好,是畜牧业优良的夏季牧场。

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

DOI: 10.5846/stxb201202050148

井学辉, 曹磊, 臧润国. 阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律. 生态学报, 2013, 33(9): 2886-2895.

Jing X H, Cao L, Zang R G. Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(9): 2886-2895.

阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布规律

井学辉^{1,2}, 曹磊¹, 臧润国^{2,*}

(1. 承德市环境保护局, 承德 067000;

2. 国家林业局森林生态环境重点实验室, 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091)

摘要:对一定区域内生物多样性的合理保护往往需要在景观水平上了解生物多样性分布的总体规律。借助于典型抽样调查和遥感及地理信息系统相结合的方法来预测物种丰富度是定量研究生物多样性宏观分布规律的重要途径。以阿尔泰山小东沟林区为对象, 在外业调查的基础上, 选取主要气象因子、地形因子和植被指数(NDVI)作为预测变量, 利用主成分分析和多元回归分析分别提取主要环境信息和构建物种丰富度预测模型, 借助 ArcGIS9.1 的空间分析功能, 得到了阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布预测图, 并利用残差图评价其精度。将小东沟乔木物种丰富度预测图分别与坡度、坡向和海拔图叠加, 分析不同地形条件下乔木物种丰富度的空间分布规律。结果表明: 占总研究区面积 70.28% 的区域, 其乔木物种丰富度在 3 到 4 种之间。坡度 0—5° 的地形条件下乔木物种丰富度出现频率最高的数值是 3, 其余坡度条件下, 乔木物种丰富度出现频率最高的数值是 4; 乔木物种丰富度在西坡和西北坡出现频率最高的数值是 3, 其余坡向乔木物种丰富度出现频率最高的数值均是 4; 海拔梯度上, 乔木物种丰富度出现频率最高的数值呈现先增加后减少的趋势。残差类型面积统计表明, 较强预测水平面积和中等预测水平面积占研究区总面积的 94.62%, 表明预测效果较好。

关键词: 阿尔泰山; 小东沟林区; 物种丰富度; 预测模型; 空间分布; 地形; 宏观生态

Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China

JING Xuehui^{1,2}, CAO Lei¹, ZANG Runguo^{2,*}

1 Chengde Bureau of Environmental Protection of Hebei, Chengde 067000, China

2 Key Laboratory of Forest Ecology and Environment of State Forestry Administration, Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Beijing 100091, China

Abstract: Biodiversity is the basis of ecosystem functioning. Species richness has been widely used in biodiversity studies. Understanding the spatial distribution of species richness at landscape scale is vitally important in biodiversity conservation and natural resources management. Predicting species richness on large scale could help managers to rationally conserve and utilize natural resources. With the availability of remotely sensed data and the development of geographical information system (GIS) techniques spatial analysis on large scale has been possible. Integrating field sample plot investigation, remote sensing (RS), and geographic information system is a novel way to explore the distribution of species richness at macro spatial scales. The Altai Mountains is one of the magnificent Mountains of Asia, which distributes across Mongolia, China, Kazakhstan, and Russia. In this study, we adopted the above mentioned approach to predict the spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains in Xinjiang, Northwest China. In the south and north slope of the Xiaodonggou forest region, a investigation transect was selected respectively. In each of the transect, we

基金项目: 国家“十二五”科技支撑课题(2012BAD22B0301)

收稿日期: 2012-02-05; 修订日期: 2012-10-23

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

set investigation plots (each was 20 m×20 m in size) at intervals of 50 m along the altitude. All woody plants in the plots with diameter at breast height (*DBH*) ≥ 1 cm were identified and measured. The species richness in each plot was calculated. Normalized difference vegetation index (NDVI) was obtained from ETM+ image. In order to overlay ETM+ image and topographic factor maps, we selected ETM+ image in size of 30 m×30m. The predictor variables include climate, topography, and NDVI. Principle component analysis (PCA) and multiple linear regression were firstly utilized for obtaining the environmental factors and developing the predictive model of species richness distribution. Annual minimum temperature, annual average relative humidity, aspect, slope and NDVI were selected into the predictive model. Tree species richness distribution map was produced by GIS. The residual map was produced by the inverse distance weighted interpolation (IDW) method. The residual map was used to evaluate the validity of the model. In order to analyze variation of species richness with the topographic factors, the spatial distribution map of species richness was overlaid with the slope, aspect and elevation maps, respectively. The results showed that the areas with 3—4 tree species occupied 70.08% of the total study region. In slopes of 0—5°, the areas with tree species richness of 3 had the highest presence frequency, while in slopes of other ranges, the areas with tree species richness of 4 had the highest presence frequency. In west and northwest aspects, the areas with three tree species had the highest presence frequency, in the other aspects, however, the areas contained four tree species had the highest presence frequency. Along with the altitudinal gradient, the tree species richness showed a unimodal distribution pattern, which is consistent with the hypothesis of mid-domain effect. The statistic results of residual types showed that strongly predicting area and moderately predicting area together reached 94.62% of the total study area, which implied that our predictive model was robust and could be successfully implemented in this forest region.

Key Words: The Altai Mountains; Xiaodonggou forest region; species richness; predictive model; spatial distribution; topography; macroecology

当今世界人类面临着严重的生态环境危机,现存于地球上的生物以前所未有的速度灭绝^[1]。认识生物多样性格局及其产生的内在机制是对其进行保护和管理的基础^[2-4]。过去,人们对生物多样性的了解主要在很大的生物地理尺度上^[5-6],如生物多样性随纬度、经度和海拔梯度等地理梯度的变化规律^[7]。而在一个具体的林区或森林经营单位等景观尺度的研究还不是很多。山地具有复杂的温度、湿度、光照和土壤等环境因子变化梯度,是研究景观中生物多样性分布格局的理想场所。地形的变化往往能够反映环境异质性和多样性,因此,地形常常是生物多样性预测中必不可少的预测变量^[8]。地形因子主要包括海拔、坡度、坡向等。

山地生物多样性沿海拔梯度的变化格局是研究最多的一个方向,研究对象包括哺乳动物^[9-11]、鸟类^[12-13]、昆虫^[14]、植物^[4,6,15-16]等。众多研究表明,物种丰富度在中海拔区域达到最大值,即单峰格局^[17],这是最为广泛报道的格局分布形式;也有研究表明,物种丰富度随海拔升高呈现递减趋势、物种丰富度与海拔不存在特定关系^[18]。物种丰富度在中间海拔出现峰值原因主要受生态和生物进化因子的影响,也与面积、分布区限制等有关^[19-22]。

坡度作为地形因子中很重要的一个因子,常用于分析地形与物种多样性关系研究。在常绿阔叶林群落中,坡度过大或过小均可引起常绿阔叶林物种多样性的下降,中等坡度时物种多样性最高^[23]。也有研究表明,坡度对群落的分布影响不显著^[24]。

对具体植物群落,由于大的气候条件基本一致,使群落生境的分化主要体现在光照和土壤条件等方面^[23]。在寒冷和干旱地区,坡向对植被和物种分布的影响很显著^[25]。汤孟平^[23]基于 DEM 在群落尺度上分析了不同地形条件下群落物种多样性和胸高断面积的差异,结果表明,东坡物种多样性和胸高断面积最高,西南坡最低。沈泽昊等研究表明,决定生境光照条件的坡向因素对物种丰富度的影响并不显著^[8],这一结论同郑成洋研究的福建黄岗山东南坡和西北坡乔木物种多样性及群落特征的垂直变化结论相类似^[26]。

为了解释物种丰富度格局成因,生态学家提出了大量的假说,新的假说仍在不断地提出。陈胜东^[27]综述了目前讨论较多的物种丰富度格局假说,包括能量假说、地质历史过程假说、中域效应假说和 Rapoport 法则,并指出了物种丰富度的研究方法。

在景观水平上分析物种丰富度格局的方法主要是在典型调查取样的基础上,借助于 GIS 和 RS 技术,获取主要物种分布点的环境因子,建立物种丰富度预测模型,预测大量未调查地点的物种丰富度数值,给出景观内不同条件下的物种丰富度空间分布图,然后再将预测图与不同等级的环境因子如海拔、坡度、坡向等进行叠加和统计,分析物种丰富度随不同环境条件的变化规律。如有人利用 GIS 技术分析了温度、水深等参数与鲸鱼分布的相关性,获得了加拿大东部海岸鲸鱼的丰富度分布图,为更好地保护鲸鱼提供了科学依据^[27]。除物理因子外,植被因子,如基于卫星影像计算的归一化植被指数(NDVI)也是影响生物多样性格局的一个非常重要的因子,因此,有些研究中也把植被指数作为一个重要的预测变量^[28-29]。Coblentz 等利用由 DEM 提取出来的多个地形特征因子和生物多样性构建模型预测了区域尺度生物多样性的分布格局。预测结果表明,在拥有生物多样性较高的省份,该预测模型显示了较高的预测水平^[30]。研究证实了用此方法预测区域尺度生物多样性评估的可行性,为以后进行区域尺度生物多样性评估提供了新的简便的途径。沈泽昊等人^[8]应用 GAMs 途径,利用一组地形特征变量,对大老岭主峰天柱山区域一组植物多样性指标的空间格局进行了预测,结果表明,影响各多样性指标空间格局的地形变量主要是坡位和坡度等小尺度特征,大尺度海拔因素的影响并不显著。基于遥感影像的植被指数如 NDVI 可以用于定量研究与植被相关的空间异质性,他们是影响生物多样性格局的重要因子^[31-32]。Levin^[32]基于遥感影像的植被指数预测了以色列东北部的山区物种丰富度和稀有种空间分布,研究表明,物种丰富度与 NDVI 植被指数具有显著的正相关性。Noam^[28]等人在外业调查基础上,基于卫星影像的植被指数研究了不同空间、时间尺度上物种丰富度、稀有种分别与 NDVI 植被指数的关系。

阿尔泰山是亚洲的宏伟山系之一,东起蒙古巴彦温都尔,经我国新疆北部向西延至俄罗斯的鲁布佐夫斯克,横亘蒙古、中国、哈萨克斯坦、俄罗斯 4 国。中国境内的阿尔泰山属于其中段的西南坡,它由一系列南西向向北东逐渐升高的阶梯状山地组成,切割强烈。一般海拔在 1000—3500 m,其中北部最高的友谊峰海拔 4374 m。地形呈带状排列,由平原、低山、中山及高山 4 部分组成。近年来,阿勒泰地区因其民族风情独特,地广人稀,独特的自然地理孕育了丰富的资源,旅游业发展旺盛。旅游业发展的同时,因建房的需要林木被砍伐,游人休闲的同时破坏林下植被。阿尔泰山区也是牧民的夏季放牧场,放牧和旅游业的发展影响了当地物种生长、组成和主要生境,从而对生物多样性造成了一定程度的破坏,迫切需要加强保护与管理。目前,我们对阿尔泰山林区物种丰富度空间分布还了解甚少,有关生态学研究工作也不多^[33-36]。本文在野外调查基础上,以遥 RS、GIS 和统计方法相结合,利用多元线性回归构建模型,预测了阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布。主要分析阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度在不同地形因子条件下的分布规律,从而为阿尔泰林区生物多样性的保护与可持续利用提供科学依据。

1 研究区概况

阿勒泰位于新疆最北部,有山地、平原、荒漠三大地貌特征。地理位置 N45°59′—49°10′, E85°31′—91°01′。具有大陆性寒温带气候特征。气候多严寒,冷暖悬殊,年较差大,日较差也显著。年均温 4.5℃,1 月平均气温 -16.7℃,7 月平均气温 22.1℃,极端最低气温 -43.5℃,极端最高温度 37.6℃。冬季寒冷期 >110 d,严寒期(≤-20℃)约 58—63 d。年均降水量 183 mm,主要集中在 6—12 月份,占年降水量的 70%—80%。年均日照时数 3010.8 h。年均风速 1.0—5.0 m/s,多 8 级以上大风,春季最多,夏季次之,秋冬空气比较稳定。年降雪 140—150 d,积雪深度 50—60 cm,最深可达 89 cm。

本文所指的阿尔泰山山地植被主要指分布于我国境内阿尔泰山南坡中段的小东沟林区辖域范围内的植被。其中,森林主要分布在陡斜的阴坡,在趋于干旱的阳坡多为草甸草原。乔木林群落层次结构简单,林分稀疏,树种组成简单,主要有西伯利亚落叶松(*Larix sibirica*),还有较少的西伯利亚云杉(*Picea obovata*)、西伯利亚冷杉(*Abies sibirica*),落叶阔叶树种主要有欧洲山杨(*Populus tremula*)、疣枝桦(*Betula pendula*)和河谷中的

苦杨(*Populus laurifolia*)等。研究区位于小东沟森林公园内的小东沟山系,距离阿勒泰市区北约 10 km 处。该区年降水较丰富,且降水量随海拔的升高而递增,同时也由北向南,由西向东逐渐减少。年降水量中山带 300—500 mm,高山带 600—800 mm,海拔升高以每百米 30—80 mm 递增。夏季多雨,冬季积雪,气候、地貌和植被垂直带分布明显。

2 研究方法

2.1 外业调查

在小东沟的南、北两坡面设置海拔 1100—1700 m 和 1200—2200 m 的样带。以海拔 50 m 为间隔设置一个 20 m×20 m 的样地。调查内容包括:1)群落特征,在每个样地内记录 $DBH \geq 1$ cm 的乔木种名、胸径(1.3 m 处)和树高。灌木记录种名、高度和盖度。2)环境因子,利用 GPS 在样地中心位置记录样地的地理坐标和海拔,用罗盘实测样地坡度,同时记录样地所在坡面、坡位,样方内巨石含量及受放牧干扰与否。3)土壤,在每一样地内选择代表平均状况的地点挖掘一土壤剖面,用铝盒取 0—20 cm 土层中的土适量,称土样鲜重,另取适量土放入土袋,带回实验室分析。土样分析指标包括有机质、全 N 和全 P 含量。每一秤过鲜重的铝盒样品再经过 48 h, 105 ℃ 的烘干,待铝盒冷却称量土样干重,计算样地土壤水分含量。

2.2 样地物种丰富度统计

上述调查数据输入数据库,分别统计每个调查样地内乔木层的丰富度指数 R 。

$$\text{丰富度指数 } R=S$$

式中, S 为每个调查样地中的物种数。

2.3 气象数据的获取

气象数据取自新疆北疆地区尽量靠近研究区的 30 个气象站的平均记录,主要指标包括气象站经度、纬度、海拔高度、年均气温、年最高气温、年最低气温、年降水量和年均相对湿度。通过薄板光顺样条函数(Thin Plate Smooth Spline)插值方法对气象因子进行插值,获取各样地点的气象数据^[37]。各气象站的地理坐标和海拔高程作为插值自变量。选择样条法对气象因子进行插值的原因在于,样条法具有不受空间尺度影响和不直接依赖空间平稳的协方差的优点。插值过程均在 ArcGIS9.1 软件中完成。选择输出栅格大小为 30 m,其余选项按照系统默认程序进行。

2.4 地形空间数据

DEM 采用 1:50000 数字化地形图在具有水文增强作用的地形插值程序 ANUDEM4.6 中完成^[38],为能与气候因子相匹配,选择最终输出栅格大小为 30 m。利用 ArcGIS9.1 软件的空间分析功能提取各样地点的坡度、坡向和海拔数据作为预测物种丰富度的地形预测变量。

2.5 影像处理

收集覆盖研究区的 ETM+影像一景,成像时间 2000 年 8 月 16 日。利用数字化后的 1:50000 地形图对影像进行配准,对配准过的影像做了辐射校正。为能与由 DEM 生成的坡度、坡向等图叠加,对配准过的影像进行了重采样,选择像元输出大小为 30 m×30 m。从影像上提取了 DNVI^[39-40]。

2.6 数据分析和模型建立

为避免因子之间存在严重的共线性,将用于构建小东沟乔木物种丰富度模型的预测变量包括年均气温、年最高气温、年最低气温、年降水量、年均相对湿度、坡度、坡向、海拔和 NDVI 植被指数共 9 个因子做主成分分析,提取主要信息。采用方差最大化正交旋转方法,并设定特征根大于 1 为提取标准。利用多元线性回归分析构建物种丰富度预测模型。选择强行进入法对自变量进行选入,其它选项按照系统默认。

2.7 制图

模型构建后,借助 ArcGIS9.1 软件生成小东沟林区乔木物种丰富度空间分布图^[41-42]。利用残差图评价物种丰富度预测精度。残差由模拟值和样地实际值相减得到。借助 ArcGIS9.1 的空间分析模块,采用反距离权重插值方法(IDW)生成小东沟乔木物种丰富度残差图。选择输出栅格大小 30 m。采用标准差用于显示丰富

度残差图。依据标准差的范围大小,将其分成弱(Std. Dev<-2 或>2)、中(Std. Dev=-2—-1 或 1-2)和强(Std. Dev=-1—1)3 个水平。

3 结果

3.1 调查的物种

小东沟林区乔木物种组成较简单,本次调查的乔木样地中,共调查到 7 个种,分别是西伯利亚落叶松、西伯利亚云杉、西伯利亚冷杉、欧洲山杨、疣枝桦、苦杨和黄花柳,分属于 6 属 3 科。样地内物种丰富度最高的达到 5,最低的仅由 1 个物种组成。其中,由 2—4 个物种组成的样地占多数比例。

3.2 预测模型

通过主成分分析提取出 2 个主成分,多数气象因子与海拔因子相关性都很高,主要原因为对气象因子插值生成连续表面时,海拔因子是其中的一个变量,因此,最终决定将海拔因子从预测变量模型中去除^[43]。

多元线性回归分析结果见表 1,相关系数 R 为 0.682,决定系数 R^2 为 0.465,校正的决定系数为 0.307,模型效果可以接受。 P 值在 0.05 水平上显著。

构建的小东沟乔木物种丰富度回归方程如下:

$$S_{\text{丰富度}} = 24.913 - 5.301 \times \text{年最低温度} - 2.085 \times \text{年均相对湿度} + 0.002 \times \text{坡向} - 0.041 \times \text{坡度} + 0.011 \times \text{NDVI}$$

其中,年均相对湿度和年最低温度进行气象插值时构建的回归模型如下:

$$Z_{\text{年均相对湿度}} = 93.5486525933475 - 0.0000128406457X - 0.0000054522413Y - 0.0016265870593H_{\text{海拔}}$$

$$Z_{\text{年最低温度}} = 7.45638827307001 - 0.0000053960208X - 0.0000041006987Y + 0.00029410866777H_{\text{海拔}}$$

式中, X,Y 表示气象站地理坐标。

表 1 模型总结

Table 1 The table of model summary

模型 Model	R	决定系数 R^2	校正的决定系数 Adjusted R^2	因变量预测值的标准误差 Std. Error of the Estimate
1	0.682	0.465	0.307	0.98715

预测因子: (常数), 年最低温度, 年均相对湿度, 坡向, 坡度, NDVI

3.3 乔木物种丰富度空间分布及预测精度评价

小东沟乔木物种丰富度多元线性回归模型构建后,借助 ArcGIS9.1 的空间分析功能生成小东沟林区乔木物种丰富度分布图(图 1)。将物种丰富度分布图与坡度、坡向和海拔图分别叠加并分级统计(图 2),得出乔木物种丰富度在不同地形条件下出现频率最高的数值分布范围。

由图 1 可见,小东沟林区乔木物种丰富度主要集中在 3—4 之间,占研究区总面积的 70.28%。将乔木物种丰富度图与坡度图叠加发现,坡度 0—5°的地形条件下乔木物种丰富度出现频率最高的数值是 3,其余坡度条件下,乔木物种丰富度出现频率最高的数值是 4。

将乔木物种丰富度图与坡向图叠加,可见,小东沟林区乔木物种丰富度在西坡和西北坡出现频率最高的数值是 3,其余坡向乔木物种丰富度出现频率最高的数值均是 4。

将乔木物种丰富度图与海拔图叠加,可见,海拔 1042—1100 m 乔木物种丰富度出现频率最高的数值较低,仅为 1;海拔上升,乔木物种丰富度出现频率最高的数值呈增加趋势,

海拔 1500—2100 m 乔木物种丰富度出现频率最高的数值达到 4,海拔 2100—2200 m 乔木物种丰富度出

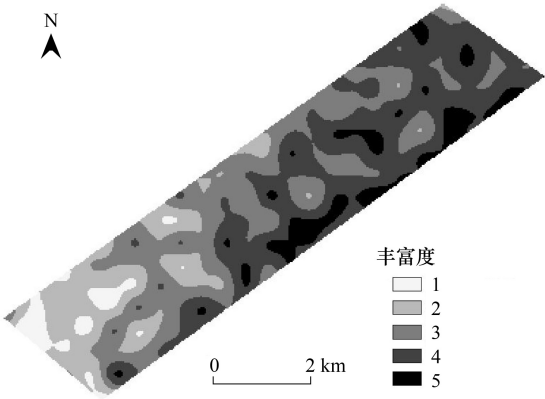


图 1 小东沟物种丰富度预测图

Fig. 1 Predictive map of species richness in Xiaodonggou

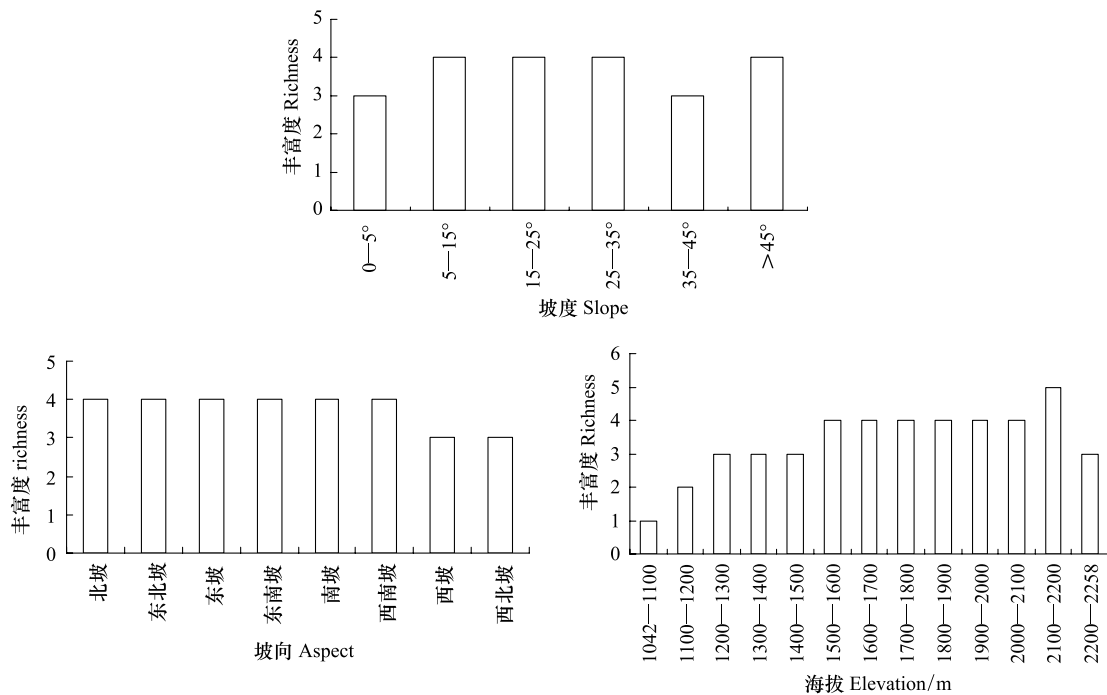


图2 不同地形因子条件下乔木物种丰富度出现频率最高的数值分布范围

Fig.2 The arbor species richness distribution value range of highest presence frequency in different topographic conditions

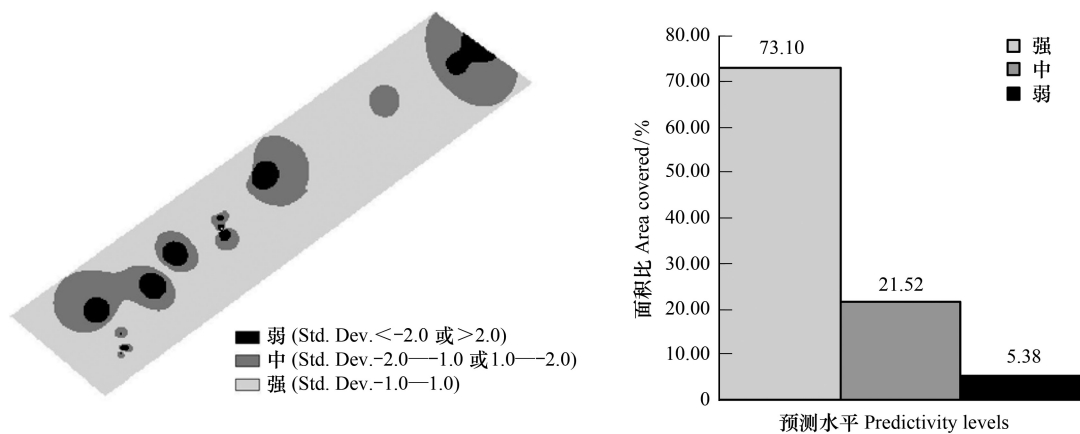


图3 小东沟乔木物种丰富度预测残差图

Fig.3 Residual map of tree species richness in Xiaodonggou

现频率最高的数值达到最高值5,海拔继续上升,乔木物种丰富度又开始呈下降趋势。海拔梯度上,小东沟林区乔木物种丰富度出现频率最高的数值呈现先增加后减少的趋势。

由图3可见,小东沟林区乔木物种丰富度残差图中,较强预测水平占总面积的73.10%,中等预测水平占总面积的21.52%,而较弱预测水平仅占5.38%。综合看,较强预测水平和中等预测水平面积占总面积的94.62%,表明小东沟林区乔木物种丰富度预测效果较好,较好反映了小东沟林区乔木物种丰富度空间分布现状。

4 讨论

目前地球上的生物物种每年以0.1%—1.1%的速率在急剧减少,人类社会开始进入保护生物多样性的时代^[44]。通过大面积外业调查获得物种多样性信息,不仅费时费力,而且对于某些偏远地区也不可能。通过快速、简捷的方法预测物种丰富度的空间分布格局,从而确定物种多样性的保护范围和等级已成为实现大尺

度生物多样性保育的一种重要途径^[45]。预测模型被成功的应用于各种保护生物学研究,用于解决紧迫的多样性保护问题^[46-47]。因多数物种分布、多度和动态数据的获取很受限制,预测模型允许以较少的数据样本来推测整个潜在研究范围的预测分布区^[48-49]。为能够保证上述过程的可操作性,需要依据详细的环境数据构建物种—环境关系,从而预测取样点外的物种分布格局。外业调查,一定要保证分层设计取样,并包含环境变化全部范围,从而提高预测模型的精度^[50-51]。

Dogan^[41]等将 GIS 和 RS 相结合采用一种新的方法预测了土耳其那利汉森林的多样性空间分布,选取了 Shannon-Wiener 多样性指数、Simpson 多样性指数和物种丰富度 3 个多样性指数,自变量包括地形因子、地质因子、土壤、气候、植被指数和土地覆盖类型。利用主成分分析方法筛选主要的多样性环境影响因子,利用多元回归分析方法对各多样性指数构建回归方程,利用残差图评价预测精度。研究表明,海拔和气候因子是决定植物物种多样性的最主要因子,地质信息、土壤、土地覆盖和土地利用类型也对植物多样性有影响。模型预测结果表明,Shannon-Wiener 和物种丰富度模型适合于预测稀有种覆盖类型,而 Simpson 多样性预测模型适合于预测单个植被类型占优势的地区。本研究选取气象、地形和 NDVI 植被指数等指标作为预测变量首次定量预测了阿尔泰山小东沟林区乔木物种丰富度空间分布格局,并将乔木物种丰富度分布预测图与坡度、坡向和海拔图叠加,探讨不同地形因子条件下乔木物种丰富度分布规律。将 8 个预测变量进行回归分析,经强行进入法构建回归方程后,进入模型的预测变量有年最低温度、年均相对湿度、坡向、坡度和 NDVI 植被指数。

物种丰富度的空间分布受多种因素的影响^[52]。许多地形因子对植被和生物多样性的分布具有重要影响^[30,53-54]。一般在寒冷和干旱地区,坡向对植物物种分布具有显著影响^[8],主要是坡向影响了热量的空间分布,从而进一步影响到土壤的水分状况,温度与水分状况的组合对物种的分布具有决定性影响。坡度直接影响土壤水分、土壤厚度、土壤营养成分和受干扰情况^[55],从而影响物种的生长发育,因而与物种丰富度关系也密切。本研究结果表明乔木物种丰富度与坡向和坡度都存在显著相关关系。唐志尧^[24]等研究了秦岭太白山木本植物物种多样性的梯度格局,结果表明,在该区域海拔梯度和坡向是决定植物群落分布的主要因素,而坡度对群落的分布影响不显著。

多数研究案例表明,NDVI 与物种丰富度的相关系数普遍较低^[25,31,56]。本研究选取 NDVI 植被指数作为预测小东沟林区乔木物种丰富度的预测变量之一,结果表明,NDVI 植被指数与小东沟林区乔木物种丰富度相关性也较低,与多数人的研究结论相类似,可能性的原因有所用的影像空间分辨率相对较低、关注了小部分的植物物种、或是仅采用了一期影像数据^[32]。也有一些山区之外的研究案例表明,NDVI 与物种丰富度关系除了呈现正相关关系,还存在单峰格局^[56]、负相关关系^[57]。

物种丰富度随海拔梯度的分布格局及其形成机制是生态研究的热点。有研究表明,物种丰富度随海拔升高表现为先增加后减少的单峰趋势,即中间海拔膨胀^[19,58];也有研究表明,物种丰富度随海拔升高呈单调递减趋势^[59]。本研究将物种丰富度预测图与海拔图叠加,可见,随海拔升高,小东沟林区乔木物种丰富度呈现先增加后减少的单峰格局,物种丰富度随海拔梯度的变化规律,基本上符合中间膨胀假说。将物种丰富度图与坡度图叠加,可见,坡度 0—5°时,物种丰富度相对较低,主要因为坡度较为平稳,小东沟林区是牧民的主要放牧区,由于牲畜啃食,破坏幼苗幼树,导致森林树木无法正常更新,因此物种多样性相对较低。随坡度增加,牲畜可到区域相对减少,对物种影响相对较小,因此,物种丰富度有所增加。将物种丰富度图与坡向图叠加,可见,研究区的西坡和西北坡物种丰富度相对较低,其余坡向物种丰富度相对较高,这与外业调查时所观测的现象相一致。

利用气象因子、地形因子和植被指数预测小东沟林区乔木物种丰富度空间分布是一种快速、节俭、可行的方法。因研究所用数据较容易收集,因此,该研究方法也可以推广到其它地方做相类似的研究。利用遥感、地理信息系统和统计分析相结合,可简便、快速的预测大尺度范围内物种多样性分布现状,从而有助于进行生物多样性保育区划,为制定合理可行的生物多样性经营方案提供可靠的依据。

References:

- [1] Ren H B, Zhang L Y, Ma K P. Comparison of fractal characteristics of species richness patterns between different plant taxonomic groups along an altitudinal gradient. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(6): 901-909.
- [2] Rahbek C. The elevational gradient of species richness: a uniform pattern? *Ecography*, 1995, 18(2): 200-205.
- [3] Rahbek C, Graves G R. Multiscale assessment of patterns of avian species richness. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2001, 98(8): 4534-4539.
- [4] Wang Z H, Tang Z Y, Fang J Y. Altitudinal patterns of seed plant richness in the Gaoligong mountains, south-east Tibet, China. *Diversity and Distributions*, 2007, 13(6): 845-854.
- [5] Gaston K J. Global patterns in biodiversity. *Nature*, 2000, 405(6783): 220-227.
- [6] Weiser M D, Enquist B J, Boyle B, Killeen T J, Jørgensen P M, Fonseca G, Jennings M D, Kerkhoff A J, Lacher Jr T E, Monteagudo A, Vargas M P N, Phillips O L, Swenson N G, Martínez R V. Latitudinal patterns of range size and species richness of New World woody plants. *Global Ecology and Biogeography*, 2007, 16(5): 679-688.
- [7] Willig M R, Kaufman D M, Stevens R D. Latitudinal gradients of biodiversity: pattern, process, scale, and synthesis. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2003, 34: 273-309.
- [8] Shen Z H, Zhao J. Prediction of the spatial patterns of species richness based on the plant-topography relationship: an application of GAMs approach. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(3): 953-963.
- [9] Heaney L R. Small mammal diversity along elevational gradients in the Philippines: an assessment of patterns and hypotheses. *Global Ecology and Biogeography*, 2001, 10(1): 15-39.
- [10] McCain C M. Elevational gradients in diversity of small mammals. *Ecology*, 2005, 86(2): 366-372.
- [11] Rickart E A. Elevational diversity gradients, biogeography and the structure of montane mammal communities in the intermountain region of North America. *Global Ecology and Biogeography*, 2001, 10(1): 77-100.
- [12] Rahbek C. The relationship among area, elevation, and regional species richness in neotropical birds. *American Naturalist*, 1997, 149(5): 875-902.
- [13] Shiu H J, Lee P F. Seasonal variation in bird species richness along elevational gradients in Taiwan. *Acta Zoologica Taiwanica*, 2003, 14(1): 1-21.
- [14] Sanders N J. Elevational gradients in ant species richness: area, geometry, and Rapoport's rule. *Ecography*, 2002, 25(1): 25-32.
- [15] Zhao S Q, Fang J Y. Patterns of species richness for vascular plants in China's nature reserves. *Diversity and Distributions*, 2006, 12(4): 364-372.
- [16] Grytnes J A, Beaman J H. Elevational species richness patterns for vascular plants on Mount Kinabalu, Borneo. *Journal of Biogeography*, 2006, 33(10): 1838-1849.
- [17] Chi X L, Tang Z Y. Effects of area, temperature and geometric constraints on elevational patterns of species richness: a case study in the Mountain Taibai, Qinling Mountains, China. *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2011, 35(4): 362-370.
- [18] Feng J M, Xu C D, Yang L F. Effects of altitudinal range on species richness patterns and mid-domain-effect along the altitudinal gradients. *Ecology and Environment*, 2008, 17(1): 290-295.
- [19] Lomolino M V. Elevation gradients of species-density: historical and prospective views. *Global Ecology and Biogeography*, 2001, 10(1): 3-13.
- [20] Rowe R J. Elevational gradient analyses and the use of historical museum specimens: a cautionary tale. *Journal of Biogeography*, 2005, 32(11): 1883-1897.
- [21] Kattan G H, Franco P. Bird diversity along elevational gradients in the Andes of Colombia: area and mass effects. *Global Ecology and Biogeography*, 2004, 13(5): 451-458.
- [22] Grytnes J A, Vetaas O R. Species richness and altitude: a comparison between null models and interpolated plant species richness along the Himalayan altitudinal gradient, Nepal. *The American Naturalist*, 2002, 159(3): 294-304.
- [23] Tang M P, Zhou G M, Shi Y J, Chen Y G, Wu Y Q, Zhao M S. Difference analysis of community biodiversity and basal area under different terrain. *Scientia Silvae Sinicae*, 2007, 43(6): 27-31.
- [24] Tang Z Y, Fang J Y, Zhang L. Patterns of woody plant species diversity along environmental gradients on Mt. Taibai, Qinling Mountains. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 115-122.
- [25] Gillespie T W. Predicting woody-plant species richness in tropical dry forests: a case study from south Florida, USA. *Ecological Applications*, 2005, 15(1): 27-37.

- [26] Zheng C Y, Liu Z L, Fang J Y. Tree species diversity along altitudinal gradient on southeastern and north-western slope of Mt. Huanggang, Wuyi Mountains, Fujian, China. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 63-74.
- [27] Cheng S D, Xu H G, Cao M C, Zhang D Q, Wu W W. Advances in the study of species richness pattern. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2011, 27(3): 1-9.
- [28] Levin N, Shmida A, Levanoni O, Tamari H, Kark S. Predicting mountain plant richness and rarity from space using satellite-derived vegetation indices. *Diversity and Distributions*, 2007, 13(6): 692-703.
- [29] Benayas R, José M, Scheiner S M. Plant diversity, biogeography and environment in Iberia: patterns and possible causal factors. *Journal of Vegetation Science*, 2002, 13(2): 245-258.
- [30] Coblenz D D, Riitters K H. Topographic controls on the regional-scale biodiversity of the south-western USA. *Journal of Biogeography*, 2004, 31(7): 1125-1138.
- [31] Rocchini D, Chiarucci A, Loiselle S A. Testing the spectral variation hypothesis by using satellite multispectral images. *Acta Oecologica*, 2004, 26(2): 117-120.
- [32] Levin N, Shmida A, Levanoni O, Tamari H, Kark S. Predicting mountain plant richness and rarity from space using satellite-derived vegetation indices. *Diversity and Distributions*, 2007, 13(6): 692-703.
- [33] Zang R G, Cheng K W, Li J Q, Zhang W Y, Chen X F, Tao J P. *Biodiversity Conservation and Restoration of Natural Forests*. Beijing: China Science and Technology Press, 2005.
- [34] Zeng D, Li X B, Yu H. The analysis on Slash regeneration characteristic of *Larix sibirica* and *Picea obvata* in Altai Mountains. *Arid Zone Research*, 2000, 17(3): 46-52.
- [35] Chen W L, Yang C Y. A floristic study on the seed plant in Mts. Altay of China. *Acta Botanica Yunnanica*, 2000, 22(4): 371-378.
- [36] Shi X H, Zhou L S. A study on dynamics of forest resources in the Tianshan Mountains and the Altay Mountains in Xinjiang. *Journal of August 1st Agricultural College*, 1995, 18(2): 9-15.
- [37] Garzón M B, de Dios R S, Ollero H S. Predictive modelling of tree species distributions on the Iberian Peninsula during the Last Glacial Maximum and Mid-Holocene. *Ecography*, 2007, 30(1): 120-134.
- [38] Yan H. Modeling spatial distribution of climate in China using thin plate smoothing spline interpolation. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(2): 163-169.
- [39] Seto K C, Fleishman E, Fay J P, Betrus C J. Linking spatial patterns of bird and butterfly species richness with Landsat TM derived NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, 2004, 25(20): 4309-4324.
- [40] Pettorelli N, Vik J O, Mysterud A, Gaillard J M, Tucker C J, Stenseth N C. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology and Evolution*, 2005, 20(9): 503-510.
- [41] Dogan H M, Dogan M. A new approach to diversity indices-modeling and mapping plant biodiversity of Nallihan (A3-Ankara/Turkey) forest ecosystem in frame of geographic information systems. *Biodiversity and Conservation*, 2006, 15(3): 855-878.
- [42] Vargas J H, Consiglio T, Jørgensen P M, Croat T B. Modelling distribution patterns in a species-rich plant genus, *Anthurium* (Araceae), in Ecuador. *Diversity and Distributions*, 2004, 10(3): 211-216.
- [43] Collingham Y C, Wadsworth R A, Huntley B, Hulme P E. Predicting the spatial distribution of non-indigenous riparian weeds: issues of spatial scale and extent. *Journal of Applied Ecology*, 2000, 37(S1): 13-27.
- [44] Fang J Y. Exploring altitudinal pattern of plant diversity of China's mountains. *Biodiversity Science*, 2004, 12(1): 1-4.
- [45] Griffiths G H, Mather P M. Remote sensing and landscape ecology: landscape patterns and landscape change. *International Journal of Remote Sensing*, 2000, 21(13/14): 2537-2539.
- [46] Brotons L, Mañosa S, Estrada J. Modelling the effects of irrigation schemes on the distribution of steppe birds in Mediterranean farmland. *Biodiversity and Conservation*, 2004, 13(5): 1039-1058.
- [47] Linkie M, Chapron G, Martyr D J, Holden J, Leader-Williams N. Assessing the viability of tiger subpopulations in a fragmented landscape. *Journal of Applied Ecology*, 2006, 43(3): 576-586.
- [48] Anderson R P, Lew D, Peterson A T. Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*, 2003, 162(3): 211-232.
- [49] Guisan A, Thuiller W. Predicting species distribution: offering more than simple habitat models. *Ecology Letters*, 2005, 8(9): 993-1009.
- [50] Hortal J, Lobo J M, Martín-Piera F. Forecasting insect species richness scores in poorly surveyed territories: the case of the Portuguese dung beetles (Col. Scarabaeinae). *Biodiversity and Conservation*, 2001, 10(8): 1343-1367.
- [51] Hortal J, Lobo J M. An ED-based protocol for optimal sampling of biodiversity. *Biodiversity and Conservation*, 2005, 14(12): 2913-2947.
- [52] Dornelas M, Phillip D A T, Magurran A E. Abundance and dominance become less predictable as species richness decreases. *Global Ecology and*

Biogeography, 2011, 20(6): 832-841.

- [53] Allen R B, Peet R K, Baker W L. Gradient analysis of latitudinal variation in Southern Rocky Mountain forests. *Journal of Biogeography*, 1991, 18(2): 123-139.
- [54] Burke I C, Lauenroth W K, Riggle R, Brannen P, Madigan B, Beard S. Spatial variability of soil properties in the shortgrass steppe; the relative importance of topography, grazing, microsite, and plant species in controlling spatial patterns. *Ecosystems*, 1999, 2(5): 422-438.
- [55] Kong F H, Li X Z, Yin H W, Wang X G, Xie F J. Gradient analysis on the influence of terrain on the forest landscape pattern in the burned blanks of the north slope of Mt. Daxing'anling. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(9): 1863-1871.
- [56] Fairbanks D H K, McGwire K C. Patterns of floristic richness in vegetation communities of California: regional scale analysis with multi-temporal NDVI. *Global Ecology and Biogeography*, 2004, 13(3): 221-235.
- [57] Oindo B O, Skidmore A K. Interannual variability of NDVI and species richness in Kenya. *International Journal of Remote Sensing*, 2002, 23(2): 285-298.
- [58] Bhattarai K R, Vetaas O R. Variation in plant species richness of different life forms along a subtropical elevation gradient in the Himalayas, east Nepal. *Global Ecology and Biogeography*, 2003, 12(4): 327-340.
- [59] Fosaa A M. Biodiversity patterns of vascular plant species in mountain vegetation in the Faroe Islands. *Diversity and Distributions*, 2004, 10(3): 217-223.

参考文献:

- [1] 任海保, 张林艳, 马克平. 不同植物类群物种丰富度垂直格局分形特征的比较. *植物生态学报*, 2005, 29(6): 901-909.
- [8] 沈泽昊, 赵俊. 基于植物-地形关系的物种丰富度空间格局预测——GAMs 途径的一种应用. *生态学报*, 2007, 27(3): 953-963.
- [17] 池秀莲, 唐志尧. 面积、温度及分布区限制对物种丰富度海拔格局的影响:以秦岭太白山为例. *植物生态学报*, 2011, 35(4): 362-370.
- [18] 冯建孟, 徐成东, 杨丽芬. 物种分布宽度对种子植物物种丰富度垂直分布格局及“中间膨胀效应”的影响. *生态环境*, 2008, 17(1): 290-295.
- [23] 汤孟平, 周国模, 施拥军, 陈永刚, 吴亚琪, 赵明水. 不同地形条件下群落物种多样性与胸高断面面积的差异分析. *林业科学*, 2007, 43(6): 27-31.
- [24] 唐志尧, 方精云, 张玲. 秦岭太白山木本植物物种多样性的梯度格局及环境解释. *生物多样性*, 2004, 12(1): 115-122.
- [26] 郑成洋, 刘增力, 方精云. 福建黄岗山东南坡和西北坡乔木物种多样性及群落特征的垂直变化. *生物多样性*, 2004, 12(1): 63-74.
- [27] 陈胜东, 徐海根, 曹铭昌, 张党权, 吴伟伟. 物种丰富度格局研究进展. *生态与农村环境学报*, 2011, 27(3): 1-9.
- [33] 臧润国, 成克武, 李俊清, 张炜银, 陈雪锋, 陶建平. 天然林生物多样性保育与恢复. 北京:中国科学技术出版社, 2005.
- [34] 曾东, 李行斌, 于恒. 新疆落叶松、新疆云杉迹地天然更新特点与规律的辨析. *干旱区研究*, 2000, 17(3): 46-52.
- [35] 陈文俐, 杨昌友. 中国阿尔泰山种子植物区系研究. *云南植物研究*, 2000, 22(4): 371-378.
- [36] 时旭辉, 周林生. 新疆天山北坡及阿尔泰山两大林区森林资源动态的研究. *八一农学院学报*, 1995, 18(2): 9-15.
- [38] 阎洪. 薄板光顺样条插值与中国气候空间模拟. *地理科学*, 2004, 24(2): 163-169.
- [44] 方精云. 探索中国山地植物多样性的分布规律. *生物多样性*, 2004, 12(1): 1-4.
- [55] 孔繁花, 李秀珍, 尹海伟, 王绪高, 解伏菊. 地形对大兴安岭北坡林火迹地森林景观格局影响的梯度分析. *生态学报*, 2004, 24(9): 1863-1871.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 9 May, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Analysis of subject trends in research on sustainable development CHA Na, WU Jianguo, YU Runbing (2637)
- Metabolic scaling theory and its application in microbial ecology HE Jizheng, CAO Peng, ZHENG Yuanming (2645)
- Research progress on endophyte-promoted plant nitrogen assimilation and metabolism
..... YANG Bo, CHEN Yan, LI Xia, et al (2656)
- Review on the development of landscape architecture ecology in China YU Yijing, MA Jinyi, YUAN Yunjue (2665)

Autecology & Fundamentals

- Evaluating tillage practices impacts on soil organic carbon based on least limiting water range
..... CHEN Xuewen, WANG Nong, SHI Xiuhuan, et al (2676)
- Controls over soil organic carbon content in grasslands TAO Zhen, CI Dan Langjie, ZHANG Shenghua, et al (2684)
- Antagonistic interactive effects of exogenous calcium ions and parasitic *Cuscuta australis* on the morphology and structure of
Alternanthera philoxeroides stems CHE Xiuxia, CHEN Huiping, YAN Qiaodi, et al (2695)
- Correlation between pigment content and reflectance spectrum of *Phyllostachys pubescens* stems during its rapid growth stage
..... LIU Lin, WANG Yukui, WANG Xingxing, et al (2703)
- Response of leaf functional traits and the relationships among them to altitude of *Salix dissa* in Balang Mountain
..... FENG QiuHong, CHENG Ruimei, SHI Zuomin, et al (2712)
- Effects of phosphate and organic matter applications on arsenic uptake by and translocation in *Isatis indigotica*
..... GAO Ningda, GENG Liping, ZHAO Quanli, et al (2719)
- Effect of different preys on the predation and prey preference of *Orius similis* ... ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (2728)
- Effects of predation risk on the patterns of functional responses in reed vole foraging
..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, YAO Xiaoyan, et al (2734)
- Phylogenetic analysis of Veneridae (Mollusca: Bivalvia) based on the mitochondrial cytochrome c oxidase subunit I gene fragment ...
..... CHENG Hanliang, PENG Yongxing, DONG Zhiguo, et al (2744)
- Effects of different ecological environments in the laboratory on the covering behavior of the sea urchin *Glyptocidaris crenularis*
..... CHANG Yaqing, LI Yunxia, LUO Shibin, et al (2754)

Population, Community and Ecosystem

- The ecosystem services value change in the upper reaches of Ganjiang River Based on RS and GIS
..... CHEN Meiqiu, ZHAO Baoping, LUO Zhijun, et al (2761)
- The reference condition for Eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — response variables
..... ZHENG Binghui, ZHU Yanzhong, LIU Lusan, et al (2768)
- The reference condition for eutrophication Indicator in the Yangtze River Estuary and adjacent waters — Causal Variables
..... ZHENG Binghui, ZHOU Juan, LIU Lusan, et al (2780)
- The stress response of biological communities in China's Yalu River Estuary and neighboring waters
..... SONG Lun, WANG Nianbin, YANG Guojun, et al (2790)
- Ecological characteristics of macrobenthic communities and its relationships with environmental factors in Hangzhou Xixi Wetland
..... LU Qiang, CHEN Huili, SHAO Xiaoyang, et al (2803)
- Effects of biological soil crusts on desert soil nematode communities LIU Yanmei, LI Xinrong, ZHAO Xin, et al (2816)
- Associations between weather factors and the spring migration of the horned gall aphid, *Schlechtendalia chinensis*
..... LI Yang, YANG Zixiang, CHEN Xiaoming, et al (2825)
- Effects of vegetation on soil aggregate stability and organic carbon sequestration in the Ningxia Loess Hilly Region of northwest
China CHENG Man, ZHU Qiulian, LIU Lei, et al (2835)

- Simulation of the carbon cycle of *Larix chinensis* forest during 1958 and 2008 at Taibai Mountain, China LI Liang, HE Xiaojun, HU Lile, et al (2845)
- Effects of different disturbances on diversity and biomass of communities in the typical steppe of loess region CHEN Furong, CHENG Jimin, LIU Wei, et al (2856)
- Age structure and point pattern of *Butula platyphylla* in Wulashan Natural Reserve of Inner Mongolia HU Ercha, WANG Xiaojiang, ZHANG Wenjun, et al (2867)
- The impacts of the Southwest China drought on the litterfall and leaf area index of an evergreen broadleaf forest on Ailao Mountain QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (2877)
- Spatial distribution of tree species richness in Xiaodonggou forest region of the Altai Mountains, Northwest China JING Xuehui, CAO Lei, ZANG Runguo (2886)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- The ecological risk assessment of Taihu Lake watershed XU Yan, GAO Junfeng, GUO Jianke (2896)
- The value of fixing carbon and releasing oxygen in the Guanzhong-Tianshui economic region using GIS ZHOU Zixiang, LI Jing, FENG Xueming (2907)
- Resource and Industrial Ecology**
- Effect of different controlled-release nitrogen fertilizers on availability of heavy metals in contaminated red soils under waterlogged conditions LIANG Peijun, XU Chao, WU Qitang, et al (2919)
- Research Notes**
- Effect of heat and high irradiation stress on Deg1 protease and D1 protein in wheat chloroplasts and the regulating role of salicylic acid ZHENG Jingjing, ZHAO Huijie, HU Weiwei, et al (2930)
- The difference of drought impacts on winter wheat leaf area index under different CO₂ concentration LI Xiaohan, WU Jianjun, LÜ Aifeng, et al (2936)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索自然奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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

本期责任副主编 欧阳志云

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 33 卷 第 9 期 (2013 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 9 (May, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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@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 90.00 元