

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第11期 Vol.33 No.11 **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 11 期 2013 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 新一代 Landsat 系列卫星: Landsat 8 遥感影像新增特征及其生态环境意义 徐涵秋, 唐 菲 (3249)
- 两种自然保护区设计方法——数学建模和计算机模拟 王宜成 (3258)
- 家域研究进展 张晋东, Vanessa HULL, 欧阳志云 (3269)
- 浅水湖泊生态系统稳态转换的阈值判定方法 李玉照, 刘 永, 赵 磊, 等 (3280)
- 辐射传输模型多尺度反演植被理化参数研究进展 肖艳芳, 周德民, 赵文吉 (3291)
- 微囊藻毒素对陆生植物的污染途径及累积研究进展 靳红梅, 常志州 (3298)

个体与基础生态

- 年龄、性别及季节因素对千岛湖岛屿社鼠最大活动距离的影响 叶 彬, 沈良良, 鲍毅新, 等 (3311)
- 寄主大小及寄生顺序对蝇蛹佣小蜂寄生策略的影响 詹月平, 周 敏, 贺 张, 等 (3318)
- 两种苹果砧木根系水力结构及其 PV 曲线水分参数对干旱胁迫的响应
..... 张林森, 张海亭, 胡景江, 等 (3324)
- 三种根系分泌脂肪酸对花生生长和土壤酶活性的影响 刘 苹, 赵海军, 仲子文, 等 (3332)

种群、群落和生态系统

- 象山港春季网采浮游植物的分布特征及其影响因素 江志兵, 朱旭宇, 高 瑜, 等 (3340)
- 洞头海域网采浮游植物的月际变化 朱旭宇, 黄 伟, 曾江宁, 等 (3351)
- 狗牙根与牛鞭草在三峡库区消落带水淹结束后的抗氧化酶活力 李兆佳, 熊高明, 邓龙强, 等 (3362)
- 三亚岩相潮间带底栖海藻群落结构及其季节变化 陈自强, 寿 鹿, 廖一波, 等 (3370)
- 长期围封对不同放牧强度下草地植物和 AM 真菌群落恢复的影响 周文萍, 向 丹, 胡亚军, 等 (3383)
- 北京松山自然保护区森林群落物种多样性及其神经网络预测 苏日古嘎, 张金屯, 王永霞 (3394)
- 藏北高寒草地生态补偿机制与方案 刘兴元, 龙瑞军 (3404)
- 辽东山区次生林生态系统不同林型树干茎流的理化性质 徐天乐, 朱教君, 于立忠, 等 (3415)
- 施氮对亚热带樟树林土壤呼吸的影响 郑 威, 闫文德, 王光军, 等 (3425)
- 人工高效经营雷竹林 CO₂ 通量估算及季节变化特征 陈云飞, 江 洪, 周国模, 等 (3434)
- 新疆典型荒漠区单食性天花吉丁虫磷元素含量对环境的响应 王 晶, 吕昭智, 宋 菁 (3445)
- 双斑长跗萤叶甲越冬卵在玉米田的空间分布型 张 聪, 葛 星, 赵 磊, 等 (3452)
- 舟山群岛四个养殖獐种群遗传多样性和遗传结构 林杰君, 鲍毅新, 刘 军, 等 (3460)

景观、区域和全球生态

- 乡镇尺度金塔绿洲时空格局变化 巩 杰, 谢余初, 孙 朋, 等 (3470)
- 合并与不合并: 两个相似性聚类分析方法比较 刘新涛, 刘晓光, 申 琪, 等 (3480)

资源与产业生态

基于投入产出表的中国水足迹走势分析 王艳阳,王会肖,张 昕 (3488)

基于 MRICES 模型的气候融资模拟分析 朱潜挺,吴 静,王 铮 (3499)

黄东海陆架区沉积物中磷的形态分布及生物可利用性..... 张小勇,杨 茜,孙 耀,等 (3509)

鄱阳湖采砂南移扩大影响范围——多源遥感的证据 崔丽娟,翟彦放,邬国锋 (3520)

温度、盐度及其互作效应对吉富罗非鱼血清 IGF-I 与生长的影响 强 俊,杨 弘,王 辉,等 (3526)

城乡与社会生态

福建省城镇-交通系统的景观分隔效应 张天海,罗 涛,邱全毅,等 (3536)

研究简报

青藏高原高寒草原区工程迹地面积对其恢复植物群落特征的影响 毛 亮,周 杰,郭正刚 (3547)

黄土山地苹果树树体不同方位液流速率分析..... 孟秦倩,王 健,张青峰,等 (3555)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 314 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 33 * 2013-06



封面图说: 清晨的天山马鹿群——家域是动物行为学和保护生物学的重要概念之一,它在动物对资源环境的适应与选择,种群密度及社会关系等生态学过程研究中有着重要的作用。马鹿属于北方森林草原型动物,在选择生境的各种要素中,隐蔽条件、水源和食物的丰富度是最重要的指标。野生天山马鹿是中国的特产亚种,主要分布在北天山深山海拔1500—3800m 地带的森林草原中,在高山至谷地之间不同高度的坡面上,马鹿按季节、昼夜变化的不同进行采食。

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/stxb201203290440

苏日古嘎, 张金屯, 王永霞. 北京松山自然保护区森林群落物种多样性及其神经网络预测. 生态学报, 2013, 33(11): 3394-3403.

Suriguga, Zhang J T, Wang Y X. Species diversity of forest communities and its forecasting by neural network in the Songshan National Nature Reserve, Beijing. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(11): 3394-3403.

北京松山自然保护区森林群落物种多样性 及其神经网络预测

苏日古嘎¹, 张金屯^{2,*}, 王永霞³

(1. 内蒙古师范大学生命科学与技术学院, 呼和浩特 010022; 2. 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875;

3. 内蒙古交通职业技术学院道路与桥梁工程系, 赤峰 024005)

摘要: 物种多样性是群落结构和功能复杂性的一种度量, 物种多样性的空间分布格局受许多环境因子的影响。运用多样性指数, 多层感知器网络, 分析了松山保护区森林群落物种多样性与群落类型、结构和生境之间的关系。结果表明: (1) 大果榆+山杨混交林、油松+青杨混交林物种丰富度、多样性和均匀度均较高, 而大果榆林、华北落叶松林的各项指数值均较低。Patrick 指数和 Shannon-Weiner 指数在森林群落中均表现为草本层>灌木层>乔木层; Pielou 指数在榆林中表现为草本层>乔木层>灌木层, 而在其他森林群落中表现为灌木层>草本层>乔木层。(2) 功能层物种多样性在海拔梯度上的变化趋势不同, 在乔木层, 丰富度、多样性和均匀度随海拔的升高逐渐降低; 在灌木层, 丰富度、多样性和均匀度均呈比较明显的单峰曲线变化趋势; 在草本层, 丰富度和多样性随海拔的升高都呈下降趋势, 而在草本层, 均匀度变化不大。(3) 用多层感知器网络预测功能层多样性效果很好, 结果发现坡向对乔木层和灌木层物种多样性的影响最大, 而海拔高度对草本层物种多样性的影响最大。

关键词: 松山国家自然保护区; 多层感知器网络; 物种多样性; 森林群落

Species diversity of forest communities and its forecasting by neural network in the Songshan National Nature Reserve, Beijing

Suriguga¹, ZHANG Jintun^{2,*}, WANG Yongxia³

1 College of Life Science and Technology, Inner Mongolia Normal University, Huhhot 010022, China

2 College of Life Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 Road and Bridge Engineering department, Inner Mongolia Communication Vocational and Technical College, Chifeng 024005, China

Abstract: Species diversity is a measure of the complexity of community structure and function, and the spatial distribution pattern of species diversity is affected by many environmental factors. In this paper, the relationships between species diversity and community type, habitat and community structure of forests in the Songshan National Nature Reserve were analyzed by diversity indices and multi-layer perceptron network. The dataset included 68 quadrats, 291 species, and 6 environmental variables (elevation, slope, aspect, litter layer thickness, soil depth, and soil solidity). The results showed that species richness, species diversity and evenness values of *Ulmus macrocarpa* + *Populus davidiana* mixed forest and *Pinus tabulaeformis* + *Populus cathayana* mixed forest were higher, but these values of *Ulmus macrocarpa* forest and *Larix principis-rupprechtii* forest were lower. The Patrick and Shannon-Weiner indices varied in order of herb layer > shrub layer > tree layer; the Pielou value of *Ulmus pumila* forest varied in order of herb layer > tree layer > shrub layer, and other community types varied in order of shrub layer > herb layer > tree layer.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(31170494, 30870399); 内蒙古师范大学引进高层次人才科研启动经费项目(YJRC12009)

收稿日期: 2012-03-29; **修订日期:** 2013-01-11

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangjt@bnu.edu.cn

Species diversity of functional layers changed differently along elevational gradient. In tree layer, the species richness, diversity and evenness decreased with increasing elevation. In shrub layer, the species richness, diversity and evenness were significantly peaked at the intermediate elevation. In herb layer, the species richness and diversity decreased with increasing elevation, but the evenness value changed little.

Applying multi-perceptron network to predict the diversity of functional layers, we found that aspect affected species diversity of tree and shrub layers greatly, but elevation affected species diversity greatly in herb layer.

Key Words: the Songshan National Nature Reserve; multi-perceptron network; species diversity; forest community

物种多样性是群落结构和功能复杂性的一种度量^[1]。物种多样性的空间分布格局受许多环境因子的影响,它沿环境梯度的变化规律是多样性研究的一个重要方面^[2]。研究植物群落的物种多样性,有助于更好地认识群落的组成、变化和发展趋势,同时也可以反映群落及其环境的保护状况,所以物种多样性及其与生态环境关系的研究已成为生态学关注的热点^[3]。北京松山自然保护区以油松林和次生落叶阔叶林为主,森林群落保存较为完整,种类丰富、结构复杂是该区群落最为突出的特点。对该区的植被动态^[4-5]、油松种群结构^[6-7]、生态旅游^[8-9]、净化服务功能的生态经济价值^[10]等方面已有一些研究,但对于松山森林群落物种多样性及其预测的研究尚未见报道。

本文以松山自然保护区森林群落为对象,运用多样性指数,多层感知器网络综合分析多样性与群落类型、结构和生境之间的关系,从而加深对该保护区森林群落结构、性质的认识,以期为该保护区的生物多样性保护提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区自然概况

松山自然保护区位于北京市延庆县西北部海陀山南麓,地理坐标为 115°43'44"—115°50'22"(E, East), 40°29'9"—40°33'35"(N, North),北依主峰海陀山,海拔 2198.4 m,为北京地区第二高峰,最低海拔 627.6 m。保护区建立于 1985 年,1986 年晋升为国家级自然保护区,属森林和野生动物类型的自然保护区,保护区总面积 4671 hm²,有林地面积 3655 hm²,森林覆盖率 87.6%。松山处于暖温带大陆性季风气候区,平均气温 8.5℃,最高温度 39℃,最低温度-27.3℃,年平均日照 2836.3 h,年降水量 493 mm,年蒸发量 1772 mm,气候垂直分带性比较明显。土壤随海拔由低向高依次有山地褐土、山地棕壤、山地草甸土。保存有华北地区唯一的大片珍贵天然油松(*Pinus tabulaeformis*)林,以及保存良好的胡桃楸(*Juglans mandshurica*)、椴(*Tilia* spp.)、榆(*Ulmus* spp.)、桦(*Betula* spp.)等树种构成的华北地区典型的天然次生落叶阔叶林^[4,11]。

1.2 样方设置与调查

于 2008 年 7—8 月在北京松山自然保护区沿海拔梯度取样,从海拔 700 m 到 2000 m,每隔 100 m 设一条样带,在每条样带上设置 2—6 个面积 10 m×10 m 的样方,共计 68 个森林样方。在每个样方中,样方的正中心位置用全球定位系统(GPS)测定海拔高度、用罗盘测定坡度和坡向;用 Dush-cone A-1820 仪器测定土壤紧实度,10 m² 内测定一个土壤紧实度值,在每个 10 m×10 m 样方内测定 10 个重复;用土钎和卷尺测定土壤深度和枯枝落叶层厚度,20 m² 内测定一个土壤紧实度值,在每个 10 m×10 m 样方内测定 5 个重复。同时每个样方内记录每个物种的盖度、高度,乔木要记录株数、胸径和冠幅等数据。

1.3 数据处理

1.3.1 重要值

分别计算乔木、灌木和草本植物重要值;其中灌木和草本植物有的丛生,有的单生,个体差异较大,而其盖度能更好地反映实际情况,所以只用相对高度和相对盖度来计算其重要值;计算公式为^[12-15]:

$$\text{乔木重要值}(\%) \quad IV_{tr} = (\text{相对密度} + \text{相对优势度} + \text{相对高度}) / 3$$

灌木和草本重要值(%) $IV_{sh,gr} = (\text{相对高度} + \text{相对盖度}) / 2$

式中, IV_{tr} 为乔木重要值; $IV_{sh,gr}$ 为灌木和草本重要值。

1.3.2 环境数据

包括 6 个环境因子,即海拔高度、坡度、坡向、枯枝落叶层厚度、土壤深度、土壤紧实度,涵盖了研究植被类型的全部的分布范围以及样方分布情况。土壤紧实度用土壤耐压力表示:

$$P_i = 100 \times X_i / [0.7952 \times (40 - X_i)^2]$$

式中, X_i 为紧实度仪的读数(mm); P_i 为土壤耐压力(kg/m^2)。

为了便于建立环境数据矩阵,将坡向数据以等级制表示;将坡向按照 45° 的夹角,以北为 0° ,顺时针方向旋转分为 8 个坡向等级,以数字表示各等级:1 表示北坡($0^\circ-22.5^\circ, 337.5^\circ-360^\circ$), 2 表示东北坡($22.5^\circ-67.5^\circ$), 3 表示西北坡($292.5^\circ-337.5^\circ$), 4 表示东坡($67.5^\circ-112.5^\circ$), 5 表示西坡($247.5^\circ-292.5^\circ$), 6 表示东南坡($112.5^\circ-157.5^\circ$), 7 表示西南坡($202.5^\circ-247.5^\circ$), 8 表示南坡($157.5^\circ-202.5^\circ$), 数字越大,表示坡向越向阳^[16-18]。

1.4 多样性指数的测定

森林群落植物分为乔木、灌木和草本等功能层,功能层反映群落结构的重要性^[16]。用重要值数据分别计算 3 个功能层的 Patrick 丰富度指数、Shannon-Wiener 物种多样性指数和 Pielou 均匀度指数。计算公式如下^[12,16]:

(1) 丰富度指数

$$\text{Patrick 指数} \quad R = S$$

式中, S 为每一样方中的物种总数。

(2) 物种多样性指数

$$\text{Shannon-Wiener 指数} \quad H' = - \sum_{i=1}^S \frac{N_i}{N} \ln \left(\frac{N_i}{N} \right)$$

式中, N 为 S 个种的全部重要值之和; N_i 为第 i 个种的重要值。

(3) 均匀度指数

$$\text{Pielou 指数} \quad E = \frac{H'}{\ln(S)}$$

1.5 群落物种多样性的测定

采用群落分层物种多样性测度法,将群落中的乔木层、灌木层、草本层的多样性指数分别计算后,给定加权参数计算群落总体多样性指数,公式如下^[19]:

$$\text{群落丰富度指数} \quad D = D_1 + D_2 + D_3$$

$$\text{群落均匀度指数和多样性指数} \quad D = W_1 D_1 + W_2 D_2 + W_3 D_3$$

式中, D 为群落总体指数; D_1 、 D_2 、 D_3 分别为乔木层、灌木层、草本层的多样性指数; W_1 、 W_2 、 W_3 分别为给定乔木层、灌木层、草本层的权重系数,这里采用 0.5、0.25、0.25^[19]。

1.6 多层感知器网络的原理与方法

多层感知器(MLP)网络具有独特的学习算法——误差反向传播算法(BP 算法),所以也被称之为 BP 网络。在生态学和农业研究中,MLP 网络模型通常作为非线性函数模拟器用于预测作物产量、生物生产量、生物与环境之间的关系等^[20-21],还应用于预测物种多度^[22]、物种多样性^[23]。它由输入层、隐含层和输出层组成(图 1)^[22],其中隐含层可以为一层或多层隐单元,隐单元从输入模式中提取更多有用的信息,使网络可以完成更复杂的任务。输入层神经元的个数为输入信号的维数,隐含层个数以及隐含层节点个数视具体情况而定,输出层神经元的个数为输出信号的维数,每一层的神经元个数是 MLP 网络一个重要的参数^[23]。输入层含独立变量,每个输入层有对应的输出层,所以通过输入层能预测输出层信息。

在本文中,海拔高度、坡度、坡向、枯枝落叶层厚度、土壤深度、土壤紧实度等 6 个环境因子为输入层,分别把乔木层、灌木层、草本层的 Shannon-Wiener 物种多样性指数为输出层。通过多次训练 MLP 网络,确定隐含层个数,选择均方误差最小的网络^[24]。预测乔木层和灌木层的 Shannon-Wiener 指数时选择输入层 6、隐含层 11、输出层 1(6-11-1 结构)的 MLP 网络,而预测草本层的 Shannon-Wiener 指数时选择输入层 6、隐含层 9、输出层 1(6-9-1 结构)的 MLP 网络。完成学习过程后,可以计算观察值和预测值之间的相关性,检验网络的可预测性。用敏感性分析来决定 MLP 网络中输入层对输出层的贡献。输入层的每个变量加减 $[-0.1, 0.1]$ 至 $[-0.5, 0.5]$ 的随机数,计算每个输入层变量在不同干扰水平下的均方误差,估量输出层的反映^[24-25]。

在 Matlab7.0.1 平台上, NNToolbox 工具箱里完成分析计算。

2 结果与分析

2.1 不同群落类型的物种多样性分析

图 2 显示了松山 7 个森林群落类型的物种丰富度、多样性和均匀度的分布变化图,反映了松山不同森林群落类型在物种组成上的差异。从图 2 中看出,群落 II 和 V 分别是大果榆+山杨混交林、油松+青杨混交林,群落结构复杂、发育较好,其物种丰富度、物种多样性和均匀度均较高,这说明混交林的群落物种多样性比其他群落的高。而群落 III 和 VII 分别为大果榆林、华北落叶松林,群落结构简单,因而各项指数值均较低。

在一个特定的地带性气候内,植物群落垂直结构受群落所处的海拔、坡向、坡位等微环境、群落的种类组成、发育阶段、生活史对策的影响,因此群落生长型的功能层,乔木层、灌木层、草本层物种多样性变化各有其特点。从图 3 中看出,群落 VII 中没有灌木层,只有乔木层和草本层。Patrick 指数在森林群落中表现为草本层 > 灌木层 > 乔木层; Shannon-Wiener 指数在森林群落中表现为草本层 > 灌木层 > 乔木层,与森林群落丰富度指数排列顺序一致; Pielou 指数在榆林中表现为草本层 > 乔木层 > 灌木层,而在其他森林群落中表现为灌木层 > 草本层 > 乔木层。

2.2 功能层的物种多样性分析

从松山森林群落典范对应分析(CCA)得出海拔是影响森林群落和功能层的重要因子之一^[26]。因此,分析了森林群落功能层多样性在海拔梯度上的变化趋势。图 4—图 6 分别为松山自然保护区森林群落乔木层、灌木层和草本层的 Patrick 指数、Shannon-Wiener 指数和 Pielou 指数在海拔梯度上的变化趋势及多项式拟合效果。

在乔木层,丰富度、多样性和均匀度随海拔的升高逐渐降低。海拔高度和 Patrick 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 指数拟合的相关系数平方(R^2)分别为 0.189、0.2582、0.3074,均呈极显著相关(图 4)。

在灌木层,丰富度、多样性和均匀度都呈比较明显的单峰曲线变化趋势,即随海拔的升高先增加后逐渐降低。海拔高度和 Patrick 指数、Shannon-Wiener 指数、Pielou 指数拟合的 R^2 分别为 0.179、0.2363、0.142,均呈极显著相关(图 5)。

在草本层,丰富度和多样性随海拔的升高都呈下降趋势,而均匀度变化不大。Patrick 指数、Shannon-Wiener 指数拟合的 R^2 分别为 0.1397、0.0818,均呈显著相关,而 Pielou 指数拟合的 R^2 为 0.0122,与海拔无显著的相关(图 6)。

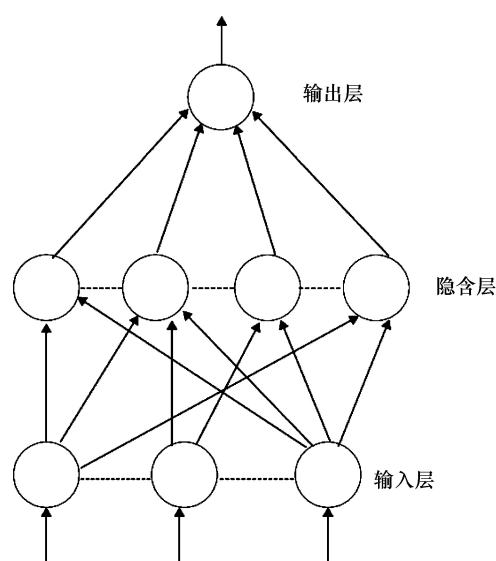


图 1 多层感知器模型

Fig. 1 Multilayer perceptron neural network model

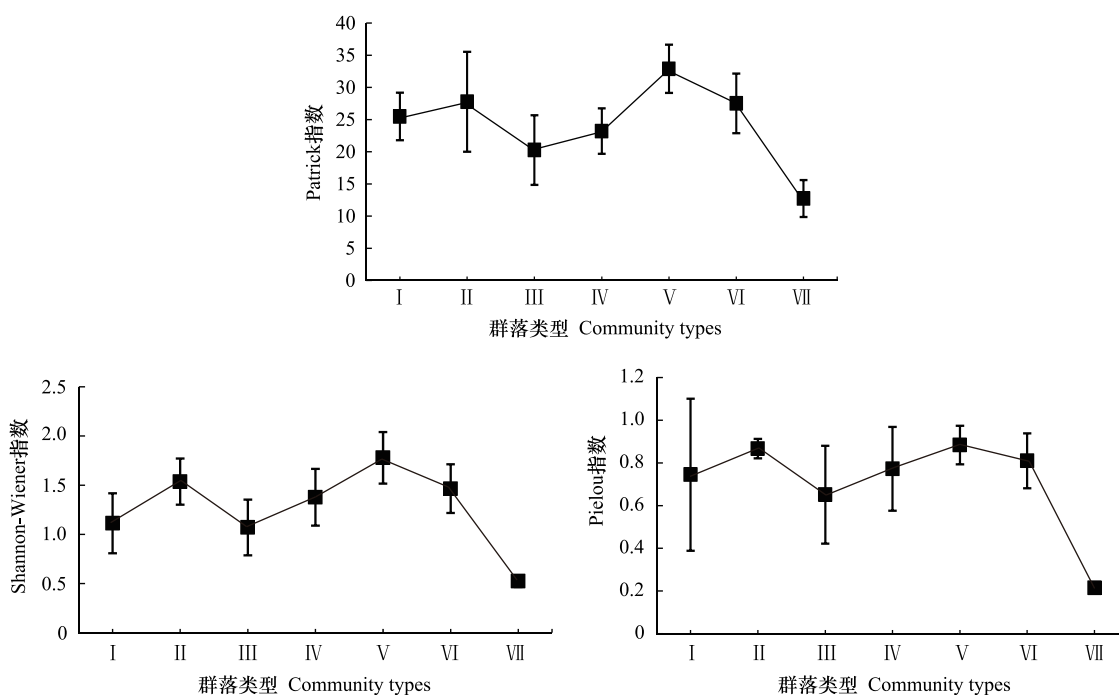


图2 松山自然保护区森林群落的物种多样性趋势图

Fig. 2 The tendency of the species diversity of the forest communities in Songshan Nature Reserve

I: 榆林 (*Ulmus pumila* forest); II: 大果榆+山杨混交林 (*Ulmus macrocarpa* + *Populus davidiana* mixed forest); III: 大果榆林 (*Ulmus macrocarpa* forest); IV: 胡桃楸林 (*Juglans mandshurica* forest); V: 油松+青杨混交林 (*Pinus tabulaeformis* + *Populus cathayana* mixed forest); VI: 油松林 (*Pinus tabulaeformis* forest); VII: 华北落叶松林 (*Larix principis-rupprechtii* forest)

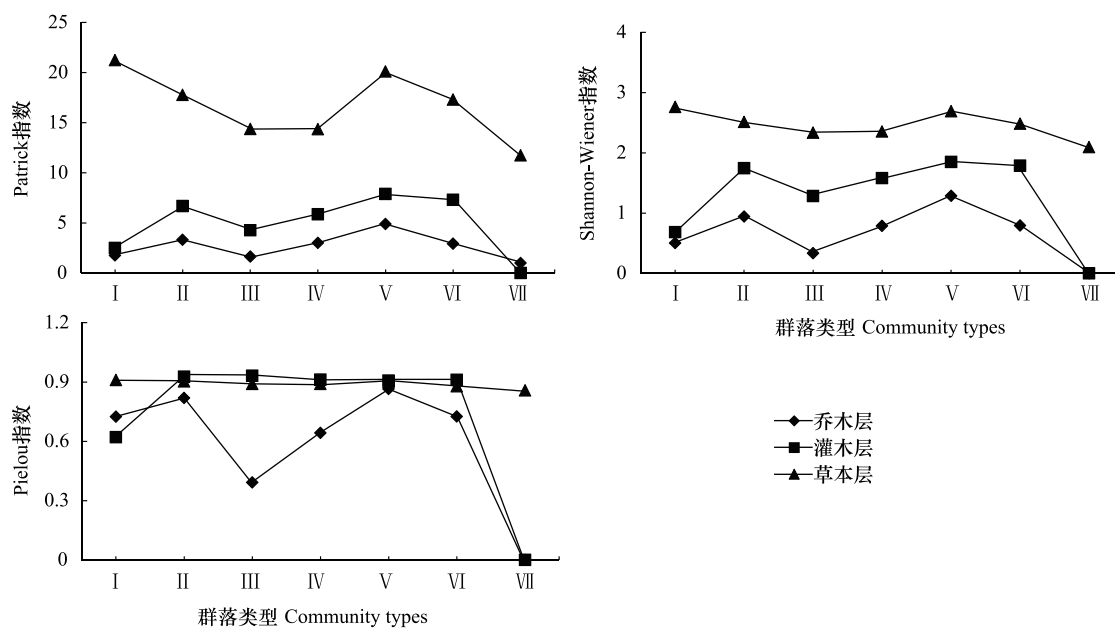


图3 松山自然保护区功能层的物种多样性趋势图

Fig. 3 The tendency of the species diversity of functional groups in Songshan Nature Reserve

I: 榆林 (*Ulmus pumila* forest); II: 大果榆+山杨混交林 (*Ulmus macrocarpa* + *Populus davidiana* mixed forest); III: 大果榆林 (*Ulmus macrocarpa* forest); IV: 胡桃楸林 (*Juglans mandshurica* forest); V: 油松+青杨混交林 (*Pinus tabulaeformis* + *Populus cathayana* mixed forest); VI: 油松林 (*Pinus tabulaeformis* forest); VII: 华北落叶松林 (*Larix principis-rupprechtii* forest)

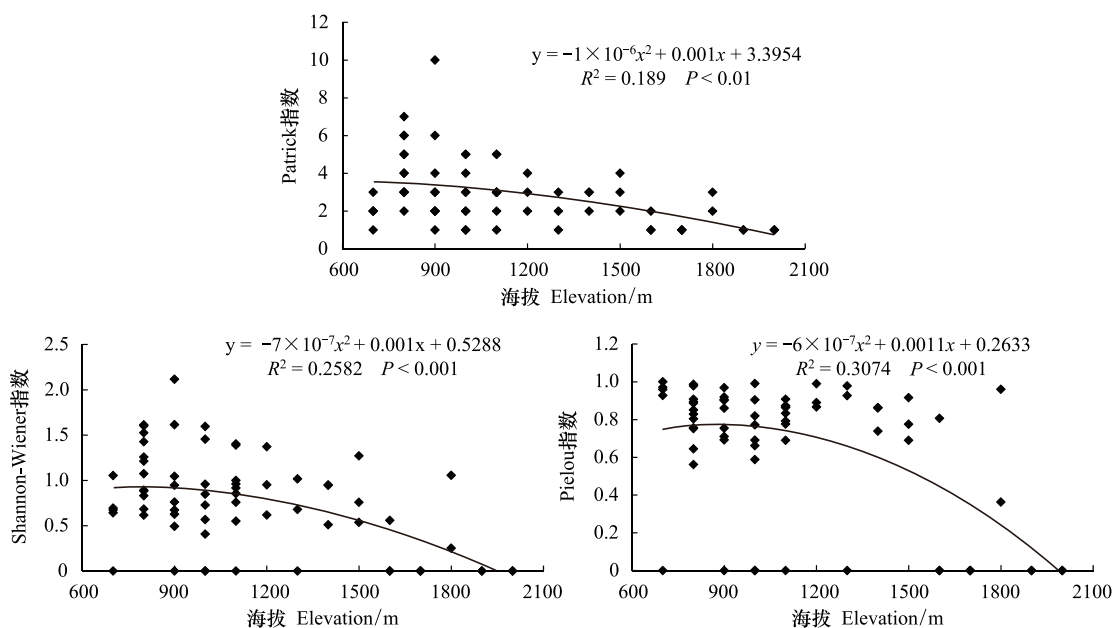


图4 森林群落乔木层丰富度指数、多样性和均匀度指数在海拔梯度上的变化趋势

Fig. 4 Variations of richness, diversity and evenness indices of tree layer of forest communities along elevational gradient

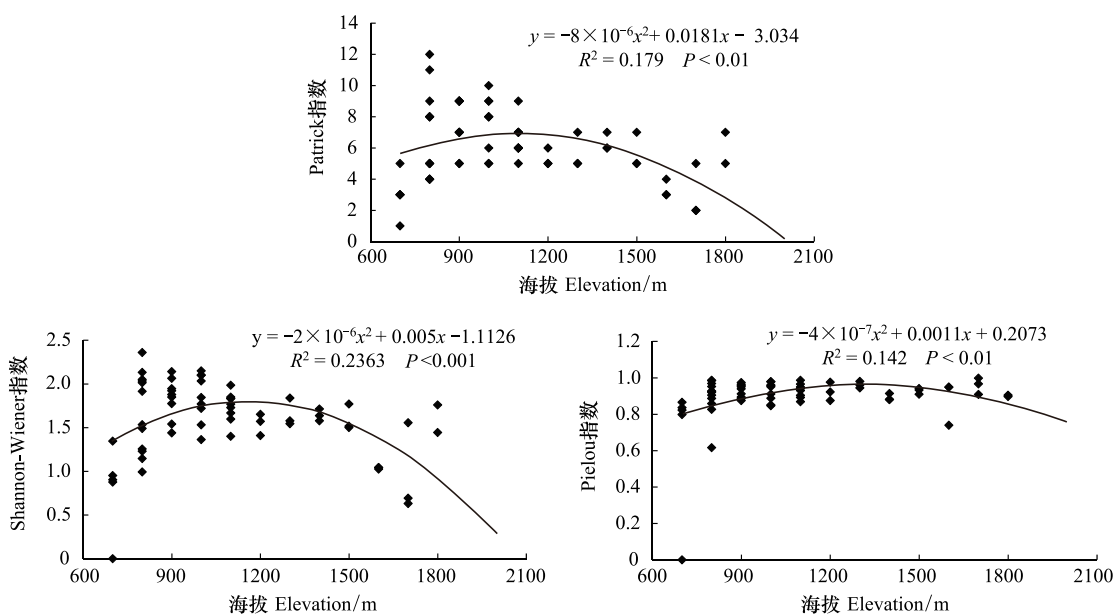


图5 森林群落灌木层丰富度指数、多样性和均匀度指数在海拔梯度上的变化趋势

Fig. 5 Variations of richness, diversity and evenness indices of shrub layer along elevational gradient

2.3 用 MLP 网络预测功能层的物种多样性

用 MLP 网络预测物种多样性,用海拔高度、坡度、坡向、枯枝落叶层厚度、土壤深度和土壤紧实度等 6 个环境因子作为输入层,Shannon-Wiener 指数为输出层。在乔木层,用 MLP 网络训练,迭代 100 次,平方误差为 2.75×10^{-29} ;在灌木层,迭代 100 次,平方误差为 7.7×10^{-29} ;在草本层,迭代 100 次,平方误差为 7.01×10^{-6} 。MLP 训练网络显示通过环境因子预测物种多样性准确性高,在乔木层、灌木层、草本层, R 均达到 1(图 7)。

通过敏感性分析,评价每个输入变量对 MLP 训练网络的影响。在每个输入变量上加减 $[-0.1, 0.1]$ 至 $[-0.5, 0.5]$ 之间的随机数,计算输入变量不同干扰水平下的均方误差。在乔木层,坡向对乔木层物种多样

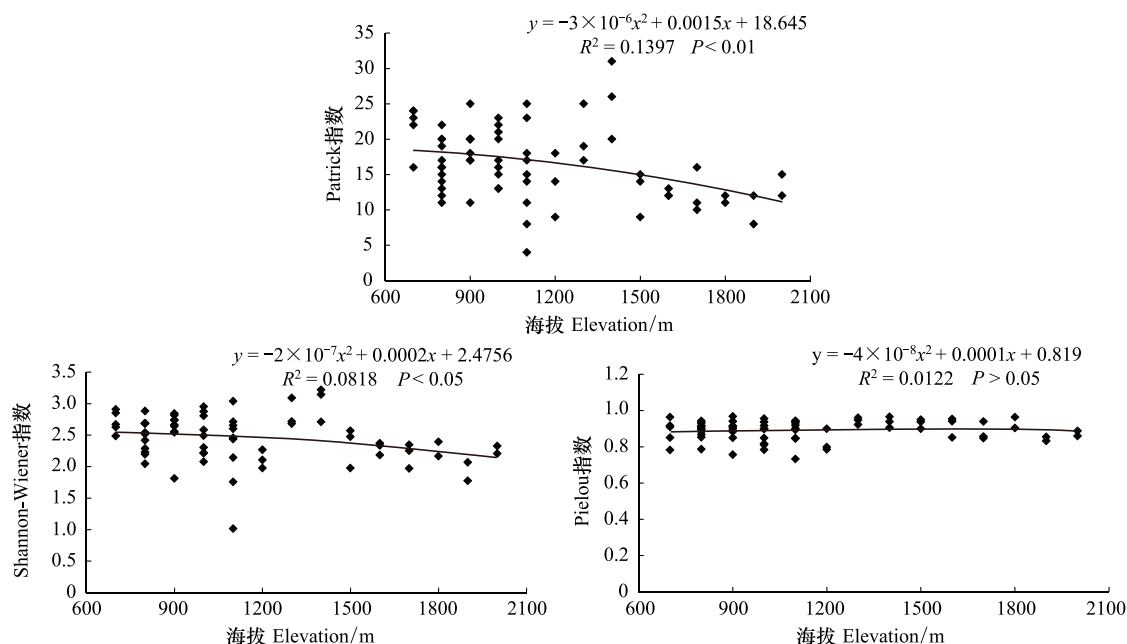


图6 森林群落草本层丰富度指数、多样性和均匀度指数在海拔梯度上的变化趋势

Fig. 6 Variations of richness, diversity and evenness indices of herb layer along elevational gradient

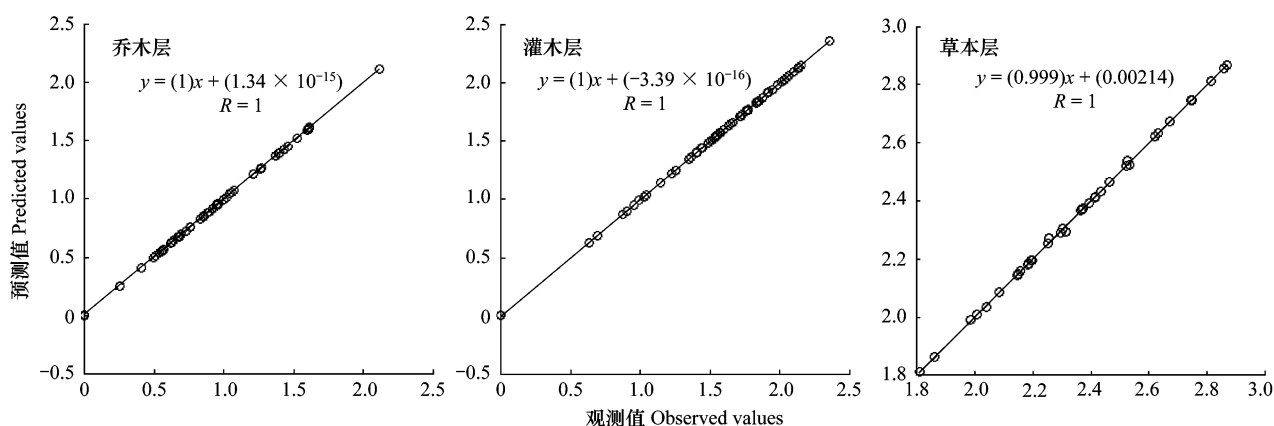


图7 在MLP训练网络中观测值和预测值相关性散点图,斜直线代表最佳预测结果

Fig. 7 Scatter plots of correlations between observed and predicted values by the trained MLP. The diagonal lines represent perfect prediction values

性的影响最大,其次是土壤紧实度、海拔高度、土壤深度、坡度,枯枝落叶层厚度;在灌木层,坡向对灌木层物种多样性的影响最大,其次是枯枝落叶层厚度、土壤紧实度、海拔高度、坡度,土壤深度;在草本层,海拔高度对草本层物种多样性的影响最大,其次是土壤紧实度、坡向、土壤深度、枯枝落叶层厚度、坡度(图8)。

3 结论与讨论

松山自然保护区内的森林群落物种多样性反映了该区植被类型在物种组成上的差异。大果榆+山杨混交林、油松+青杨混交林物种丰富度、物种多样性和均匀度均较高,而大果榆林、华北落叶松林的各项指数值均较低,这与群落结构复杂程度相关,华北落叶松林没有幼树和幼苗,缺乏灌木层。Patrick指数在森林群落中表现为草本层>灌木层>乔木层,这一结果与其他森林群落的物种多样性研究结果较为一致^[2,27];Shannon-Wiener指数在森林群落中表现为草本层>灌木层>乔木层;Pielou指数在榆林中表现为草本层>乔木层>灌木层,而在其他森林群落中表现为灌木层>草本层>乔木层。

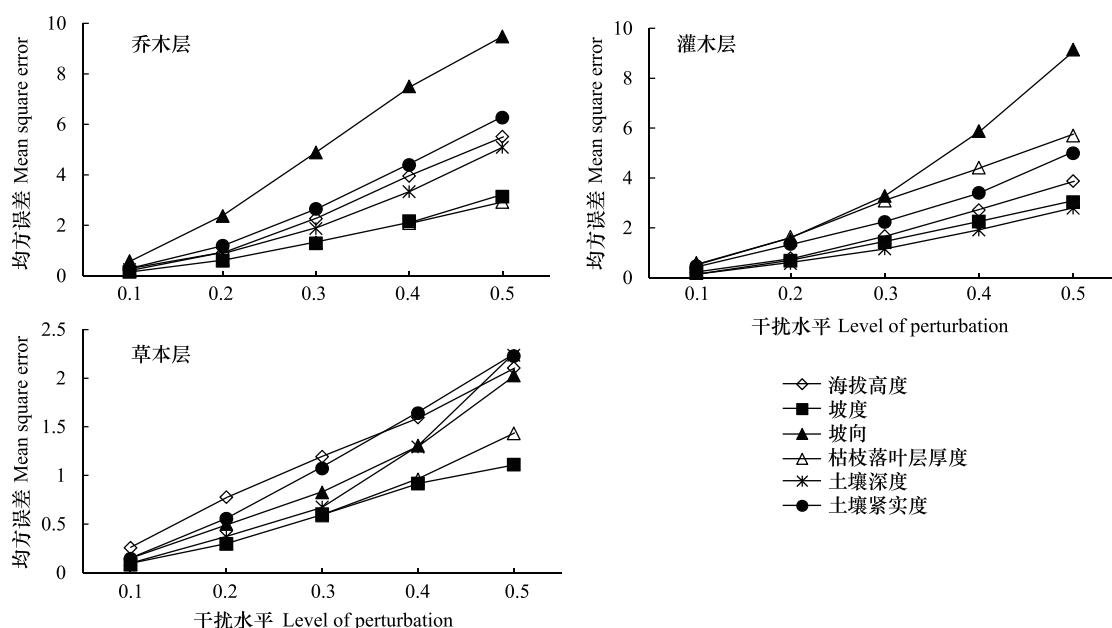


图 8 MLP 网络的敏感性分析,在不同干扰水平下计算的均方误差

Fig. 8 The sensitivity analysis of MLP, mean square error values were measured at different levels of perturbation of the input variables

山地海拔高度是影响物种多样性格局的决定性因素^[19],主要反映水热梯度变化,包含了温度、湿度和光照等各种环境因素。从平地到高山山顶,气候条件差异很大,通常海拔每升高 100m,气温大约要下降 0.5—1℃左右,温度、风力、光照和其他气候因子及其配合方式也会产生相应的变化,这些变化都会对群落的物种多样性产生影响^[28]。在乔木层,丰富度、多样性和均匀度随海拔的升高逐渐降低,说明乔木层的物种多样性受高海拔地区热量限制,从而形成高海拔地区物种多样性降低的趋势。在灌木层,丰富度、多样性和均匀度呈比较明显的单峰曲线变化趋势,即随海拔的升高先增加后逐渐降低;在草本层,丰富度和多样性随海拔的升高都呈下降趋势,这与中间海拔高度多样性最高的假设相一致^[16]。而在草本层,均匀度变化不大。

用 MLP 网络预测功能层的物种多样性,在乔木层,坡向对乔木层物种多样性的影响最大,其次是土壤紧实度,影响力较小的是枯枝落叶层厚度;在灌木层,坡向对灌木层物种多样性的影响最大,其次是枯枝落叶层厚度,影响力较小的是土壤深度;坡向是通过改变光照、温度、水分和土壤等生态因子而对乔木层和灌木层多样性产生重要影响。乔木根系分布到土壤的深层,枯枝落叶层厚度对乔木层多样性的影响力较小,而因灌木根系相对较浅,所以受土壤深度的影响较小。在草本层,海拔高度对草本层物种多样性的影响最大,其次是土壤紧实度,影响力较小的是坡度,说明草本层物种多样性受海拔水热梯度变化影响较大,而坡度对林下的草本植物影响不大。MLP 网络应用于预测昆虫物种多度^[29]、物种多样性^[30]方面较多,通过本文的分析,MLP 网络可以应用于预测森林群落多样性。人工神经网络处理复杂数据的上显示优势,有待于进一步探索和挖掘 MLP 网络在评估、理解、预测和管理生物多样性中的应用。

虽然松山自然保护区的森林群落分布格局主要受海拔梯度的影响,导致植被类型的垂直分布,但影响森林群落功能层物种多样性差异的因子具有明显的区别,因此,今后对该保护区内的森林群落进行管理时,既要注重群落分布格局,也要注重各功能层物种多样性受影响的环境因子,从而达到保护森林群落及其物种多样性的双重目标。

References:

- [1] Bo Y J, Zhang X, Ai H J, Liu C Y, Ji X L. Species diversity in the wind-sandy grass shoal area of Yulin region. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2008, 28(4): 80-85.

- [2] Xu B, Zhang J T, Yang H X, Jiang H F. Species diversity of Baihua mountain forest plant community. *Bulletin of Botanical Research*, 2007, 27 (1): 112-118.
- [3] Zhang L, Xing F, Yu L L, Xu K, Sun Z L, Lü X G. Plant species diversity of the island forest in a marsh in the Jiang plain, China. *Journal of Plant Ecology*, 2008, 32(3): 582-590.
- [4] Zhou R, Wang H, Ge J P, Xiong Y C, Wu J G. Vegetation dynamics and patterns of change in functional protection subzones in Songshan National Nature Reserve, Beijing. *Biodiversity Science*, 2006, 14(6): 470-478.
- [5] Zhou R, Ge J P, Yu B, Liu L J, Wu J G. Simulation of forest dynamics at Songshan Mountain, Beijing. *Journal of Beijing Forestry University*, 2007, 29(1): 19-25.
- [6] Niu L L, Yu X X, Yue Y J. Spatial patterns of different age-class individuals in *Pinus tabulaeformis* forest in Songshan Nature Reserve of Beijing, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(7): 1414-1418.
- [7] Zhang B, Zhao Y Z, Zhang C Y, Zhao X H. Structure and spatial distribution of *Pinus tabulaeformis* population in the Songshan Nature Reserve, Beijing, China. *Chinese Journal of Applied and Environmental Biology*, 2009, 15(2): 175-179.
- [8] Chen J, Zhu D D, Liu M L. Research on the environmental education of ecotourism in Songshan Nature Reserve. *Sichuan Forestry Exploration and Design*, 2008, (3): 38-41.
- [9] Chen L, Wang W. Research on the relationship between tourism development and ecological protection in Songshan Nature Reserve. *Sichuan Forestry Exploration and Design*, 2009, (1): 41-43.
- [10] Wu S, Qin D H, Bi X L, Wang X C, Ge J P. Purifying service of Songshan mountain and its value. *Journal of Beijing Normal University: Natural Science*, 2004, 40(3): 386-389.
- [11] Niu J, Zhang Y J. Analysis on the model of ecotourism management and local community participation of Beijing Songshan Mountain Nature Reserve. *Sichuan Forestry Exploration and Design*, 2007(2): 40-43.
- [12] Zhang J T. *Quantitative Ecology*. Beijing: Science Press, 2004.
- [13] He H Q, Li S C, Sun H L, Liu S C, Xiong W L. Quantitative classification and ordination of Jinping hydropower station, Sichuan Province, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(8): 3706-3712.
- [14] Dong L S, Zhang X D, Zhou J X, Song A Y. Quantitative classification and ordination of shrub species and communities in a loess landscape of western Shanxi. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(7): 3072-3080.
- [15] Zhang X P, Wang M B, She B, Xiao Y. Numerical classification and ordination of forest communities in Pangquangou National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(3): 754-761.
- [16] Zhang J T, Zhang F. Diversity and composition of plant functional groups in mountain forests of the Lishan Nature Reserve, North China. *Botanical Studies*, 2007, 48(3): 339-348.
- [17] Zhang W Q, Li X H, Luo Q Z, Zhang W M, Zhao J, Shan Y B. Spatial distribution of vegetation in Tianmu Mountain Nature Reserve based on RS and GIS data. *Chinese Journal of Ecology*, 2003, 22(6): 21-27.
- [18] Shen Z H, Fang J Y. Niche comparison of two *Fagus* species based on the topographic patterns of their populations. *Acta Phytocologica Sinica*, 2001, 25(4): 392-398.
- [19] Zhang F, Zhang J T, Shangguan T L. Plant diversity of forest community in Zhuweigou of Lishan mountain Nature Reserve. *Acta Phytocologica Sinica*, 2002, 26 (supplement): 46-51.
- [20] Lek S, Guégan J F. Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological Modelling*, 1999, 120(2/3): 65-73.
- [21] Mi X C, Ma K P, Zou Y B. Artificial neural network and its application in agricultural and ecological research. *Acta Phytocologica Sinica*, 2005, 29(5): 863-870.
- [22] Acharya C, Mohanty S, Sukla L B, Misra V N. Prediction of sulphur removal with *Acidithiobacillus* sp. using artificial neural networks. *Ecological Modelling*, 2006, 190(1/2): 223-230.
- [23] Ge Z X, Sun Z Q. *The Theory of the Neural Network and MATLAB R2007 Application*. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2007.
- [24] Scardi M, Harding L W Jr. Developing an empirical model of phytoplankton primary production: a neural network case study. *Ecological Modelling*, 1999, 120(2/3): 213-223.
- [25] Park Y S, Céréghino R, Compin A, Lek S. Applications of artificial neural networks for patterning and predicting aquatic insect species richness in running waters. *Ecological Modelling*, 2003, 160(3): 265-280.
- [26] Suriguga, Zhang J T, Zhang B, Cheng J J, Tian S G, Zhang Q D, Liu S J. Numerical classification and ordination of forest communities in the Songshan National Nature Reserve. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(10): 2621-2629.
- [27] 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.

- [28] Xie J Y, Chen L Z. Species diversity characteristics of deciduous forests in the warm temperate zone of north China. *Acta Ecologica Sinica*, 1994, 14(4): 337-344.
- [29] Céréghino R, Park Y S, Compin A, Lek S. Predicting the species richness of aquatic insects in streams using a limited number of environmental variables. *Journal of the North American Benthological Society*, 2003, 22(3): 442-456.
- [30] Lek-Ang S, Deharveng L, Lek S. Predictive models of collembolan diversity and abundance in a riparian habitat. *Ecological Modelling*, 1999, 120(2/3): 247-260.

参考文献:

- [1] 耀军,张雄,艾海舰,刘翠英,纪晓玲. 榆林风沙草滩区物种多样性研究. *水土保持通报*,2008,28(4):80-85.
- [2] 许彬,张金屯,杨洪晓,姜海凤. 百花山植物群落物种多样性研究. *植物研究*,2007,27(1):112-118.
- [3] 张亮,邢福,于丽丽,许坤,孙忠林,吕宪国. 三江平原沼泽湿地岛状林植物多样性. *植物生态学报*,2008,32(3):582-590.
- [4] 周睿,王辉,葛剑平,熊友才,吴记贵. 松山自然保护区各功能区植被动态及变化格局. *生物多样性*,2006,14(6):470-478.
- [5] 周睿,葛剑平,于波,刘丽娟,吴记贵. 北京松山森林动态模拟研究. *北京林业大学学报*,2007,29(1):19-25.
- [6] 牛丽丽,余新晓,岳永杰. 北京松山自然保护区天然油松林不同龄级立木的空间点格局. *应用生态学报*,2008,19(7):1414-1418.
- [7] 张赞,赵亚洲,张春雨,赵秀海. 北京松山油松种群结构及空间分布格局. *应用与环境生物学报*,2009,15(2):175-179.
- [8] 陈静,朱丹丹,刘明丽. 松山自然保护区生态旅游环境教育研究. *四川林勘设计*,2008,(3):38-41.
- [9] 陈亮,王雯. 北京松山自然保护区旅游开发与生态保护关系的探讨. *四川林勘设计*,2009,(1):41-43.
- [10] 吴娜,覃德华,毕晓丽,王秀春,葛剑平. 松山自然保护区净化服务功能及生态经济价值研究. *北京师范大学学报:自然科学版*,2004,40(3):386-389.
- [11] 牛江,张玉钧. 北京松山自然保护区生态旅游管理与当地社区参与. *四川林勘设计*,2007(2):40-43.
- [12] 张金屯. *数量生态学*. 北京:科学出版社,2004.
- [13] 何惠琴,李绍才,孙海龙,刘世昌,熊文兰. 锦屏水电站植被数量分类与排序. *生态学报*,2008,28(8):3706-3712.
- [14] 董林水,张旭东,周金星,宋爱云. 晋西黄土丘陵与土石山区交错地带灌木种的数量分类与排序. *生态学报*,2007,27(7):3072-3080.
- [15] 张先平,王孟本,余波,肖扬. 庞泉沟自然保护区森林群落的数量分类和排序. *生态学报*,2006,26(3):754-761.
- [17] 章皖秋,李先华,罗庆州,张卫民,赵军,单勇兵. 基于 RS、GIS 的天目山自然保护区植被空间分布规律研究. *生态学杂志*,2003,22(6):21-27.
- [18] 沈泽昊,方精云. 基于种群分布地形格局的两种水青冈生态位比较研究. *植物生态学报*,2001,25(4):392-398.
- [19] 张峰,张金屯,上官铁梁. 历山自然保护区猪尾沟森林群落植物多样性研究. *植物生态学报*,2002,26(增刊):46-51.
- [23] 葛哲学,孙志强. *神经网络理论与 MATLAB R2007 实现*. 北京:电子工业出版社,2007.
- [26] 苏日古嘎,张金屯,张斌,程佳佳,田世广,张钦弟,刘素军. 松山自然保护区森林群落的数量分类和排序. *生态学报*,2010,30(10):2621-2629.
- [27] 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.
- [28] 谢晋阳,陈灵芝. 暖温带落叶阔叶林的物种多样性特征. *生态学报*,1994,14(4):337-344.

《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 朱永官

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 11 期 (2013 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 11 (June, 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