

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 5 期
Vol.31 No.5
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 5 期 2011 年 3 月 (半月刊)

目 次

盐胁迫下 3 种滨海盐生植物的根系生长和分布·····	弋良朋,王祖伟 (1195)
蕙兰病株根部内生细菌种群变化·····	杨 娜,杨 波 (1203)
森林不同土壤层全氮空间变异特征·····	张振明,余新晓,王友生,等 (1213)
基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测·····	罗 翀,徐卫华,周志翔,等 (1221)
黑河胜山自然保护区红松和红皮云杉生长释放判定及解释·····	王晓春,赵玉芳 (1230)
两种大型真菌菌丝体对重金属的耐受和富集特性·····	李维焕,于兰兰,程显好,等 (1240)
2005—2009 年浙江省不同土地类型上空对流层 NO ₂ 变化特征 ·····	程苗苗,江 洪,陈 健,等 (1249)
关帝山天然次生针叶林林隙径高比 ·····	符利勇,唐守正,刘应安 (1260)
鄱阳湖湿地水位变化的景观响应·····	谢冬明,郑 鹏,邓红兵,等 (1269)
模拟氮沉降对华西雨屏区撑绿杂交竹凋落物分解的影响·····	涂利华,戴洪忠,胡庭兴,等 (1277)
喷施芳香植物源营养液对梨树生长、果实品质及病害的影响 ·····	耿 健,崔楠楠,张 杰,等 (1285)
不同覆膜方式对旱砂田土壤水热效应及西瓜生长的影响 ·····	马忠明,杜少平,薛 亮 (1295)
干旱胁迫对玉米苗期叶片光合作用和保护酶的影响 ·····	张仁和,郑友军,马国胜,等 (1303)
不同供水条件下冬小麦叶与非叶绿色器官光合日变化特征 ·····	张永平,张英华,王志敏 (1312)
水分亏缺下紫花苜蓿和高粱根系水力学导度与水分利用效率的关系 ···	李文娆,李小利,张岁岐,等 (1323)
美洲森林群落 Beta 多样性的纬度梯度性 ·····	陈圣宾,欧阳志云,郑 华,等 (1334)
水体泥沙对菖蒲和石菖蒲生长发育的影响·····	李 强,朱启红,丁武泉,等 (1341)
蚯蚓在植物修复芫污染土壤中的作用·····	潘声旺,魏世强,袁 馨,等 (1349)
石榴园西花蓟马种群动态及其与气象因素的关系·····	刘 凌,陈 斌,李正跃,等 (1356)
黄山短尾猴食土行为·····	尹华宝,韩德民,谢继峰,等 (1364)
扎龙湿地昆虫群落结构及动态·····	马 玲,顾 伟,丁新华,等 (1371)
浙江双带蝠蛾发生与土壤关系的层次递进判别分析·····	杜瑞卿,陈顺立,张征田,等 (1378)
低温导致中华蜜蜂后翅翅脉的新变异 ·····	周冰峰,朱翔杰,李 月 (1387)
双壳纲贝类 18S rRNA 基因序列变异及系统发生 ·····	孟学平,申 欣,程汉良,等 (1393)
基于物理模型实验的光倒刺鲃生态行为学研究 ·····	李卫明,陈求稳,黄应平 (1404)
中国铁路机车牵引能耗的生态足迹变化 ·····	何吉成 (1412)
城市承载力空间差异分析方法——以常州市为例·····	王 丹,陈 爽,高 群,等 (1419)
水资源短缺的社会适应能力理论及实证——以黑河流域为例 ·····	程怀文,李玉文,徐中民 (1430)
寄主植物叶片物理性状对潜叶昆虫的影响·····	戴小华,朱朝东,徐家生,等 (1440)
专论与综述	
C ₄ 作物 FACE (free-air CO ₂ enrichment) 研究进展 ·····	王云霞,杨连新,Remy Manderscheid,等 (1450)
研究简报	
石灰石粉施用剂量对重庆酸雨区受害马尾松林细根生长的影响·····	李志勇,王彦辉,于澎湃,等 (1460)
女贞和珊瑚树叶片表面特征的 AFM 观察 ·····	石 辉,王会霞,李秧秧,刘 肖 (1471)

基于生态位模型的秦岭山系林麝生境预测

罗 翀¹, 徐卫华^{2,*}, 周志翔¹, 欧阳志云², 张 路²

(1. 华中农业大学园艺林学学院, 武汉 430070; 2. 中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

摘要: 生境评价和预测是对物种进行有效保护的基础。利用林麝痕迹点、自然环境及人类干扰空间数据, 分别用两种生态位模型 MAXENT 和 ENFA, 预测了秦岭山系林麝的生境分布, 并对结果进行了阈值依赖和非阈值依赖比较。探讨了林麝生境选择与环境因子的关系。结果表明, 两种生态位模型预测效果都较好, 但 MAXENT 模型预测效果更为优秀。秦岭山系林麝生境主要集中在主峰太白山及周边地区中高海拔的森林中, 共有生境面积 10764.4 km², 现有的保护区保护了 3500.9 km² 的林麝生境, 还有 67.5% 的林麝生境处于保护空缺状态。交通干道、农田和居民点是影响林麝生境选择的主要人类干扰因子。为更有效地保护该地区的林麝及其生境, 有必要对现有保护区进行规划调整, 使林麝生境集中分布区都得到有效保护, 并恢复隔离的林麝生境之间的迁徙廊道。

关键词: 林麝 (*Moschus berezovskii*); MAXENT; ENFA; 生境适宜性; 保护对策

Habitat prediction for forest musk deer (*Moschus berezovskii*) in Qinling mountain range based on niche model

LUO Chong¹, XU Weihua^{2,*}, ZHOU Zhixiang¹, OUYANG Zhiyun², ZHANG Lu²

¹ College of Horticulture & Forestry Sciences, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China

² Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

Abstract: Habitat assessment and prediction is the base for protection of endangered species. In this paper, MAXENT and ENFA were applied to predict habitat for forest musk deer in Qinling mountain range, with evidence data of this species, and other environment factors. Prediction results were evaluated by both of threshold-dependent and threshold-independent methods. And the environmental factors and habitat selection of forest musk deer were then analyzed. Results showed that both models showed good prediction ability, and MAXENT gave a better prediction than that of ENFA. The habitat of forest musk deer was mainly distributed in Taibai Mountain and surrounding areas in Qinling mountain range, with the total area of 10764.4 km². The current nature reserves protected only 3500.9 km² of the habitat of this species, and 67.5% of the habitat was in conservation gap. For effective protection of forest musk deer in this area, it is necessary to adjust the current nature reserves for covering most of the concentration habitat, and to restore the corridors among habitat patches.

Key Words: forest musk deer (*Moschus berezovskii*); MAXENT; ENFA; habitat suitability; conservation strategies

林麝 (*Moschus berezovskii*), 隶属偶蹄目 (*Artiodactyla*)、麝科 (*Moschidae*)、麝属 (*Moschus*), 为我国 I 级重点保护野生动物, 《中国濒危动物红皮书》列为濒危或易危物种。林麝是一种典型的林栖动物, 具有较高的药用和经济价值。由于长期的乱捕滥猎和生境破坏导致林麝种群数量急剧下降, 分布区也逐步缩减^[1]。而对保护物种生境的研究, 明确其主要影响因子和分布, 是分析物种种群数量减少、濒危原因的重要手段, 同时也能制定合理的保护对策提供依据^[2]。

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (40901289); 国家科技支撑计划课题 (2007BAC16B02); 世界自然基金会资助项目

收稿日期: 2010-08-09; **修订日期:** 2011-02-14

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xuweihua@rcees.ac.cn

横亘在陕西南部的秦岭山系生物多样性资源丰富,是林麝的分布区之一^[3]。一些学者通过野外样方调查对秦岭西部地区林麝的生境选择进行了研究^[4-5],但这些研究只在自然保护区或者县域尺度上开展,而从长远来看,从山系或者更大尺度来开展物种生境的研究更有意义^[6]。

近年来,应用各种生境模型从大尺度对物种生境进行研究成为新的热点^[7-9],应用比较广泛的有 BIOCLIM^[10],GARP^[11],GLM^[12],ENFA^[13],MAXENT^[14]等。ENFA 和 MAXENT 模型是近年发展起来的基于生态位原理的生境预测模型,应用一定数量的物种出现点和环境变量数据预测物种的生境分布^[15-16],已广泛应用于物种生境预测^[13,17-18]。本文应用 ENFA 和 MAXENT 这两种生态位模型对秦岭山系的林麝分布区进行预测,并对预测结果进行了阈值依赖和非依赖比较。探讨林麝生境选择与环境变量之间的关系,并分析林麝保护的空缺状况,以期对秦岭山系林麝及其生境的保护提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

秦岭山系(N32°28'—34°31',E105°29'—111°02')位于陕西省南部,东起河南伏牛山,西至甘肃岷江,北临渭河,南至汉水,面积约 5.8 万 km²。主峰太白山海拔 3767 m,最低处 164m,高差达 3603m。东西走向的秦岭是我国南北地理、气候和生物地理的分界线和交汇过渡地带。复杂的地形与多样的气候与土壤条件为生物生存提供了良好的条件,生物多样性资源丰富。植被属暖温带落叶阔叶林和北亚热带常绿落叶阔叶混交林带,植物区系成分复杂,为华北、华中和横断山脉 3 个植物区系成分的交汇区,高山区还有唐古特植物的特色。植被垂直分布明显,自下而上依次为栽培植被—一次生灌木—中低山落叶阔叶林带—中山落叶阔叶小叶林带—亚高山针叶林带—高山灌木草甸。在世界动物地理区划上,为古北界和东洋界的分界线,动物种类繁多,具有明显的过渡性和相互渗透性。根据陕西野生动物图鉴,陕西秦岭共有野生脊椎动物 736 种,隶属 35 目 115 科 365 属,其中包括大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)、金丝猴(*Rhinopithecus roxellana*)等 10 种国家 I 级重点保护野生动物。

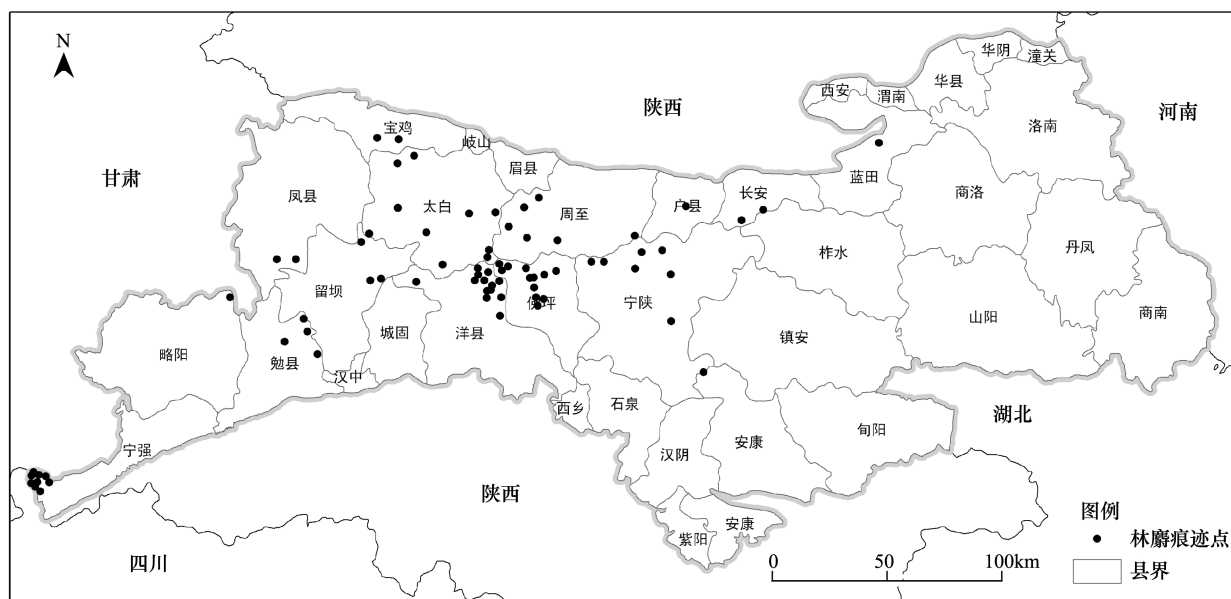


图1 秦岭山系地理位置及林麝痕迹点分布

Fig.1 The location of Qinling mountain range and presence point of forest musk deer

1.2 模型介绍

MAXENT 和 ENFA 都是基于生态位原理的模型,利用物种出现点和研究地区的环境变量来预测物种的生境分布。MAXENT 源于 1957 年 Jaynes 提出的最大熵(maximum entropy, MAXENT)理论。该理论认为在已

知条件下,熵最大的事物最接近它的真实状态。MAXENT 模型根据物种现实分布点的环境变量特征得出约束条件,然后探寻此约束条件下的最大熵的可能分布,据此来预测物种在研究地区的生境分布^[15]。基于此原理,Phillips 等人开发了 MAXENT 软件,并对低地褐喉树懒 (*Bradypus variegatus*) 和山区小稻鼠 (*Micoryzomys minutus*) 在中南美洲的地理分布进行了预测。该模型已被成功应用于入侵种的适生区预测^[7,19],保护物种的生境分布预测^[9,18]。

生态位因子分析 (Ecological-Niche Factor Analysis, ENFA) 模型建立在生态位概念的基础上,通过比较物种出现点的生境因子与整个研究区域的生境因子的差异来评价生境适宜性。采用主成分分析的方法,从环境变量中提取主要信息组合为互不相关的特征因子矩阵,特征矩阵和特征向量用来生成生境适宜性图。模型的运行通过 BIOMAPPER 软件来实现。王学志等应用此模型对平武县大熊猫 (*Ailuropoda melanoleuca*) 生境进行了评价^[20],Galparsoro 等对比斯开湾欧洲龙虾 (*Homarus gammarus*) 的生境进行了预测^[8]。

1.3 数据准备

模型的运行需要物种分布点数据和环境变量数据。林麝分布点数据来源于 2006—2008 年秦岭山系各保护区固定路线巡护监测数据,共 81 个包含经纬度的林麝痕迹点 (包括粪便、足迹、食迹、卧迹以及能够证明林麝存在的其它痕迹),分布于林麝主要分布区的各县 (图 1)。环境变量数据包括:①地形数据,包括海拔、坡度和坡向,由中国科学院科学数据库 90m 分辨率的 DEM 计算得到;②植被覆盖数据,利用 ERDAS9.1 遥感影像处理软件,采用知识分类的方法,对整个秦岭山系共 8 景 2007 年 5 月至 9 月之间的 TM 影像 (来源于中科院遥感卫星地面站) 进行分类得到。根据野外调查植被类型样点 (278 个样点) 的光谱特征建立分类规则,将 TM 影像分为针阔混交林、混交林、针叶林、灌丛、草甸、草丛、农田、居民地、水体等 9 类。考虑到山体阴影的影响,将阴坡和阳坡分别提出进行分类,提高了分类精度 (总体分类精度 78%);③居民点、交通干道 (国道和省道)、次要公路 (县乡级道路)、大河 (宽度大于 2m) 和小河 (宽度小于 2m),由国家基础地理信息中心提供。

以 ARCGIS 为平台,分别建立各环境变量的栅格文件。将所有图层统一边界和坐标系统,栅格重采样到 90×90m,并转换为模型要求的文件格式。

1.4 分析方法

MAXENT 模型预测 将林麝分布点数据和环境变量数据导入 MAXENT 模型中,随机选取 75% 的点用于建立模型,剩下 25% 的点用于模型验证,其它参数为模型默认值。模型输出结果在 ARCGIS 中作进一步的分析。

ENFA 模型预测 将环境变量数据导入 BIOMAPPER3 中,采用 Box-Cox 方法对环境变量进行标准化变换。计算出特征矩阵之后,提取累计贡献率达到要求的前 N 个因子生成生境适宜性图,在 ArcGIS 中进行统计分析。

1.5 预测结果比较

1.5.1 阈值依赖判断

假阴性率和阳性预测率是两个重要的模型参数。假阴性率表示按照设定的阈值,已知该物种出现点中预测为不适合出现点的比率;阳性预测率表示预测为阳性区占总预测区的比率。这两个参数受阈值影响较大,为使两模型能够比较,用相同的阳性率对应的假阴性率进行比较,假阴性率小的表示预测效果好^[15-16]。

1.5.2 非阈值依赖判断

采用阈值依赖法进行模型预测效果比较时,评价结果受阈值影响较大,且不同模型阈值表示的意义不同。ROC (receiver operating characteristic) 曲线最开始应用于雷达信号分析,后广泛应用于诊断试验性能的评价^[16]。近年来,ROC 曲线分析法在物种生境预测模型的评价中应用越来越广泛^[21-23]。ROC 曲线是以假阳性率为横坐标,真阳性率为纵坐标所形成的曲线,AUC 值 (area under curve) 是 ROC 曲线与横坐标围成的面积。AUC 值越大表示物种分布越偏离随机分布,环境变量与模型的相关性越大,即模型预测效果越好。AUC 值不受阈值影响,评价结果更客观。

以上评价中所需的随机“非出现点”的生成和提取各点所在的适生指数值均由 Hawth's_Analysis_Tools_for_ArcGIS9 完成^[24]。

2 结果与分析

2.1 模型预测结果

应用两种模型分别对秦岭山系的林麝生境进行预测,输出结果在 ArcGIS 中进一步统计分析。以 Nature break (Jean) 法将结果分级显示,分为适宜生境、次适宜生境、不适宜生境等三类(图 2)。两种模型对林麝主要分布区的预测较为一致,ENFA 模型预测的林麝生境要大于 MAXNET 模型。在空间分布上,秦岭山系林麝主要分布于中西部地区,基本沿东西走向的秦岭主脊分布。在行政区划上包括了凤县、太白、宝鸡、周至、宁陕、佛坪、洋县、城固、勉县、略阳、宁强等县(区)。

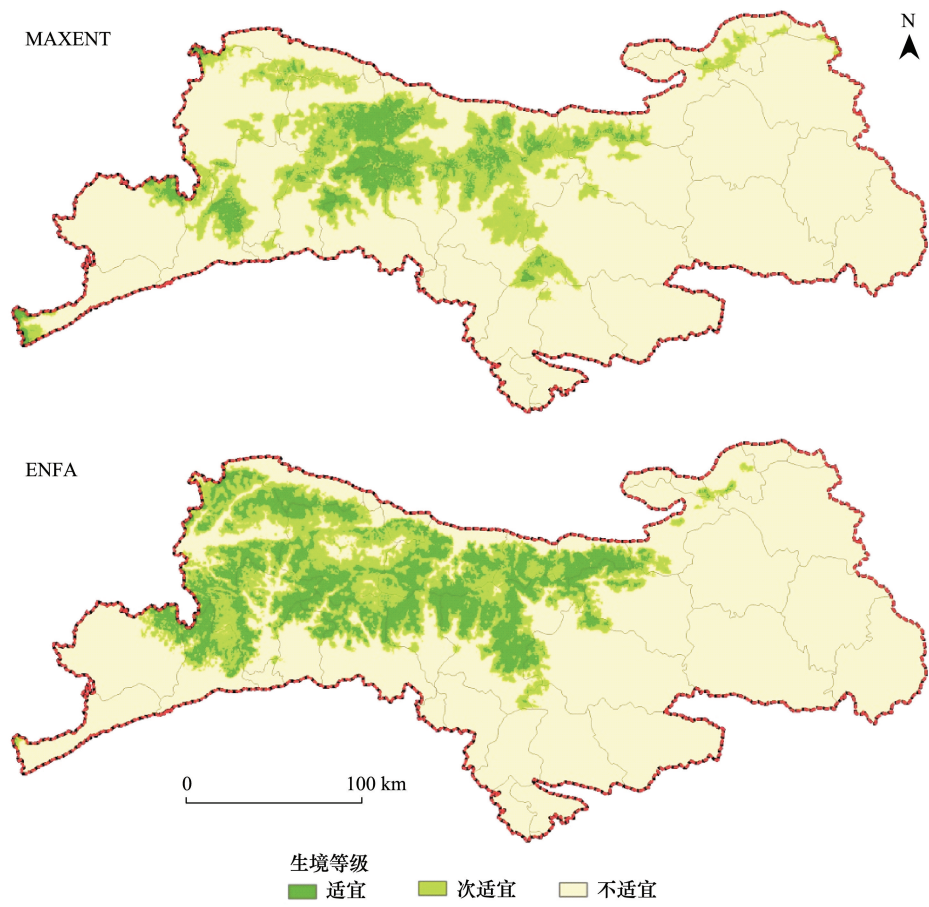


图 2 秦岭山系林麝生境分布
Fig.2 Habitats distribution of forest musk deer in Qinling Mountain Range

2.2 模型比较

2.2.1 阈值依赖法

MAXENT 模型预测结果中直接给出了阳性预测率和对应的假阴性率。对于 ENFA 模型的预测结果,抽取验证点所在的适生指数值,按照设定的阈值统计分析阳性预测率和对应的假阴性率。然后找出 MAXENT 对应的假阴性率,结果如表 1。从表 1 可以看出,对应同一阳性预测率,MAXENT 模型的假阴性率要小于 ENFA 模型,说明在本文研究中,MAXENT 模型预测结果要优于 ENFA 模型。

表 1 阈值依赖法比较结果

Table 1 The comparison of two models by using the threshold-dependent test

序号 Number	ENFA 阈值 Threshold of ENFA	阳性预测率 Predict positive rate	MAXENT Test omission	ENFA Test omission
1	11.24	0.3133	0	0
2	15.18	0.2888	0	0
3	19.36	0.2676	0	0
4	22.73	0.2523	0	0.0500
5	25.41	0.2406	0	0.1500
6	27.62	0.2311	0	0.1500
7	29.86	0.2215	0	0.1500
8	31.07	0.2163	0	0.1500
9	32.99	0.2081	0.0625	0.2000

2.2.2 非阈值依赖法

阈值依赖法比较模型的评价结果受阈值的影响较大,而 ROC 曲线不考虑阈值,通过计算 AUC 值来评价不同模型的预测结果。通过 ROC 曲线分析表明,MAXENT 和 ENFA 模型的 AUC 值均远大于随机分布模型的 AUC 值(0.5),分别为 0.961 和 0.927,表明两个模型预测效果都达到优秀水平,且前者的预测效果要比后者更优(图 3)。

2.3 林麝生境与环境因子关系

2.3.1 MAXENT 模型

环境变量对 MAXENT 模型的贡献率依次为到小河的距离(36%)、到主要公路距离(20.6%)、到农田距离(16.9%)、海拔(13%)、居民点密度(10.5%),其余环境变量的贡献率小于 2%。各主要环境变量对林麝生境影响见下图,其中横坐标表示环境变量,纵坐标表示环境变量对预测概率贡献值的自然对数。

从图 4 可以看出,随着离小河距离和居民点密度的增大,生境适宜性降低;随着离主要公路和农田距离的增大,生境适宜性增加;生境适宜性随海拔增大而增加,当海拔达到 2000—2500m 之间时适宜性达到最大,之后随海拔升高而降低。

2.3.2 ENFA 模型

ENFA 模型因子得分矩阵如表 2,其中第一列为边际性因子,其它为特殊性因子,括号内数值表示解释的特殊性比例,3 个因子的累积贡献率达 89.3%,由这 3 个因子生成了最终的生境适宜性图。边际因子为正,表明物种偏好在该生境因子平均水平以上的环境,为负表明偏好平均水平以下的环境,绝对值越大,偏好程度越高。从边际因子得分可以看出,林麝偏好在大于平均海拔 1242m(边际系数=0.422),大于平均坡度 21°(边际系数=0.176)的东南阳坡(坡向正弦值和余弦值的边际因子分别为 0.047 和 -0.005)的地区活动。同时距河流较近,与小河流和大河流距离的边际系数分别为 -0.333 和 -0.212。植被类型的选择上,林麝多选择在森林中活动,且对于阔叶林和针阔混交林的偏好要大于针叶林,3 种森林类型的边际系数分别是 -0.511、-0.400 和 -0.269。林麝一般远离草丛(边际系数=0.177)。在各种人类干扰因子上,林麝一般选择远离主要公路(边际系数=0.098)和农田(边际系数=0.059),居民点密度较低(边际系数=-0.111)的地区。从边际系数的绝对值来看,对林麝生境影响最大的是居民点密度(0.111)、其次是主要公路(0.098)和农田(0.065)。

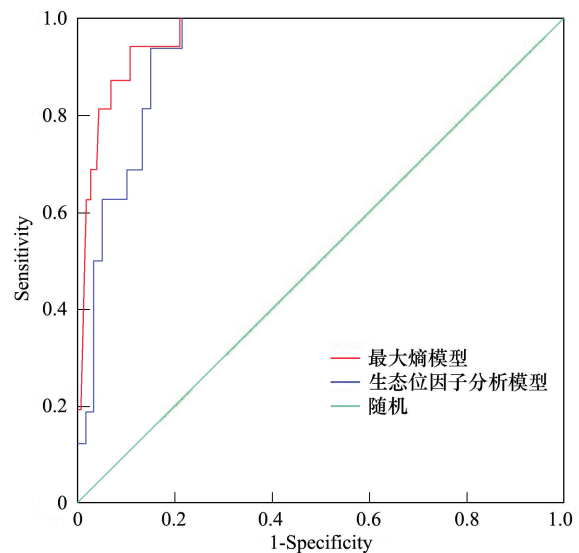


图 3 最大熵模型与生物位因子分析模型的接受者操作特性曲线

Fig.3 ROC curves of MAXENT and ENFA

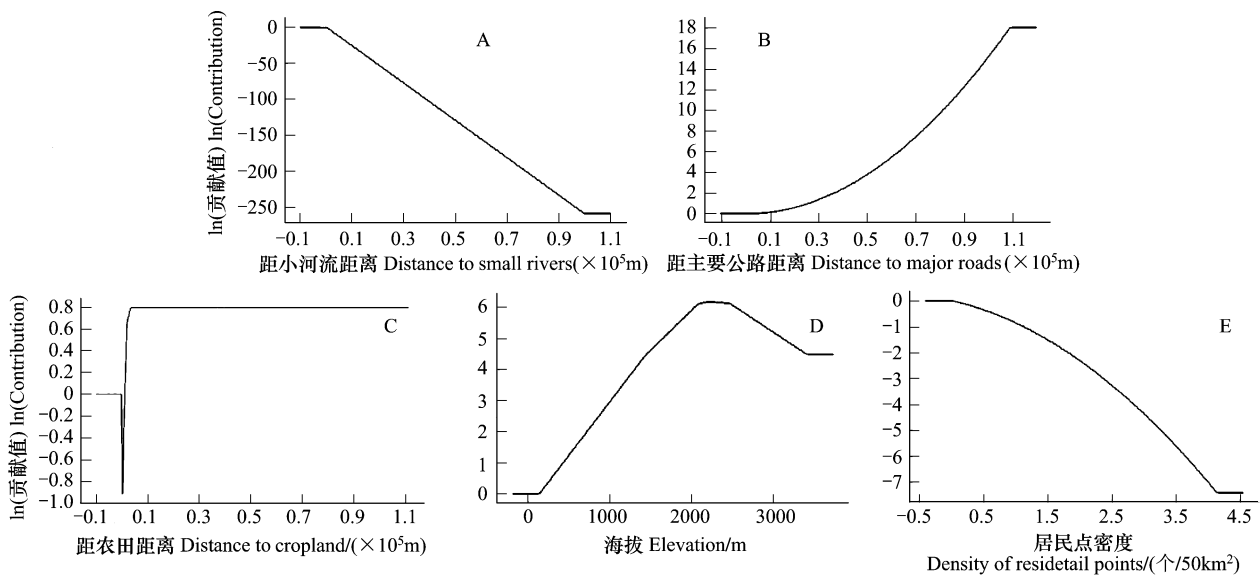


图4 环境变量对预测概率贡献值的反应曲线

Fig.4 Response curves of environment variances to probability

两种模型都能够辨识出影响林麝生境选择的主要环境因子,但 ENFA 模型的生态学意义更为明确,易于解释。林麝一般选择居民点密度低,远离农田和公路,靠近小河流的中高海拔坡度较大的东南阳坡山地阔叶林和针阔混交林作为栖息地。

表2 ENFA 模型的因子得分

Table 2 Factor scores of ENFA model

环境变量 Environment variable	因子 1(49.7%) Factor 1	因子 2(33.8%) Factor 2	因子 3(5.8%) Factor 3
与阔叶林距离 Distance to deciduous forest	-0.511	-0.018	-0.070
与混交林距离 Distance to mixed coniferous and broadleaf forest	-0.040	-0.025	-0.240
与针叶林距离 Distance to coniferous forest	-0.269	0.027	0.048
与灌丛距离 Distance to shrubbery forest	-0.052	0.210	-0.462
与草甸距离 Distance to meadow	-0.254	0.052	0.385
与草丛距离 Distance to grass	0.177	0.017	-0.432
与大河流距离 Distance to large rivers	-0.212	-0.200	-0.004
与小河流距离 Distance to small rivers	-0.333	-0.011	-0.083
与主要公路距离 Distance to major roads	0.098	-0.084	-0.016
与次要公路距离 Distance to minor roads	-0.101	-0.022	0.111
与农田距离 Distance to cropland	0.059	-0.946	0.586
居民点密度 Density of residential points	-0.111	-0.007	0.079
海拔 Elevation	0.422	0.077	0.027
坡度 Slope	0.176	-0.036	-0.127
坡向 Aspect	-0.005	-0.015	-0.027
坡向正弦值 Sine of aspect	0.047	-0.015	0.007
坡向余弦值 Cosine of aspect	-0.005	-0.015	-0.027

2.4 保护状况分析

林麝生境主要分布于秦岭山系的中西部地区中高海拔的山地森林中,共有生境面积 10764.4 km²,其中适宜生境 2993.1 km²,次适宜生境 7771.3km²(MAXENT 模型结果)。

为保护大熊猫等珍稀野生动物,秦岭山系已建(筹建)不同级别的自然保护区 20 余个,保护了 3500.9km² 的林麝生境(含适宜和次适宜生境),占林麝生境面积的 32.5%,尚有 67.5% 的林麝生境未得到有效保护。勉县、凤县、略阳、户县和安康北部等地有比较集中的林麝生境分布,是林麝保护的空缺地区(图 5)。

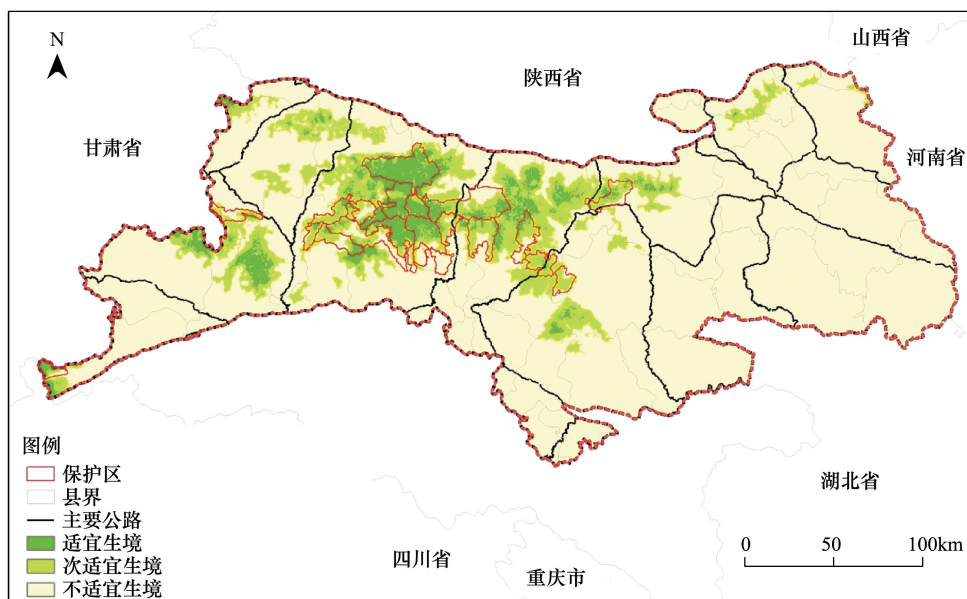


图 5 林麝生境保护状况

Fig.5 Conservation status of forest musk deer's habitat

3 讨论与建议

生态位模型是目前应用较广的生境适宜性模型。ENFA 和 MAXENT 虽然原理不同,但都综合考虑了物种出现点和环境变量,相比另外机理模型和回归模型具有优势^[20]。本文利用两种生态位模型作对照,更提高了结果的可信度。相比以往以保护区为单位通过样方调查研究林麝生境分布而言^[4-5],利用生态位模型从山系尺度上对林麝分布区进行预测,更有助于林麝的长期保护。两种模型都预测出凤县北部、柞水西部以及东部的华山地区有林麝生境分布,这与实际情况相符。太白县中东部以及太白、佛坪、宁陕和洋县四县交界地区自然植被保存良好,人类活动较少,保护区分布集中,MAXENT 模型预测出的适宜生境集中分布在这一区域,次适宜生境分布在其周边地区,这与实际情况更为接近。而 ENFA 模型预测出这一区域为次适宜生境,适宜生境分布比较分散。从山系尺度来看,秦岭中西部地区纵横分布的各级道路对林麝生境造成了一定程度上的分割和隔离,造成了生境破碎化和质量退化,有必要进一步进行林麝生境的连通性分析,以利于保护区群的规划和珍稀动物迁徙廊道的建设。

模型分析表明,植被类型、到主要公路距离、到农田距离、海拔、到小河距离、居民点密度等环境变量是影响林麝生境选择的主要因子。这与在自然保护区尺度上,通过样方调查分析得到的林麝生境主要影响因子有所不同。在保护区尺度上,森林的郁闭度、林下灌木盖度、竹子密度、坡位、活动基底、人为干扰等林麝生境选择的贡献较大^[4-5,25]。研究尺度不同,林麝生境选择的主要影响因子也发生变化,在大尺度空间上,主要是景观水平上的环境因子,如地形、地貌、人类干扰、植被类型等;在小尺度空间上,植物群落组成和与动物生存密切相关的生态因子影响着动物的生境选择^[26]。虽然两种模型都能够识别出林麝生境的主要影响因子,但对具体的影响机理还缺乏深入的研究,还需要大量的野外观测试验提供数据支持。

由于高药用及经济价值,偷猎林麝的行为时有发生,给林麝种群的生存带来压力。但现有的保护区多是以大熊猫等为保护对象建立的,林麝大部分实际生境并未得到有效保护。为更好保护秦岭山系的林麝资源,提出以下建议:(1)重新规划调整保护区体系,使林麝保护空缺区域得到有效保护,特别是勉县、户县和安康

北部山地等林麝生境集中分布区;(2)拆除主干道两旁的铁丝网,使林麝以及其它野生动物能够自由通过,逐渐恢复隔离生境之间的迁徙廊道;(3)加强天然林保护和生态公益林建设,减少海拔 1000m 以上人类活动对林麝生境的影响。

References:

- [1] Wang Y, Jiang H R, Xue W J, Xu L, Xu H F. Advances in Research of Forest Musk Deer (*Moschus berezovskii*). Sichuan Journal of Zoology, 2006, 25(1): 195-200.
- [2] Ouyang Z Y, Liu J G, Xiao H, Tan Y C, Zhang H M. An Assessment of Giant Panda Habitat in Wolong Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21 (11): 1869-1874.
- [3] Gong H S, Zeng Z G, Wang X F, Zhao K H, Zhang Q. Current Status and Analysis of National Protected Animal Species in Shanxi Province of China. Journal of Shanxi Normal University (Natural Science), 2009, 37(1): 52-59.
- [4] Hu Z J, Wang Y, Xue W J, Jiang H R, Xu H F. Studies on Habitat Selection by *Moschus berezovskii* in Winter in Zibaishan Nature Reserve. Journal of Henan University (Natural Science), 2006, 36(1): 70-74.
- [5] Jiang H R, Xue W J, Wang Y, Hu Z J, Xiao Y, Xu H F. Spring Habitat Selection of Forest Musk Deer (*Moschus berezovskii*) in Fengxian County, Shanxi Province. Sichuan Journal of Zoology, 2008, 27(1): 115-119.
- [6] Xu W H, Ouyang Z Y, Jiang Z Y, Zheng H, Liu J G. Assessment of Giant Panda Habitat in the Daxiangling Mountain Range, Sichuan, China. Biodiversity Science, 2006, 14(3): 223-231.
- [7] Ward D F. Modelling the potential geographic distribution of invasive ant species in New Zealand. Biol Invasions, 2007, 9(6): 723-735.
- [8] Galparsoro I, Borja Á, Bald J, Liria P, Chust G. Predicting suitable habitat for the European lobster (*Homarus gammarus*), on the Basque continental shelf (Bay of Biscay), using Ecological-Niche Factor Analysis. Ecological Modelling, 2009, 220(4): 556-567.
- [9] Stachura-Skierczyńska K, Tumił T, Skierczyński M. Habitat prediction model for three-toed woodpecker and its implication for the conservation of biologically valuable forests. Forest Ecology and Management, 2009, 258(5): 697-703.
- [10] Busby J R. BIOCLIM: a bioclimate analysis and prediction system//Margules C R, Austin M P, eds. Nature conservation: cost effective biological surveys and data analysis. Melbourne: CSIRO, 1991: 64-68.
- [11] Stockwell D R B, Peters D. The GARP modeling system: problems and solutions to automated spatial prediction. International Journal of Geographical Information Systems, 1999, 13(2): 143-158.
- [12] Lehmann A, Overton J M, Leathwick J R. GRASP: generalized regression analysis and spatial prediction. Ecological Modelling, 2002, 157(2/3): 189-207.
- [13] Hirzel A H, Hausser J, Chessel D, Perrin N. Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data. Ecology, 2002, 83(7): 2027-2036.
- [14] Phillips S J, Dudík M, Schapire R E. A maximum entropy approach to species distribution modeling//Brodley C, Cavazos J, Chan P, Jacob N, Kak A, Lippman R, Moss E, Pavlopoulou C, Precup D, Scheeff D, Stefanovic D, Utgoff P, Yurcik B, eds. Proceedings of 21st International Conference on machine Learning. New York: ACM Press, 2004: 655-662.
- [15] Phillips S J, Anderson R P, Schapire R E. Maximum entropy modeling of species geographic distributions. Ecological Modelling, 2006, 190(3/4): 231-259.
- [16] Wang Y S, Xie B Y, Wang F H, Xiao Q M, Dai L Y. Application of ROC curve analysis in evaluating the performance of alien species' potential distribution models. Biodiversity Science, 2007, 15(4): 365-372.
- [17] Hernandez P A, Franke I, Herzog S K, Pacheco V, Paniagua L, Quintana H L, Soto A, Swenson J J, Tovar C, Valqui T H, Vargas J, Young B E. Predicting species distributions in poorly-studied landscapes. Biodivers Conserv, 2008, 17(6): 1353-1366.
- [18] Boubli J P, de Lima M G. Modeling the Geographical Distribution and Fundamental Niches of *Cacajao* spp. and *Chiropotes israelita* in Northwestern Amazonia via a Maximum Entropy Algorithm. International Journal of Primatology, 2009, 30(2): 217-228.
- [19] Roura-Pascual N, Brotons L, Townsend Peterson A, Thuiller W. Consensual predictions of potential distributional areas for invasive species: a case study of Argentine ants in the Iberian Peninsula. Biol Invasions, 2009, 11(4): 1017-1031.
- [20] Wang X Z, Xu W H, Ouyang Z Y, Liu J G, Xiao Y, Chen Y P, Zhao L J, Huang J Z. The application of Ecological-Niche factor analysis in giant pandas (*Ailuropoda melanoleuca*) habitat assessment. Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(2): 821-828.
- [21] Wang Y S, Xie B Y, Wang F H, Xiao Q M, Dai L Y. Potential geographic distribution of *radopholus similis* in China. Scientia Agricultura Sinica, 2007, 40 (11): 2502-2506.
- [22] Brotons L, Thuiller W, Araújo M B, Hirzel A H. Presence-absence versus presence-only modeling methods for predicting habitat suitability.

Ecography, 2004, 27(4): 437-448.

- [23] Elith J, Graham C H, Anderson R P, Dudík M, Ferrier S, Guisan A, Hijmans R J, Huettmann F, Leathwick J R, Lehmann A, Li J, Lohmann L G, Loiselle B A, Manion G, Moritz C, Nakamura M, Nakazawa M, Overton J M, Peterson A T, Phillips S J, Richardson K, Scachetti-Pereira R, Schapire R E, Soberón J, Williams S, Wisz M S, Zimmermann N E. Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. Ecography, 2006, 29(2): 129-151.
- [24] <http://www.spatialecology.com/htools/tooldesc.php>.
- [25] Guo J, Cheng X F, Ju Y W, Chen Y H, Hu J Z, Luo Y, Sheng C N. Habitat Selection of Musk Deer in Yele Nature Reserve. Chin J Appl Environ Biol, 2001, 7(2): 183-185.
- [26] Zheng X, Bao Y X, Ge B M. A review of studies on ungulates'habitat in China. Journal of Zhejiang Normal University (Natural Science), 2004, 27(4): 392-397.

参考文献:

- [1] 王涓, 姜海瑞, 薛文杰, 徐玲, 徐宏发. 林麝(*Moschus berezovskii*) 研究概况和进展. 四川动物, 2006, 25(1): 195-200.
- [2] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 谭迎春, 张和民. 卧龙自然保护区大熊猫生境评价. 生态学报, 2001, 21(11): 1869-1874.
- [3] 巩会生, 曾治高, 王西峰, 赵凯辉, 张琼. 陕西省国家重点保护野生动物的现状及分析. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2009, 37(1): 52-59.
- [4] 胡忠军, 王涓, 薛文杰, 姜海瑞, 徐宏发. 紫柏山自然保护区林麝冬季生境选择. 河南大学学报(自然科学版), 2006, 36(1): 70-74.
- [5] 姜海瑞, 薛文杰, 王涓, 胡忠军, 肖宇, 徐宏发. 陕西凤县春季林麝生境的初步分析. 四川动物, 2008, 27(1): 115-119.
- [6] 徐卫华, 欧阳志云, 蒋泽银, 郑华, 刘建国. 大相岭山系大熊猫生境评价与保护对策研究. 生物多样性, 2006, 14(3): 223-231.
- [16] 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 肖启明, 戴良英. ROC 曲线分析在评价入侵物种分布模型中的应用. 生物多样性, 2007, 15(4): 365-372.
- [20] 王学志, 徐卫华, 欧阳志云, 刘建国, 肖兢, 陈佑平, 赵联军, 黄俊忠. 生态位因子分析在大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)生境评价中的应用. 生态学报, 2008, 28(2): 821-828.
- [21] 王运生, 谢丙炎, 万方浩, 肖启明, 戴良英. 相似穿孔线虫在中国的适生区预测. 中国农业科学, 2007, 40(11): 2502-2506.
- [25] 郭建, 程晓峰, 巨云为, 陈泳宏, 胡锦矗, 骆云, 盛春宁. 冶勒自然保护区林麝对生境选择研究. 应用与环境生物学报, 2001, 7(2): 183-185.
- [26] 郑祥, 鲍毅新, 葛宝明. 中国有蹄类栖息地选择研究进展. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2004, 27(4): 392-397.

CONTENTS

Root system characters in growth and distribution among three littoral halophytes	YI Liangpeng, WANG Zuwei (1195)
Population dynamics of endophytic bacteria isolated from the roots of infected <i>Cymbidium faberi</i>	YANG Na, YANG Bo (1203)
Spatial variability of forest soil total nitrogen of different soil layers	ZHANG Zhenming, YU Xinxiao, WANG Yousheng, et al (1213)
Habitat prediction for forest musk deer (<i>Moschus berezovskii</i>) in Qinling mountain range based on niche model	LUO Chong, XU Weihua, ZHOU Zhixiang, et al (1221)
Growth release determination and interpretation of Korean pine and Koyama spruce in Shengshan National Nature Reserve, Heilongjiang Province, China	WANG Xiaochun, ZHAO Yufang (1230)
Growth tolerance and accumulation characteristics of the mycelia of two macrofungi species to heavy metals	LI Weihuan, YU Lanlan, CHENG Xianhao, et al (1240)
Characters of the OMI NO ₂ column densities over different ecosystems in Zhejiang Province during 2005—2009	CHENG Miaomiao, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (1249)
The forest gap diameter height ratio in a secondary coniferous forest of Guan Di Mountain	FU Liyong, TANG Shouzheng, LIU Yingang (1260)
Landscape responses to changes in water levels at Poyang Lake wetlands	XIE Dongming, ZHENG Peng, DENG Hongbing, et al (1269)
Effect of simulated nitrogen deposition on litter decomposition in a <i>Bambusa pervariabilis</i> × <i>Dendrocala mopsi</i> plantation, Rainy Area of West China	TU Lihua, DAI Hongzhong, HU Tingxing, et al (1277)
Effect of aromatic plant-derived nutrient solution on the growth, fruit quality and disease prevention of pear trees	GENG Jian, CUI Nannan, ZHANG Jie, et al (1285)
Influences of different plastic film mulches on temperature and moisture of soil and growth of watermelon in gravel-mulched land	MA Zhongming, DU Shaoping, XUE Liang (1295)
Effects of drought stress on photosynthetic traits and protective enzyme activity in maize seedling	ZHANG Renhe, ZHENG Youjun, MA Guosheng, et al (1303)
Photosynthetic diurnal variation characteristics of leaf and non-leaf organs in winter wheat under different irrigation regimes	ZHANG Yongping, ZHANG Yinghua, WANG Zhimin (1312)
The root system hydraulic conductivity and water use efficiency of alfalfa and sorghum under water deficit	LI Wenrao, LI Xiaoli, ZHANG Suiqi, et al (1323)
Latitudinal gradient in beta diversity of forest communities in America	CHEN Shengbin, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1334)
Influence of silts on growth and development of <i>Acorus calamus</i> and <i>Acorus tatarinowii</i> in turbid water	LI Qiang, ZHU Qihong, DING Wuquan, et al (1341)
Roles of earthworm in phytoremediation of pyrene contaminated soil	PAN Shengwang, WEI Shiqiang, YUAN Xin, et al (1349)
Population dynamics of <i>Frankliniella occidentalis</i> (Thysanoptera: Thripidae) along with analysis on the meteorological factors influencing the population in pomegranate orchards	LIU Ling, CHEN Bin, LI Zhengyue, et al (1356)
Geophagy of <i>Macaca Thibetana</i> at Mt. Huangshan, China	YIN Huabao, HAN Demin, XIE Jifeng, et al (1364)
The structure and dynamic of insect community in Zhalong Wetland	MA Ling, GU Wei, DING Xinhua, et al (1371)
Analysis of layer progressive discriminant relations between the occurrence of <i>Bipectilus zhejiangensis</i> and soil	DU Ruiqing, CHEN Shunli, ZHANG Zhengtian, et al (1378)
New mutations in hind wing vein of <i>Apis cerana cerana</i> (Hymenoptera: Apidae) induced by lower developmental temperature	ZHOU Bingfeng, ZHU Xiangjie, LI Yue (1387)
18S rRNA gene variation and phylogenetic analysis among 6 orders of Bivalvia class	MENG Xueping, SHEN Xin, CHENG Hanliang, et al (1393)
Laboratory study on ethology of <i>Spinibarbus hollandi</i>	LI Weiming, CHEN Qiuwen, HUANG Yingping (1404)
Dynamic change in ecological footprint of energy consumption for traction of locomotives in China	HE Jicheng (1412)
Approach to spatial differences analysis of urban carrying capacity; a case study of Changzhou City	WANG Dan, CHEN Shuang, GAO Qun, et al (1419)
Social adaptive capacity for water resource scarcity in human systems and case study on its measuring	CHENG Huaiwen, LI Yuwen, XU Zhongmin (1430)
Effects of physical leaf features of host plants on leaf-mining insects	DAI Xiaohua, ZHU Chaodong, XU Jiasheng, et al (1440)
Review and Monograph	
Progresses of free-air CO ₂ enrichment (FACE) researches on C ₄ crops; a review	WANG Yunxia, YANG Lianxin, Remy Manderscheid, et al (1450)
Scientific Note	
Influence of limestone powder doses on fine root growth of seriously damaged forests of <i>Pinus massoniana</i> in the acid rain region of Chongqing, China	LI Zhiyong, WANG Yanhui, YU Pengtao, et al (1460)
Leaf surface microstructure of <i>Ligustrum lucidum</i> and <i>Viburnum odoratissimum</i> observed by Atomic force microscopy (AFM)	SHI Hui, WANG Huixia, LI Yangyang, LIU Xiao (1471)

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 5 期 (2011 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 5 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@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		

