

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

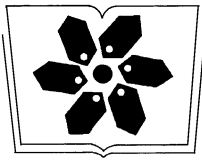
Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 11 期 Vol.31 No.11 **2011**

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 31 卷 第 11 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目次

微生物介导的碳氮循环过程对全球气候变化的响应·····	沈菊培, 贺纪正 (2957)
巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”·····	贾晓会, 施定基, 史绵红, 等 (2968)
我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动·····	文礼章, 张友军, 朱 亮, 等 (2978)
庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序·····	张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等 (2990)
上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复·····	吴 迪, 岳 峰, 罗祖奎, 等 (2999)
芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量·····	武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 等 (3009)
土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应·····	张圣喜, 陈法霖, 郑 华 (3020)
中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响·····	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3027)
桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (3036)
重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响·····	赖廷和, 何斌源, 范航清, 等 (3044)
海南霸王岭天然次生林边缘效应下木质藤本与树木的关系·····	乌玉娜, 陶建平, 奚为民, 等 (3054)
半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺·····	杨 磊, 卫 伟, 莫保儒, 等 (3060)
季节性干旱对中亚热带人工林显热和潜热通量日变化的影响·····	贺有为, 王秋兵, 温学发, 等 (3069)
新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝桉柳光合作用及水分利用的生态适应性·····	王珊珊, 陈 曦, 王 权, 等 (3082)
利用数字图像估测棉花叶面积指数·····	王方永, 王克如, 李少昆, 等 (3090)
野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应·····	薛忠财, 高辉远, 柳 洁 (3101)
水磷耦合对小麦次生根特殊根毛形态与结构的影响·····	张 均, 贺德先, 段增强 (3110)
应用物种指示值法解析昆崙山植物群落类型和植物多样性·····	孙志强, 张星耀, 朱彦鹏, 等 (3120)
基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析·····	刘 晔, 耿 涌, 赵恒心 (3133)
不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达·····	崔 红, 冀 浩, 杨惠娟, 等 (3143)
B 型烟粉虱对 23 种寄主植物适应度的评估和聚类分析·····	安新城, 郭 强, 胡琼波 (3150)
杀虫剂啶虫脒和毒死蜱对捕食蜘蛛血细胞 DNA 的损伤作用·····	李 锐, 李生才, 刘 佳 (3156)
杀真菌剂咪鲜安对蓼花臂尾轮虫的影响·····	李大命, 陆正和, 封 琦, 等 (3163)
长、短期连续孤雌生殖对蓼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响·····	葛雅丽, 席貽龙 (3170)
专论与综述	
区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展·····	赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等 (3180)
露水对植物的作用效应研究进展·····	叶有华, 彭少麟 (3190)
葡萄座腔菌科研究进展——鉴定, 系统发育学和分子生态学·····	程燕林, 梁 军, 吕 全, 等 (3197)
人工林生产力年龄效应及衰退机理研究进展·····	毛培利, 曹帮华, 田文侠, 等 (3208)
树木年轮在干扰历史重建中的应用·····	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (3215)
植物中逆境反应相关的 WRKY 转录因子研究进展·····	李 冉, 娄永根 (3223)
研究简报	
三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量·····	任佐华, 张于光, 李迪强, 等 (3232)
3 种黑杨无性系水分利用效率差异性分析及相关 <i>ERECTA</i> 基因的克隆与表达·····	郭 鹏, 夏新莉, 尹伟伦 (3239)
猕猴桃园节肢动物群落重建及主要类群的生态位·····	杜 超, 赵惠燕, 高欢欢, 等 (3246)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 298 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-06



封面图说: 盘锦市盘山县水稻田——盘锦市位于辽宁省西南部, 自古就有“鱼米之乡”的美称。这里地处温带大陆半湿润季风气候, 有适宜的温度条件和较长的生长期以供水稻生长发育, 农业以种植水稻为主, 年出口大米达 1 亿多公斤, 是国家级水稻高产创建示范区和重要的水稻产区。

彩图提供: 沈菊培博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: jpshe@reccs.ac.cn

庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织 特征映射网络分类与排序

张钦弟^{1,2}, 张金屯^{1,*}, 苏日古嘎¹, 张 斌¹, 程佳佳¹, 田世广¹

(1. 北京师范大学生命科学学院, 北京 100875; 2. 山西师范大学生命科学学院, 山西临汾 041004)

摘要: 自组织特征映射网络(SOM)是新近引入植物生态学的分析方法, 对复杂问题和非线性问题具有较强的分析和求解能力。研究应用 SOM 分类和排序研究了庞泉沟自然保护区华北落叶松林。研究表明, SOM 将 120 个样方分为 7 个植物群落类型, 分类结果具有明确的生态意义; 样方和物种在 SOM 训练图上呈现一定规律的分布; 7 个群落类型各有其分布范围和界限, 揭示了群落间的生态关系。在此基础上, 通过引入一种在 SOM 训练图上可视化环境因子梯度的方法, 能够较好地完成样方、物种和环境因子相互关系的分析, 揭示了海拔是影响该区华北落叶松林生长和分布的最主要因子。生态分析表明 SOM 分类和排序是一种有效的梯度分析方法, 适用于表征生态特征和探索群落和环境相互关系的研究。

关键词: 庞泉沟自然保护区; 华北落叶松林; 自组织特征映射网络; 分类; 排序

Self-organizing feature map classification and ordination of *Larix principis-rupprechtii* forest in Pangquangou Nature Reserve

ZHANG Qindi^{1,2}, ZHANG Jintun^{1,*}, Suriguga¹, ZHANG Bin¹, CHENG Jiajia¹, TIAN Shiguang¹

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

2 College of Life Science, Shanxi Normal University, Linfen Shanxi 041004, China

Abstract: Understanding plant communities with respect to environmental features is a fundamental basis for vegetation ecosystem management. But ecological data are always bulky, non-linear and complex, showing noise, redundancy, internal relations and outliers. There are also wide variability in variables and complex interactions between explanatory and response variables. Namely, non-linear analyzing methods should be preferred for the study of plant community. Self-organizing feature map (SOM) is a comparatively new tool for data analysis, and it could be effectively applicable to classification and association. Theoretically, it can describe natural phenomena and rules better. It can distribute information within the whole network with variation of weights and problems for some units cannot affect the network function. Therefore, it is suitable for analysis of vegetation ecosystem which has attracted much attention from ecologists. In the present work, SOM was applied to study *Larix principis-rupprechtii* forest in Pangquangou Nature Reserve through clustering and ordination. Pangquangou Nature Reserve is located in the midst of Luliang Mountain range, at 37°45'—37°55' N, 111°22'—111°33' E. It was established for the conservation of the first-class nationally protected bird, *Crossoptilon mantchuricum*, and the cold-temperate coniferous forests (*Larix principis-rupprechtii* forest and *Picea* forest). The diversity of plant communities is the basis for conservation of endangered animals and plants. In this field research, 120 samples (quadrats) of 10 m×10 m for *Larix principis-rupprechtii* forest along with relevant environmental factors were set up, and species data was recorded in each sample. 105 major species and 6 environmental variables (elevation, slope, position of slope, aspect of slope, soil thickness and litter layer thickness) were used to implement the method. Classification and ordination was carried out by using SOM toolbox in MATLAB (7.0). As a result, the SOM showed a high performance for

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30870399); 北京师范大学优秀博士学位论文基金资助项目(08025)

收稿日期: 2010-04-27; **修订日期:** 2010-08-09

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

visualization and abstraction of ecological data. The trained SOM efficiently classified 120 samples into 7 groups representing 7 types of plant communities according to a gradient of species Importance Value, and displayed a distribution of each sample and species. The result of SOM classification shows significant ecological meanings, and the characteristics of each community were described. The species component planes helped to interpret the contribution of each species to the classification. The obtained groups showed clear boundaries on the trained SOM, indicating SOM ordination could reveal the ecological relationship between them. Additionally, by proposing a method to visualize environmental variables not used in its training phase, the SOM showed high performance in analyzing the relationships among samples, biological variables and environmental variables, and revealed that elevation is the most important factor affecting the growth and distribution of *Larix principis-rupprechtii* forest. This method could be used as a tool to extract relationships between sampling sites, communities, and environmental variables, although the algorithm is theoretically an indirect gradient analysis. However, it remains necessary to quantify the relationships among variables. Finally, approach using SOM classification and ordination showed that it could take into account the variability of ecological data efficiently. Therefore, SOM is a very effective quantitative technique in plant ecology research, and this procedure could be preferred when ecological modeling is applied to understand non-linear and complex ecological data.

Key Words: Pangquangou Nature Reserve; *Larix principis-rupprechtii* forest; self-organizing feature map; classification; ordination

植被与环境因子的关系是植物生态学研究的一个中心议题^[1]。近一个世纪以来,生态学家一直致力于探索植被、群落、物种和环境因子的关系,并揭示这种关系的生态学意义。植被群落的数量分类和排序是研究这种生态关系的必要手段,通过分析植物种及群落自身特征对环境的响应,可以深入探讨群落在一定环境梯度上的间断性和连续性。在植物生态学中已有不少有效的数量分类和排序方法,如双向指示种分析(Two-way indicator species analysis, TWINSpan)^[2]、模糊 C-均值聚类(Fuzzy C-means clustering, FCM)^[3]、主分量分析(Principle components analysis, PCA)^[4]、除趋势对应分析(Detrended correspondence analysis, DCA)^[5]、冗余分析(Redundancy analysis, RDA)^[6]和典范对应分析(Canonical correspondence analysis, CCA)^[7]等。TWINSpan是基于相互平均排序(Reciprocal averaging, RA)轴的一种等级分类方法,可同时完成样地分类和物种分类,自 20 世纪 80 年代引入植被分析以来,一直在植被数量分类方法中占着主导地位。FCM 是一种重叠分类方法,聚类结果用隶属度(membership)来表示样地属于各类型的程度,因此能更好地揭示样地和类型的关系及类型之间的关系,但分类组数需要人为给定,有一定的主观性^[8]。基于线性模型的 PCA 和基于高斯模型的 DCA 均具有严格的数学基础,前者适用于线性数据,后者不仅适用于线性数据也适用于非线性数据,但二者完全基于物种数据,属于间接梯度分析方法,因此在分析植物种和环境间关系时比较困难。基于线性模型的 RDA 和基于高斯模型的 CCA 同时需要植被和环境两种数据,排序轴与环境变量的线性组合相关,能直观地表明植物种、植物群落与环境变量的关系,因而被广泛地应用于植被生态学中^[9]。植被生态系统是一个复杂系统,诸如上述线性和非线性过程的拟合,提高了对结果的分析精度,但当需要同时考虑多因素和多条件的,系统中因子之间的相互作用机理还不清楚、不精确和模糊信息问题时,用建立在相关分析基础上统计模型进行处理时,有时是不合适的,而神经网络模型则特别适合这种情况^[10-11]。自组织特征映射网络(Self-organizing feature map, SOM)是较新的方法,具有非监督学习客观性大、非线性问题求解能力强等优点^[12],特别适合诸如生态系统等复杂系统问题的处理,应用于植被生态学研究能同时完成群落聚类 and 排序^[13],引起了生态学家们的广泛兴趣。

庞泉沟自然保护区主要是为保护国家一级保护动物褐马鸡(*Crossoptilon mantchuricum*)和华北落叶松(*Larix principis-rupprechtii*)、云杉(包括青杉 *Picea wilsonii* 和白杉 *P. meyeri*)等寒温带针叶林而设立的,属于国家级保护区。该保护区华北落叶松分布集中,生长良好,素有“华北落叶松故乡”之称^[14]。目前尚未见应用

数量分类和排序的方法研究该区域华北落叶松林与环境因子关系的报道。因此,对其群落类型生态关系的研究具有重要的实际意义。本文试用自组织特征映射网络的方法对庞泉沟自然保护区华北落叶松林进行分类和排序,并引入一种在 SOM 排序图上可视化环境梯度的方法,旨在揭示该区华北落叶松林各群落之间及群落与环境之间的生态关系,同时也为 SOM 用于分析植物群落与其环境间关系提供一种新的思路和方法。

1 材料与方法

1.1 研究地自然概况

庞泉沟自然保护区位于山西省吕梁山脉中段,北纬 $37^{\circ}45'—37^{\circ}55'$,东经 $111^{\circ}22'—111^{\circ}33'$ 。主峰孝文山海拔 2831 m,属于暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均温度 $3—4^{\circ}\text{C}$,年降水量 830.8 mm,无霜期 100—125 d,土壤属于山地土壤类型,从低到高垂直带谱为:山地褐土、山地淋溶褐土、山地棕壤和亚高山草甸土^[15]。华北落叶松林主要分布于海拔 1800 m 以上的神尾沟、八道沟、八水沟等地带,林下枯枝落叶层和腐殖质层较厚,立地条件优越。

1.2 样方调查与数据处理

群落调查在庞泉沟自然保护区进行。在对该区华北落叶松分布全面调查的基础上,选取八道沟、八水沟、神尾沟 3 个较大的分布区域,随机设置调查样方,调查海拔范围为 1800—2600 m。森林调查样方为 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$,其中随机设置两个 $5\text{ m}\times 5\text{ m}$ 的灌木样方和 4 个 $1\text{ m}\times 1\text{ m}$ 的草本样方,共计 120 个 $10\text{ m}\times 10\text{ m}$ 样方。调查样方时分别记录各个植物种的盖度和高度,乔木还要记录其株数、胸径等数据;同时手持 GPS 和地质罗盘仪记录各个样方的海拔、坡向、坡度和坡位,用土钎和钢卷尺测量土壤厚度和凋落物层厚度 6 个环境因子。120 个样方共记录到 169 个植物种,为了提高 SOM 训练速度和降低噪声^[16],剔除频度 $< 5\%$,盖度 $< 5\%$ 的偶见种^[17],用剩余的 105 个物种进行分类和排序。

数据分析采用重要值作为综合指标来反映种的特征,重要值计算公式如下:

$$\text{乔木重要值} = (\text{相对多度} + \text{相对盖度} + \text{相对高度}) / 3$$

$$\text{灌木、草本重要值} = (\text{相对盖度} + \text{相对高度}) / 2$$

环境数据中海拔、坡度、土壤厚度和凋落物层厚度以实际观测记录值表示。为了便于建立环境数据矩阵,坡位和坡向均采用数字等级表示。上坡位为 1,中坡位为 2,下坡位为 3。坡向以朝东为起点,顺时针旋转,每 45° 为 1 个区间进行等级划分,1 表示北坡 ($247.5—292.5^{\circ}$),2 表示东北坡 ($292.5—337.5^{\circ}$),3 表示西北坡 ($202.5—247.5^{\circ}$),4 表示东坡 ($337.5—22.5^{\circ}$),5 表示西坡 ($167.5—202.5^{\circ}$),6 表示东南坡 ($22.5—67.5^{\circ}$),7 表示西南坡 ($112.5—167.5^{\circ}$),8 表示南坡 ($67.5—112.5^{\circ}$)^[18]。由以上物种重要值构成 105×120 维的物种数据矩阵,由以上 6 个环境因子在 120 个样方的数值组成 6×120 维环境数据矩阵。

1.3 自组织神经映射网络原理与方法

自组织特征映射网络(Self-organizing feature map, SOM)是芬兰学者 Teuvo Kohonen 1981 年提出的一种自组织竞争神经网络^[19-20]。SOM 为输入层和输出层(映射层)的双层结构,输入层用于接收输入模式,输出层输出结果,输出层的神经元互相连接,每个输出神经元连接至所有输入神经元。在 SOM 算法学习过程中,输入神经元与输出神经元为双向权值连接,连接强度组成权重矩阵。SOM 实质上是从任意维离散或连续空间(输入矢量空间)到一维或二维离散空间(输出空间)的一种非线性映射,并保持其拓扑结构不变。对于输入矢量空间中的一个向量,首先根据其特征映射确定在输出空间的最佳匹配单元 BMU(the best matching unit),它的权重向量可视为其投影到输入空间的坐标。通过调整权重矩阵,可以使得输出空间表示输入空间的特征。SOM 是以无教师示教的方式进行网络训练,网络结构和连接权值根据运算规则自动对周围的模式样本进行学习和调整,直到网络结构能够合理反映训练样本的分布规律。根据最后输入向量在输出空间中的聚集和空间分布可以实现聚类 and 排序,计算过程详见文献^[21-22]。

本文的 SOM 分类和排序在 MATLAB(7.0) SOM 工具箱^[23]通过编程完成,分为 SOM 训练物种数据矩阵和可视化环境梯度 2 个步骤:

(1) SOM 训练物种数据矩阵 将物种数据矩阵导入 SOM,输入层神经元负责获取外界输入数据,其个数与样方数相同。训练网络需要预先给定 SOM 单元(输出神经元)数目及其结构形状^[24],本文参照 Vesanto^[25]和 Park^[26]方法, SOM 单元数目按 $5 \times \sqrt{\text{输入神经元数}}$ 设定,再逐步调整横向和纵向 SOM 单元数训练网络,以量化误差(quantization error, QE)和拓扑误差(topographic error, TE)最小为测度^[26],筛选训练精度最高的训练结果作为最终的输出层。将输入向量保留映射至输出层,即可生成样方的拓扑映射图和物种的分布图。

(2) 可视化环境梯度 将环境数据矩阵导入上述训练网络,计算各环境因子在输出层每一神经元的平均值,其值大小等于输出层神经元对应样方的环境因子平均值;若输出神经元不被任何样方所映射,其值取临近神经元的平均值^[26]。用灰度图像将环境因子的输出信息可视化在拓扑映射图上,生成环境因子梯度分布图。

2 结果与分析

运用自组织特征映射网络(Self-organizing feature map, SOM)对庞泉沟自然保护区华北落叶松林物种数据矩阵进行训练, SOM 单元数目按 $5 \times \sqrt{\text{输入层神经元数}}$ 设定,约为 56 个;再逐步调整横向和纵向 SOM 单元数,以量化误差和拓扑误差最小为训练终止准则,筛选出 8×7 的拓扑结构(QE=0.236, TE=0)为最终输出层,训练结果如图 1 所示,120 个样方在拓扑映射图上呈现一定规律的聚集和空间分布。

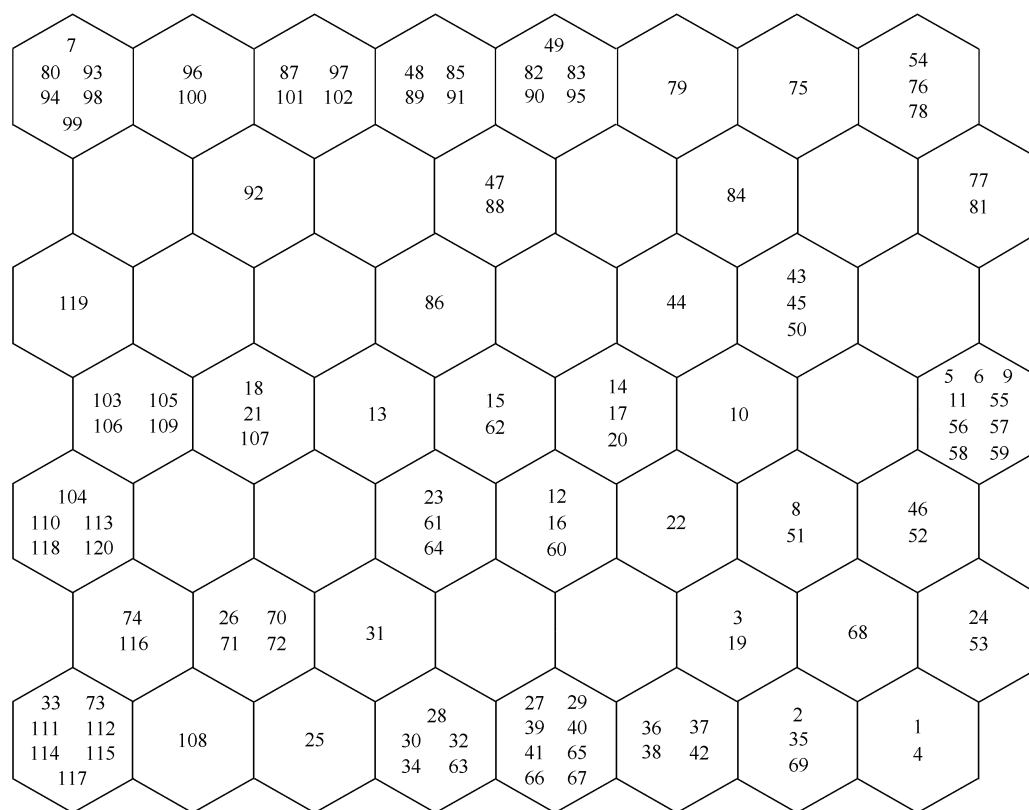


图1 庞泉沟自然保护区华北落叶松林 120 个样方的拓扑映射图

Fig. 1 Topology map of 120 samples through the training of SOM with *Larix principis-rupprechtii* forest in Pangquangou Nature Reserve

2.1 群落分类

映射图上没有明显的边界区分群落类型,为鉴别类别,采用完全连接法^[9]和 SOM 的 U-矩阵法^[16]相结合的方法,将 56 个 SOM 单元划分为 7 个组(图 2),也就是将相对应的 120 个样方划分为 7 类,代表 7 个(I—VII)群落类型:

I 华北落叶松+青扦-毛榛-披针藁草群落(Comm. *Larix principis-rupprechtii* + *Picea wilsonii*-*Corylus mandshurica*-*Carex lanciolata*)。该群落分布于海拔 1800—2100 m 的阴坡或半阴坡,坡度 4—45°。乔木层以

华北落叶松、青扦为主,混交一定数量的白桦(*Betula platyphylla*),还有少量的红桦(*Betula albo-sinensis*)、山杨(*Populus davidiana*)等。华北落叶松、青扦位于第1林冠层,其它乔木位于第2林冠层。林下灌木相对较丰富,毛榛是灌木层的优势种,金花忍冬(*Lonicera chrysantha*)、沙棘(*Swida bretschneideri*)、土庄绣线菊(*Spiraea pubescens*)、美蔷薇(*Rosa bella*)等也有较多分布;草本层以披针藁草占优势,伴生成分有升麻(*Cimicifuga foetida*)、瓣蕊唐松草(*Thalictrum petaloideum*)、糙苏(*Phlomis umbrosa*)、歪头菜(*Vicia unijuga*)、三脉紫菀(*Aster ageratoides*)、山尖子(*Parasenecio hastatus*)等。

II 华北落叶松-美蔷薇+金花忍冬-披针藁草群落

(Comm. *Larix principis-rupprechtii*-*Rosa bella*+*Lonicera chrysantha*-*Carex lanciolata*)。该群落分布 1850—2200 m 的半阴坡或半阳坡,坡度 $<30^{\circ}$ 。乔木层以华北落叶松为主,还有少量的白桦、青扦、红桦、棘皮桦(*Betula dahurica*)等;灌木层以美蔷薇、金花忍冬占优势,还有土庄绣线菊、刺梨(*Ribes burejense*)等;草本层种类较多,有披针藁草、东方草莓(*Fragaria orientalis*)、瓣蕊唐松草、玉竹(*Polygonatum odoratum*)、升麻、糙苏(*Phlomis umbrosa*)、小红菊(*Dendranthema chantenii*)等。

III 华北落叶松-金花忍冬-披针藁草群落 (Comm. *Larix principis-rupprechtii*-*Lonicera chrysantha*-*Carex lanciolata*)。该群落位于海拔 2200—2350 m 半阴坡或半阳坡,坡度 10° — 50° 。乔木层以华北落叶松占优势,青扦次之,还有红桦、棘皮桦、白桦等;灌木层以金花忍冬、东北茶藨子(*Ribes mandshuricum*)、扶芳藤(*Euonymus fortunei*)居多;草本层有披针藁草、东方草莓、五福花(*Adoxa moschatellina*)、高乌头(*Aconitum sinomontanum*)等。

IV 华北落叶松-刺梨-披针藁草群落 (Comm. *Larix principis-rupprechtii*-*Ribes burejense*-*Carex lanciolata*)。该群落分布于海拔 2000—2300 m 的半阳坡。乔木层中华北落叶松占绝对优势,混生极少量的棘皮桦、青扦;灌木层刺梨较多,还有金花忍冬、扶芳藤、美蔷薇、水栒子(*Cotoneaster multiflorus*)等;草本层以披针藁草为主。

V 华北落叶松-刚毛忍冬-披针藁草群落 (Comm. *Larix principis-rupprechtii*-*Lonicera hispida*-*Carex lanciolata*)。该群落位于海拔 2300—2600 m 的阴坡或半阴坡。乔木层种类较少,但郁闭度高,以华北落叶松为主,还有少量青扦和白扦;灌木层种类也较少,以刚毛忍冬(*Lonicera hispida*)为主,林下还有大量的青扦和华北落叶松幼苗;草本层以披针藁草为主,稀疏分布有东方草莓、翠雀(*Delphinium grandiflorum*)、小红菊、野韭(*Allium ramosum*)等。

VI 青扦+华北落叶松-东北茶藨子-披针藁草群落 (Comm. *Picea wilsonii*+*Larix principis-rupprechtii*-*Ribes mandshuricum*-*Carex lanciolata*)。该群落主要分布于海拔 2400—2600 m 的阴坡和半阴坡。乔木层以青扦为主,其次是华北落叶松;灌木层以东北茶藨子占绝对优势;草本层有披针藁草、升麻、小花风毛菊(*Saussurea parviflora*)、假报春(*Cortusa matthioli*)、大叶滨紫草(*Mertensia sibirica*)等。

VII 华北落叶松-唐古特忍冬-披针藁草群落 (Comm. *Larix principis-rupprechtii*-*Lonicera tangutica*-*Carex lanciolata*)。该群落分布于海拔 2400—2600 m 的林线附近。乔木层以华北落叶松为主,青扦其次;灌木层中唐古特忍冬占优势;草本层仍以披针藁草为主。

2.2 群落排序

图1是120样方在SOM输出层拓扑结构的分布图,也就是样方的SOM排序结果。将群落的分类结果显示在排序图上(图3),7个群落类型各有其分布范围和界线,较好地反映了植物群落之间的关系。

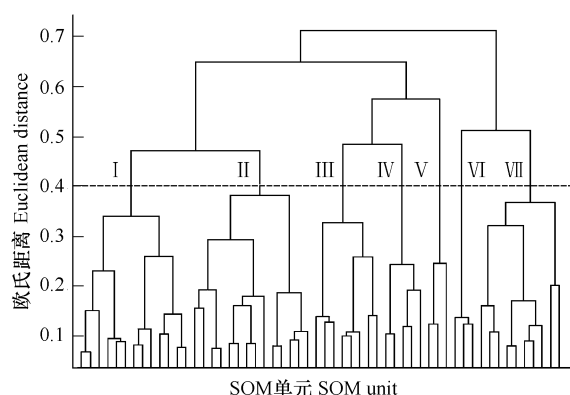


图2 用完全连接法分类56个SOM单元

Fig. 2 Clustering of 56 SOM units using complete linkage method with the Euclidean distance measure

排序空间的环境梯度以 SOM 单元对应的每一环境因子的平均值显示(图 4),颜色越深代表环境因子的值越大。从图 4 可以看出,海拔的梯度分布最明显,由下至上逐渐升高;坡度和土壤厚度的梯度分布与海拔相似,但梯度没有海拔明显;坡位的最大值分布于排序图的底部;坡向和凋落物层厚度的最大值均分布于排序图的右下角,但后者的梯度不明显。这些结果表明,海拔是所有因子中对华北落叶松林分布起决定性作用的环境因子,而凋落物层厚度的作用最小。

为直观描述群落与环境之间的生态关系,将群落类型和环境因子的梯度变化表示在同一 SOM 排序图上(图 5)。排序图的纵轴由下至上主要表达了朝向冷湿方向的一个综合梯度,主要反映海拔的垂直变异及在海拔梯度上土壤厚度、坡度和坡位的变化,空间尺度较大;横轴由左到右表达向阳方向的梯度,主要反映坡向的变

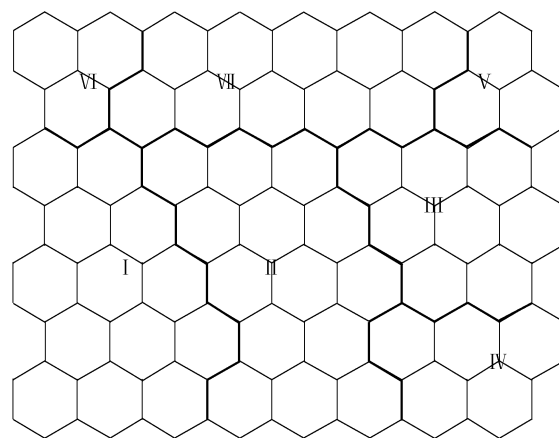


图 3 庞泉沟自然保护区华北落叶松林的 SOM 排序图

Fig. 3 SOM ordination diagram of *Larix principis-rupprechtii* forest in Pangquangou Nature Reserve

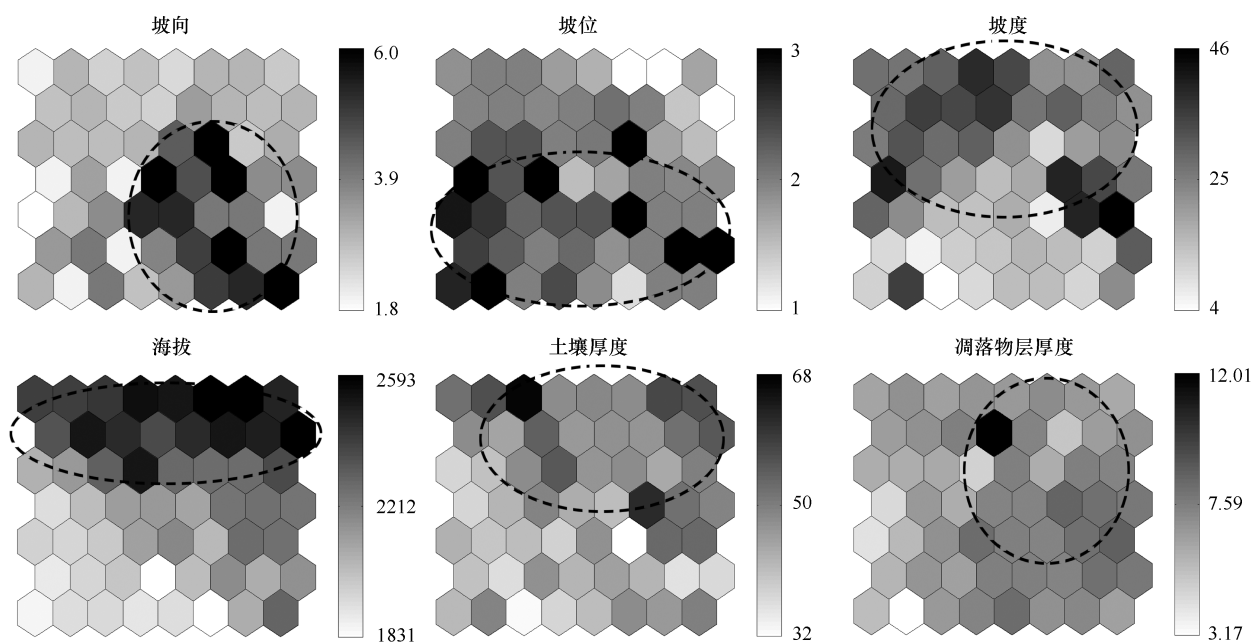


图 4 SOM 排序空间的环境梯度(环境因子的最高值区域以虚线圈表示)

Fig. 4 Visualization of environmental variables on the trained SOM ordination diagram in gray scale (The area with the highest values is circles with dotted line)

化,空间尺度相对较小。二者综合作用,表达该地区华北落叶松林的空间梯度。群落 I 分布较低海拔的阴坡,生境特点较为凉湿;群落 II—IV 分布于较低海拔的半阳坡,生境特点较为暖干;群落 V—VII 分布于高海拔的阴坡、半阴坡,生境特点是冷湿。

2.3 物种排序

图 6 是庞泉沟华北落叶松林主要优势种在 SOM 排序图中的分布。由图 6 可以看出,植物群落中的优势种的分布格局与相应群落类型的分布格局有很大的相似性,如唐古特忍冬的分布中心和与以其为优势种的群落 VII 位置一致,金花忍冬与群落 III,东北茶藨子与群落 VI,美蔷薇与群落 II 等均是如此。由此可反映出优势种

的分布格局在很大程度上决定着植物群落类型的分布格局。

图6中每种植物都有自己的分布中心和分布区域,这是由各自适宜生存的环境条件所决定的。华北落叶松和披针藁草是所有群落的优势种,在调查范围内分布广泛;青扦常常与华北落叶松混生,分布范围也较广,但由于青扦的耐阴性更强,因而青扦的分布中心位于阴坡,而华北落叶松位于半阴坡或半阳坡。尽管华北落叶松林总体的生境特点是凉湿,但各物种的分布中心在环境梯度上仍有一定程度的分化,SOM排序空间从下至上,植物种由喜温暖向耐冷湿的物种过渡;从左到右,植物种由喜湿润、耐遮阴到耐干旱的物种过渡。

3 结论与讨论

自组织神经影射网络(SOM)能够处理大量的不精确、不完全的模糊信息,对非线性问题求解能力比较

强^[21],非常适合像植物生态系统这样的复杂系统的分析研究。因此,SOM在植物群落分类和排序中的应用在理论上讲具有优越性。另外,在植被研究实践中,群落分类和排序往往需要同时进行,而SOM恰恰能同时完成,这对植被生态学来说是一大优点。SOM基于输入矢量在映射空间的聚集完成群落分类,基于输入矢量在

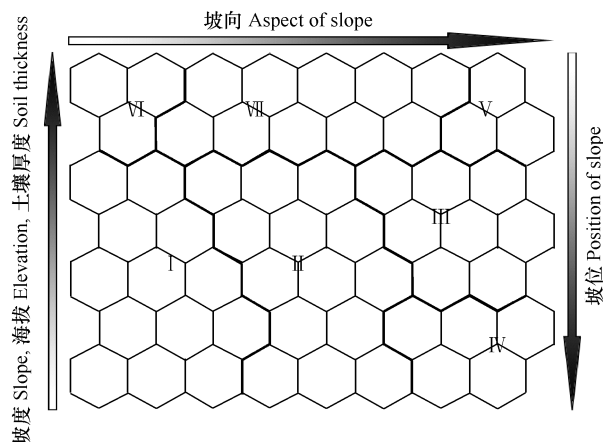


图5 群落类型与其环境的关系

Fig. 5 Comparison of relationships among clusters and environmental variables

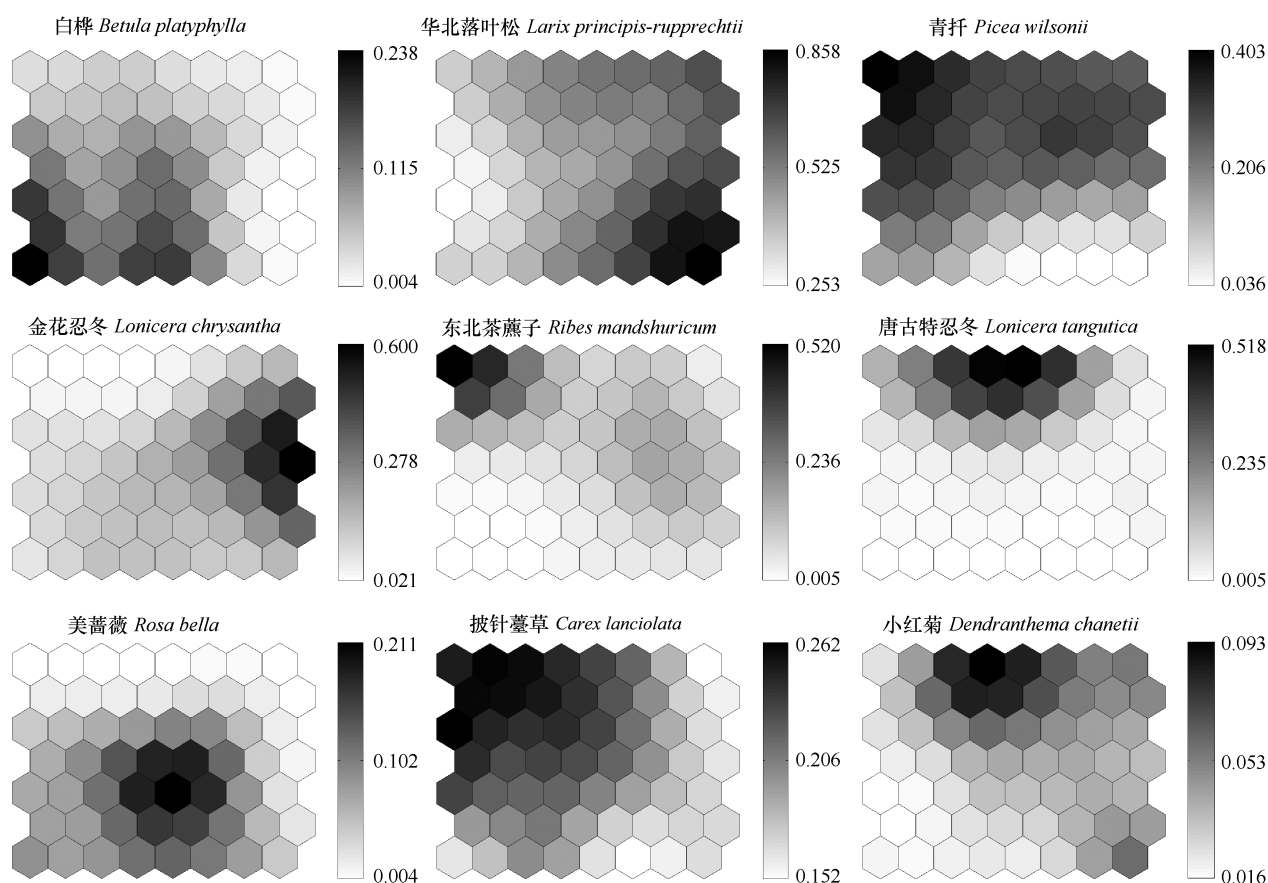


图6 优势种在SOM排序图上的梯度分布

Fig. 6 Gradient distributions of dominant species in the trained SOM ordination diagram in gray scale

映射空间的分布完成群落排序,通常排序结果往往需要在排序图上圈定群落的分类界限,由于“聚集”和“分布”均是反映输入矢量间的空间关系,二者的本质相同,因此 SOM 排序图也可认为是 SOM 分类结果的可视化形式。

本文运用 SOM 对庞泉沟华北落叶松林进行分类和排序,将 120 个样方分为 7 个群落类型,分类结果合理,生态意义明确;7 个群落类型在排序空间各有其分布范围和界线,说明排序揭示了群落间的生态关系,同时也证明了 SOM 分类结果的合理性。为了进一步分析植被分布与环境因子的关系,本文尝试将环境因子的变化可视化在排序图上。结果表明,该方法能够揭示排序空间主要的生态梯度,即海拔是影响该区华北落叶松林空间分布的最主要环境因子,因为海拔的变化会引起生境中水热组合的变化。此外,华北落叶松林的分布也与坡度、坡向、土壤厚度等地形因子有关。物种的排序结果表明,环境梯度不仅影响了物种的分布格局,而且还通过影响优势种的分布格局进而决定植物群落类型的分布格局。

本文应用表明,SOM 除了能够同时完成群落分类和排序及精确地模拟人们对生态过程了解较少的系统行为外^[11],相较于 TWINSpan、FCM 等群落数量分类方法,SOM 可获得与 FCM 基本相同的分类结果^[27],且以保留映射的拓扑结构可视化其结果。相较于 PCA、DCA、RDA、CCA 等数量排序方法,SOM 由于其拓扑结构保持性,二维排序空间涵盖了全部的植被信息,而其它排序方法的前两轴仅能反映部分植被信息^[28];SOM 和 DCA、CCA 均基于非线性模型,比基于线性模型的 PCA、RDA 更适合用于生态学研究;SOM 排序属间接梯度分析(indirect gradient analysis)方法,虽然不能像 RDA、CCA 等直接排序方法一样定量表达植物种、植物群落与环境变量的关系,但本文通过将环境因子的变化可视化在排序图上的方法,仍然可以客观、定性地表明这些关系,这是 PCA、DCA 等其它间接梯度分析方法目前所不能做到的。因此,SOM 可以说是一种非常有效的分析植物群落与其环境间关系的数量分类和排序方法。

作为植物群落与环境关系研究的一个新途径,SOM 可以较处理好群落与环境因素间的非线性关系,本文的研究结果也表明 SOM 分类和排序可以有效地应用于植物群落生态分析。但另一方面,SOM 目前在植被生态研究中应用比较少,无论在算法改进还是模型解释等方面,仍有很多问题需要进一步探讨。

References:

- [1] Guisan A, Zimmermann N E. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*, 2000, 135(2/3): 147-186.
- [2] Hill M O. TWINSpan-a FORTRAN program for two-way-indicator-species-analysis//Section of Ecology and Systematics. Ithaca, New York: Cornell University, 1979.
- [3] Bezdek J C, Ehrlich R. FCM: the fuzzy c-means clustering algorithm. *Computers & Geosciences*, 1984, 10(2/3): 191-203.
- [4] Goodall D W. Objective methods for the classification of vegetation. III. An essay in the use of factor analysis. *Australian Journal of Botany*, 1954, 2(3): 304-324.
- [5] Hill M O, Gauch H G. Detrended correspondence analysis: an improved ordination technique. *Plant Ecology*, 1980, 42(1/3): 47-58.
- [6] van Den Wollenberg A L. Redundancy analysis an alternative for canonical correlation analysis. *Psychometrika*, 1977, 42(2): 207-219.
- [7] Braak C J F T. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 1986, 67(5): 1167-1179.
- [8] Zhang J T. A comparison of fuzzy C-means algorithm clustering and TWINSpan in vegetation classification. *Journal of Wuhan Botanical Research*, 1994, 12(1): 11-17.
- [9] Zhang J T. *Quantitative Ecology*. Beijing: Science Press, 2004.
- [10] Schultz A, Wieland R, Lutze G. Neural networks in agroecological modelling-stylish application or helpful tool? *Computers and Electronics in Agriculture*, 2000, 29(1/2): 73-97.
- [11] 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.
- [12] Li S C, Zheng D. Applications of artificial neural networks to geosciences: review and prospect. *Advance in Earth Sciences*, 2003, 18(1): 68-76.
- [13] Zhang J T, Meng D P, Xi Y X. Ordination of self-organizing feature map neural networks and its application to the study of plant communities.

- Frontiers of Forestry in China, 2009, 4(3): 291-296.
- [14] Ji W R, Hong J J, Meng X, Li Y L. Diversity of ground-dwelling beetles (Coleoptera) in *Larix principis-rupprichtii* forest with different stages of reforestation in Pangquangou National Nature Reserve. *Scientia Silvae Sinica*, 2008, 44(9): 95-100.
- [15] Pangquangou Nature Reserves in Shanxi Province Editorial Committee. *Pangquangou Nature Reserves in Shanxi Province*. Beijing: China Forestry Publishing House, 1999.
- [16] Park Y S, Tison J, Lek S, Giraudel J L, Coste M, Delmas F. Application of a self-organizing map to select representative species in multivariate analysis: a case study determining diatom distribution patterns across France. *Ecological Informatics*, 2006, 1(3): 247-257.
- [17] Zhang L X, Zhang F, Shangguang T L. Quantity analysis of plant communities on Mountain Luya, Shanxi. *Chinese Bulletin of Botany*, 2001, 18(2): 231-239, 176-176.
- [18] 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.
- [19] Kohonen T. Self-organized formation of topologically correct feature maps. *Biological Cybernetics*, 1982, 43(1): 59-69.
- [20] Kohonen T. *Self-Organizing Maps*. 3rd ed. Berlin: Springer, 2001.
- [21] Zhang J T, Meng D P, Xi Y X. Ordination of self-organizing feature map neural network and its application to the study of plant communities. *Journal of Beijing Forestry University*, 2008, 30(1): 1-5.
- [22] Foody G M. Applications of the self-organising feature map neural network in community data analysis. *Ecological Modelling*, 1999, 120(2/3): 97-107.
- [23] Alhoniemi E, Himberg J, Parhankangas J, Vesanto J. SOM Toolbox. [2009-06-08]. <http://www.cis.hut.fi/projects/somtoolbox>. 2000.
- [24] C  r  ghino R, Park Y S. Review of the self-organizing map (SOM) approach in water resources: commentary. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 24(8): 945-947.
- [25] Vesanto J, Himberg J, Alhoniemi E, Parhankangas J, Team S, Oy L. SOM toolbox for Matlab // Technical Report A57. Espoo: Helsinki University of Technology, 2000.
- [26] Park Y S, C  r  ghino 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.
- [27] Zhang J T, Yang H X. Application of self-organizing neural networks to classification of plant communities in Pangquangou Nature Reserve, North China. *Frontiers of Biology in China*, 2008, 3(4): 512-517.
- [28] Zhang J T, Dong Y R, Xi Y X. A comparison of SOFM ordination with DCA and PCA in gradient analysis of plant communities in the midst of Taihang Mountains, China. *Ecological Informatics*, 2008, 3(6): 367-374.

参考文献:

- [8] 张金屯. 模糊 C-均值聚类 and TWINSpan 分类的比较研究. *武汉植物学研究*. 1994, 12(1): 11-17.
- [9] 张金屯. *数量生态学*. 北京: 科学出版社, 2004.
- [11] 米湘成, 马克平, 邹应斌. 人工神经网络模型及其在农业和生态学研究中的应用. *植物生态学报*, 2005, 29(5): 863-870.
- [12] 李双成, 郑度. 人工神经网络模型在地学研究中的应用进展. *地球科学进展*, 2003, 18(1): 68-76.
- [14] 冀卫荣, 胡俊杰, 孟翔, 李友莲. 庞泉沟国家级自然保护区落叶松林地地表甲虫的多样性. *林业科学*, 2008, 44(9): 95-100.
- [15] 山西庞泉沟国家级自然保护区编委会. *山西庞泉沟国家级自然保护区*. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [17] 张丽霞, 张峰, 上官铁梁. 山西芦芽山植物群落的数量分类. *植物学通报*, 2001, 18(2): 231-239, 176-176.
- [21] 张金屯, 孟东平, 席跃翔. 自组织神经映射网络排序及其在植物群落分析中的应用. *北京林业大学学报*, 2008, 30(1): 1-5.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 11 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses of microbes-mediated carbon and nitrogen cycles to global climate change	SHEN Jupei, HE Jizheng (2957)
Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis	JIA Xiaohui, SHI Dingji, SHI Mianhong, et al (2968)
Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) in China	WEN Lizhang, ZHANG Youjun, ZHU Liang, et al (2978)
Self-organizing feature map classification and ordination of <i>Larix principis-rupprechtii</i> forest in Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, ZHANG Jintun, Suriguga, et al (2990)
Ecological effects of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai	WU Di, YUE Feng, LUO Zukui, et al (2999)
Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain	WU Xiaogang, GUO Jinping, YANG Xiuyun, et al (3009)
Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China	ZHANG Shengxi, CHEN Falin, ZHENG Hua (3020)
The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3027)
Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression area of Northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (3036)
Effects of cadmium stress on the activities of antioxidant enzymes, digestive enzymes and the membrane lipid peroxidation of the mangrove mud clam <i>Geloina coaxans</i> (Gmelin)	LAI Tinghe, HE Binyuan, FAN Hangqing, et al (3044)
The edge effects on tree-liana relationship in a secondary natural forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island, China	WU Yuna, TAO Jianping, XI Weimin, et al (3054)
Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau	YANG Lei, WEI Wei, MO Baoru, et al (3060)
The diurnal trends of sensible and latent heat fluxes of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought	HE Youwei, WANG Qiubing, WEN Xuefa, et al (3069)
Ecological adaptability of photosynthesis and water use for <i>Tamarix ramosissima</i> in the southern periphery of Gurbantungut Desert, Xinjiang	WANG Shanshan, CHEN Xi, WANG Quan, et al (3082)
Estimation of leaf area index of cotton using digital Imaging	WANG Fangyong, WANG Keru, LI Shaokun, et al (3090)
Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (<i>Glycine soja</i>) and cultivated soybean (<i>Glycine max</i>) to NaCl stress	XUE Zhongcai, GAO Huiyuan, LIU Jie (3101)
Effects of water and phosphorus supply on morphology and structure of special root hairs on nodal roots of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	ZHANG Jun, HE Dexian, DUAN Zengqiang (3110)
Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve	SUN Zhiqiang, ZHANG Xingyao, ZHU Yanpeng, et al (3120)
Societal metabolism for chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM)	LIU Ye, GENG Yong, ZHAO Hengxin (3133)
Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China	CUI Hong, JI Hao, YANG Huijuan, et al (3143)
Performance evaluation of B biotype whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> on 23 host plants	AN Xincheng, GUO Qiang, HU Qiongbo (3150)
Studies of hemocytes DNA damage by two pesticides acetamiprid and chlorpyrifos in predaceous spiders of <i>Pardosa astrigera</i> Koch	LI Rui, LI Shengcai, LIU Jia, (3156)
Effects of the fungicide prochloraz on the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LI Daming, LU Zhenghe, FENG Qi, et al (3163)
Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of <i>Brachionus calyciflorus</i>	GE Yali, XI Yilong (3170)
Review and Monograph	
Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality	ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al (3180)
Review of dew action effect on plants	YE Youhua, PENG Shaolin (3190)
Advances in Botryosphaeriaceae: identification, phylogeny and molecular ecology	CHENG Yanlin, LIANG Jun, LÜ Quan, et al (3197)
Advances in research on the mechanisms of age-related productivity decline of planted forests	MAO Peili, CAO Banghua, TIAN Wenxia, et al (3208)
The application of tree-ring on forest disturbance history reconstruction	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (3215)
Research advances on stress responsive WRKY transcription factors in plants	LI Ran, LOU Yonggen (3223)
Scientific Note	
The soil microbial activities and microbial biomass in Sanjiangyuan Alpine grassland	REN Zuohua, ZHANG Yuguang, LI Diqiang, et al (3232)
The differences of water use efficiency (WUE) among three <i>Populus deltoids</i> clones, and the cloning and characterization of related gene, <i>PdERECTA</i>	GUO Peng, XIA Xinli, YIN Weilun (3239)
Arthropod community reestablishment and niche of the main groups in kiwifruit orchards	DU Chao, ZHAO Huiyan, GAO Huanhuan, et al (3246)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 11 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 11 2011

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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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