

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应	王 荣, 胡海清 (2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因素	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等 (2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等 (2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等 (2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等 (2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等 (2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响	翟天庆, 李欣海 (2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等 (2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等 (2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等 (2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等 (2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等 (2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐 (2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等 (2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等 (2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等 (2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等 (2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等 (2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等 (2474)
豫西刺槐能源林的热值动态	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等 (2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞 (2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等 (2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等 (2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等 (2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣 (2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等 (2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等 (2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准	庞爱萍, 孙 涛 (2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等 (2561)
专论与综述	
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等 (2571)
问题讨论	
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等 (2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价	帅 红, 李景保, 夏北成, 等 (2588)
研究简报	
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等 (2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异	马少杰, 李正才, 王 斌, 等 (2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校 (2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁 (2620)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 326 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-04



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊,红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根,红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面,以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气,故称呼吸根。在中国,红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海,它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带,往往潮差越大,红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201103080278

张洪海, 李成涛, 窦华山, 刘松涛, 王明. 内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析. 生态学报, 2012, 32(8): 2342-2450.

Zhang H H, Li C T, Dou H S, Liu S T, Wang M. Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2342-2350.

内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析

张洪海^{1,*}, 李成涛¹, 窦华山², 刘松涛², 王 明¹

(1. 曲阜师范大学生命科学学院, 曲阜 273165; 2. 达赖湖国家级自然保护区, 呼伦贝尔 021000)

摘要:近年来, 干旱、鼠害及人为对草原的过度开发利用等对达赉湖地区赤狐的数量及分布范围造成了很大影响。借助于主成分分析、Bailey's 判别分析、遥感和地理信息系统对达赉湖自然保护区赤狐的生境选择及生境的景观特征进行了研究。在赤狐家域内采用样线法和样方法, 共设置 10 m×10 m 样方 245 个(实验样方 101 个, 对照样方 144 个), 并测定样方内的 7 个生境因子: 植被类型、隐蔽级、食物丰富度、雪深、距水源距离、距围栏距离、距居民点距离。对样方内数据进行主成分分析得出, 食物和隐蔽性是赤狐生境选择的主要因子, 距居民点距离和距围栏距离是赤狐生境选择的次要因子, 雪深和距水源距离是赤狐在生境选择中未表现出选择和利用的因子。利用 Bailey's 方法和基于赤狐的生境分布图的景观统计得出: 赤狐偏好选择柳灌丛和芦苇塘两种生境, 这两种生境的总面积约为 1093.47 km², 占研究区总面积的 14.05%; 赤狐随机利用河道、典型草原和草甸草原 3 种生境类型, 这 3 种生境的总面积约为 4721.79 km², 占研究区总面积的 60.67%。; 回避的生境为冰面和沙化草地, 总面积约为 1968.09 km², 占研究区总面积的 25.29%。基于地理信息系统和 Fragstats 的景观特征分析得出, 赤狐最适宜生境的面积最少, 斑块数量最多, 平均斑块面积最小, 平均形状指数最小, 平均斑块距离最大; 其次是较适宜生境和不适宜生境; 一般适宜生境的面积最多, 斑块数量最少, 平均斑块面积和平均形状指数最大, 平均斑块距离最小。赤狐多分布于斑块较大的适宜其生存的生境或分布于由这些斑块形成的生境斑块镶嵌体中。

关键词: 赤狐; 生境选择; 景观特征; 达赉湖自然保护区

Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia

ZHANG Honghai^{1,*}, LI Chengtao¹, DOU Huashan², LIU Songtao², WANG Ming¹

1 College of Life Science, Qufu Normal University, Qufu 273165, China

2 Dalai Lake Nature Reserve, Hailar 021000, China

Abstract: Red fox, a canine predator inhabiting in the grassland of eastern Inner Mongolia, is positioned near the top of the food chain. It plays an important role in rodent control. Consequently, research on red fox helps scientists accumulate basic data and offers a scientific basis for the protection of grassland ecosystems and red fox management. Red fox habitat selection in the Dalai Lake Natural Reserve was systemically studied from November 2009 to January 2010 and from March to April 2010. Line transects were used for 101 plots known to be used by the red fox and for 144 comparison plots. We processed our field data and analyzed them using principal component analysis. Using landform analysis of the study area and other relevant research work, we defined seven significant factors influencing habitat: vegetation type, sheltering class, food abundance, snow depth, distance to water sources, distance to fences, and distance to residential areas. Our results

基金项目: 国家自然科学基金项目(30370218); 国家自然科学基金项目(31172119); 教育部新世纪优秀人才支持计划项目(NCET-07-0507); 山东省自然基金(ZR2011CM009); 高校博士点基金项目(20113705110001)

收稿日期: 2011-03-10; **修订日期:** 2012-02-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhanghonghai67@126.com

show food and sheltering class were two key factors that affected red fox habitat selection. Distance to residential areas and distance to fences also affected the red fox habitat selection to some degree. Snow depth and distance to water sources had minimal effects on red fox habitat selection. Using Bayesian methods and 3S technology, we analyzed landscape features and studied red fox habitat distribution using an existing fox distribution map. We found that the red fox prefers two kinds of habitats: reed pond and willow shrub. Reed pond and willow shrub covered 1093.47 km² of the analysis area; red foxes also occasionally use watercourses, typical grassland, and meadow steppe which covered 4721.79 km²; unsuitable habitat, including open water covered 1968.09 km². Those were 14.05%, 60.67%, and 25.29% of the analysis area, respectively. The unsuitable patches were mainly water covered with little sand; they were not studied. We concluded most of the suitable habitat patches for red fox are relatively smaller in size and fewer in number compared with red fox habitat in other areas previously studied by other researchers. The shapes of the three types of habitat listed above are suitable for the survival of the red fox, but the distribution of each type of patch is too concentrated to provide adequate distribution of the red fox population. We conclude the number of suitable patches should be increased to provide additional and more diverse types of grassland patches suitable for red fox across the landscape. We recommend controlling grazing to increase the density and the height of grass which, in turn, improves available sheltering habitat in patches suitable for red fox. Meadow used for grazing and meadow reserved for red fox habitat must be strictly separated. Through this method some relatively suitable patches could be improved to highly suitable patches for red fox. This would increase the red fox population and provide improved rodent control.

Key Words: red fox; habitat selection; landscape features; Dalai Lake Nature Reserve

赤狐(*Vulpes vulpes*),隶属于食肉目、犬科、狐属。在内蒙古达赉湖地区赤狐主要以鼠类为食^[1],还可取食鸟类、蛙、鱼、昆虫等^[1-2]。近年来草原鼠害日趋严重^[3],控制草原鼠害的传统方法是投放鼠药,但该方法会对以鼠为食的犬科、鼬科、猛禽等动物产生毒害作用。在新疆、甘肃等地,科研人员正尝试利用驯化人工饲养的赤狐来控制草原鼠害^[4]。要更好地利用这种方法控制草原鼠害,必须搞清赤狐的生境选择及其生境景观特征。生境选择研究对探讨物种濒危机制、评估生境质量、预测栖息地负载量、制定合理的保护策略和资源管理方案等均有着重要意义^[5-7]。

国内外对赤狐的研究主要集在洞穴结构^[8-10]、巢域选择^[11-13]、食性分析^[14-19]和线粒体基因及系统进化^[20]等方面,对不同环境中赤狐生境选择有较多研究^[10, 12, 16, 21-25]。赤狐生境选择受食物、生境类型、人为干扰等影响较大^[12, 21-24, 26]。本文在国内外相关研究的基础上,从赤狐的生境选择及其景观特征分析方面对内蒙古达赉湖地区赤狐的生境特征、影响赤狐生境选择的生态因子及赤狐生境的适宜性状况进行了研究。以期为了保护草原生态系统及赤狐资源的保护管理与可持续利用提供科学依据和基础资料。

1 研究地区自然概况

达赉湖国家级自然保护区,位于内蒙古自治区东北部,呼伦贝尔盟西部。北纬 47°45′50″—49°20′20″;东经 116°50′10″—118°10′10″。保护区总面积 7400 km²,属于中温带大陆性气候,干燥、少雨多风,年平均气温 0.3 ℃,极端气温在 7 月份达 40 ℃,在 1 月份气温下降到-43 ℃。哺乳动物中啮齿类为优势种^[2, 27]。地形主要以低山丘陵,冲积平原及沿湖、沿河低洼地为主。该地区动植物资源丰富,植被类型主要有典型草原植被、沙生植被、盐生草甸、沼泽植被、草甸植被等^[2]。

2 研究方法

2.1 野外数据采集

2009 年 11 月至翌年 1 月和 2010 年 3 月至 4 月,采用样线法和样方法相结合的方法进行野外数据采集。基于研究区遥感影像解译及野外精度验证得到的研究区生境类型图、赤狐的分布范围^[8]及生境类型的分布状况,在乌兰诺尔核心区随机设定 3 条样线,每条样线长度为 8 km,样线间距 6 km,每条样线尽可能贯穿各种

类型生境。在样线的起点及样线上每隔 500 m 设置一 10 m×10 m 的样方,若发现样线上出现赤狐足迹、食痕、粪便等,在该处设置一同样大小的样方,共设置样方 245 个,实验样方 101 个(出现赤狐的足迹链、食痕、粪便等的样方)对对照样方 144 个(未出现赤狐的足迹链、食痕、粪便等的样方)。结合研究地区地形地貌及相关研究工作,共测定样方内的 7 个生态因子:植被类型、隐蔽级、食物丰富度、雪深、水源距离、距围栏距离、距居民点距离。测量方法参照张洪海、窦华山等^[27-28]的方法:

(1)植被类型 记录样方内的主要植被类型包括,典型草原植被、草甸植被、柳灌丛、芦苇及盐生草甸;同时根据不同的植被将生境类型划分为,典型草原、草甸草原、柳灌丛、芦苇塘、河道和冰面(夏季为水体)。

(2)隐蔽级 “赤狐身高标杆法”。在每个样方的中央放一赤狐平均身高标杆,在样方对角线上距离标杆 20 m 从东南西北四个方位观测,记录标尺的可见程度,求其平均值。

(3)食物丰富度 是环境中可被赤狐利用的食物资源,根据样方内啮齿类、鸟类等动物足迹链的条数及其他一些可被利用的资源来确定,标准为:鼠类和鸟类的足迹链 6 到 8 条为中等丰富低于或高于分别为低等或高度丰富,兔类足迹标准减半。

(4)雪深 在样方四个角和中心点将直尺插到雪壳为止测量雪的深度求平均值。

(5)水源距离 指样方距河流、湖泊、沼泽等的距离,用 GPS 测量样方到最近水源的垂直直线距离。

(6)距围栏距离 用 GPS 测量样方到最近围栏的垂直直线距离。

(7)距居民点距离 用 GPS 测量样方到最近居民活动点的垂直直线距离。

2.2 数据处理和分析方法

2.2.1 赤狐生境特征分析

在 SPSS17.0 下对样方数据进行主成分分析,得到影响赤狐生境选择的主要因子及次要因子。通过 Bailey's 判别方法^[29]对野外调查获取的样方数据和对对照样方数据进行“利用-可利用”判别分析,得出赤狐对不同生境的偏好或避免。进一步运用 Kendall's tau-b 和 Spearman 两种定序相关性分析方法对赤狐偏好的生境和回避的生境分别与各生态因子进行相关性分析,得到各类生境中生态因子的特征,并利用层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, 简称 AHP) 计算各生态因子的权重。

2.2.2 赤狐生境适宜性分布图的制作

在 ENVI 4.5 下对 2008 年 10 月 12 日的两景 Landsat 5 遥感影像(条带号:124,行号:26, 27)进行拼接、几何精校正及基于监督分类的遥感解译和野外精度验证,使误差控制在 0.5 个象元内。以研究区边界为掩膜抽取得到研究区生境类型的,遥感影像解译结果。在 Mapinfo 7.0 下对研究区地形图进行数字化,将样方数据数字化,得到各生态因子的离散分布数据。进一步在 ArcMap 下对离散数据进行内插分析,得到研究区内各生态因子的图层数据。在 ArcMap 下对各图层数据进行基于各生态因子权重的叠加分析,得到研究区赤狐的生境适宜性分布图。

2.2.3 赤狐生境景观特征分析

在景观特征分析软件 Fragstats 3.3 下对赤狐的生境适宜性分布图进行景观特征分析。

3 结果

3.1 生境选择特征的主成分分析

对影响赤狐生境选择的 7 个生态因子进行主成分分析的结果显示,前 3 个主成分的特征值均大于 1,其累积贡献率达 82.49% (表 1),表明前 3 个主成分基本包含了这 7 个生态因子所具有的大部分信息。

进一步对选定的 3 个主成分进行转置矩阵分析的结果显示,第 1 个主成分载荷系数绝对值较大的是食物丰富度、植被类型和隐蔽级(表 1),芦苇塘、柳灌丛和典型草原等植被类型中赤狐的食物丰富度较高,且能够为赤狐提供良好的隐蔽条件,因此,将食物丰富度、和隐蔽级命名为赤狐生境选择的主要因子。在第 2 个主成分和第 3 个主成分中载荷系数绝对值较大的分别是距居民点距离和距围栏距离(表 1),因此将距居民点距离和距围栏距离命名为赤狐生境选择的次要因子。

表 1 赤狐生境选择中的转置矩阵

Table 1 The Rotated Matrix of the Eigenvector of the Habitat Selection of the Red Fox

变量 Variable	主成分 Principal component		
	1	2	3
植被类型 Vegetation type	-0.924	0.280	0.023
隐蔽级 Level of concealment	0.835	0.091	-0.205
食物丰富度 Food richness	0.928	-0.054	-0.086
雪深 Snow depth	0.599	0.519	0.181
距水源距离 Distance to water resource	-0.718	-0.360	0.306
距围栏距离 Distance to fence	0.228	0.283	0.878
距居民点距离 Distance to human activities	-0.569	0.704	-0.320
特征值 Eigenvalue	3.661	1.063	1.050
贡献率 Ratio of contribution/%	52.306	15.189	14.997
累计贡献率 Accumulative ratio of contribution/%	52.306	67.495	82.491

3.2 赤狐对每种生境类型的利用和选择

经 Bailey's 方法对赤狐各种生境进行“可利用-利用”判别分析得出:赤狐偏好选择芦苇塘和柳灌丛两种生境;随机选择典型草原、草甸草原和河道;避免选择冰面和沙地生境(沙化生境的判定基于民访和沙化生境内驱车随机调查证实该生境内极少出现赤狐这一结果)。因此芦苇塘和柳灌丛为赤狐的最适生境;典型草原、草甸草原和河道为赤狐的一般适宜生境;冰面和沙地生境为赤狐的不适宜生境。

表 2 赤狐对每种生境类型的利用和选择

Table 2 Habitat Availability and Actual Use by Red Fox

生境类型 Habitat type	期望利用比例 Expected proportion used ($n=144$)	实际利用比例 Actual proportion used ($n=101$)	Bailey's 95% 置信区间 Bailey's 95% confidence interval for P_i
典型草原 Typical grassland	0.465	0.386	$0.257 \leq P_i \leq 0.517$ (o)
草甸草原 Meadow grassland	0.333	0.267	$0.156 \leq P_i \leq 0.393$ (o)
河道 Bend of a river	0.083	0.059	$0.012 \leq P_i \leq 0.146$ (o)
芦苇塘 Reed pond	0.042	0.129	$0.053 \leq P_i \leq 0.235$ (+)
柳灌丛 Willow shrub	0.035	0.158	$0.073 \leq P_i \leq 0.271$ (+)
冰面 ice surface	0.042	0	$0.000 \leq P_i \leq 0.000$ (-)

+: 偏好选择; -: 避免选择; O: 随机选择

3.3 赤狐选择的生境类型与各生境因子的定序相关性分析

对赤狐选择的生境类型与各生境因子进行 Kendall's tau-b 和 Spearman 定序相关分析,结果显示两种分析的结果是一致的(表 3)。生境类型与食物丰富度存在极显著的正相关(表 3),即食物丰富度在赤狐生境选择中起非常重要的作用;生境类型和距居民点距离、隐蔽级存在显著的正相关(表 3),这说明距居民点距离和隐蔽级在赤狐生境选择中起重要作用;生境类型和距水源距离、雪深存在一定的正相关(表 3),说明距水源距离

表 3 生境类型与生境因子相关系数矩阵

Table 3 Correlations of Habitat Factor and Habitat Type

生境因子 Habitat factor	生境类型 Habitat type			
	Kendall's tau-b 相关分析		Spearman 相关分析	
	相关系数	概率	相关系数	概率
食物丰富度 Food richness	0.848 **	0.000	0.91 **	0.000
距居民点距离 Distance to human activities	0.660 **	0.000	0.691 **	0.000
隐蔽级 Level of concealment	0.608 **	0.000	0.707 **	0.000
距水源距离 Distance to water resource	0.551 **	0.000	0.611 **	0.000
雪深 Snow depth	0.356 *	0.018	0.375 *	0.016
距围栏距离 Distance to fence	0.106	0.470	0.117	0.468

* 表示差异显著; ** 表示差异极显著

和雪深在赤狐生境选择中起一定作用;生境类型和距围栏距离相关性最差(表3),说明距围栏距离在赤狐生境选择中作用最弱。

利用层次分析法对各生态因子在赤狐生境选择中的贡献率大小(权重)进行分析,得到各生态因子对赤狐生境选择权重(表4)。

3.4 赤狐生境适宜性分布图

由赤狐生境适宜性分布图(图1)可以看出,赤狐的适宜生境主要分布于达赉湖西北部、嘎拉达白辛核心区、呼伦沟核心区以及乌尔逊河套地区。该地区食物较丰富,隐蔽性较强,且几乎很少有人为干扰,因此非常适合赤狐生存。赤狐的较适宜生境和一般适宜生境主要分布于达赉湖西北部山区及保护区中部地区。此区有大量的鼠类、野兔及人类带来的生活垃圾,植被较高,隐蔽性相对较高,但该区域人为干扰相对较重,因此该区相对比较适合赤狐生存。赤狐的不适宜生境主要分布于保护区的东北部、达赉湖南岸沙地以及保护区南部多沙地和水体。由于该区食物匮乏,隐蔽性差,不适合赤狐生存,是赤狐的不适宜生境。

对赤狐的四类生境(最适宜生境、较适宜生境、一般适宜生境和不适宜生境)的面积进行统计分析得出,面积最少的是最适宜生境,其次是较适宜生境和不适宜生境,面积最多的是一般适宜生境(表4)。在整个研究区内适宜赤狐生存的生境(最适宜生境、较适宜生境和一般适宜生境)的总面积占研究区总面积的比例高达74.71%(表4)。从分布上来看,除了大面积的水体和沙地不适合赤狐生存之外,在研究区的其他地区几乎都有分布(图1),这对利用赤狐进行草原鼠害控制非常有利。

表 4 各生境因子的权重

Table 4 The Weight of Habitat Factor

生境因子 Habitat factor	权重 Weight
食物丰富度 Food richness	0.50
隐蔽级 Level of concealment	0.16
距居民点距离 Distance to human activities	0.16
距水源距离 Distance to water resource	0.07
雪深 Snow depth	0.07
距围栏距离 Distance to fense	0.03

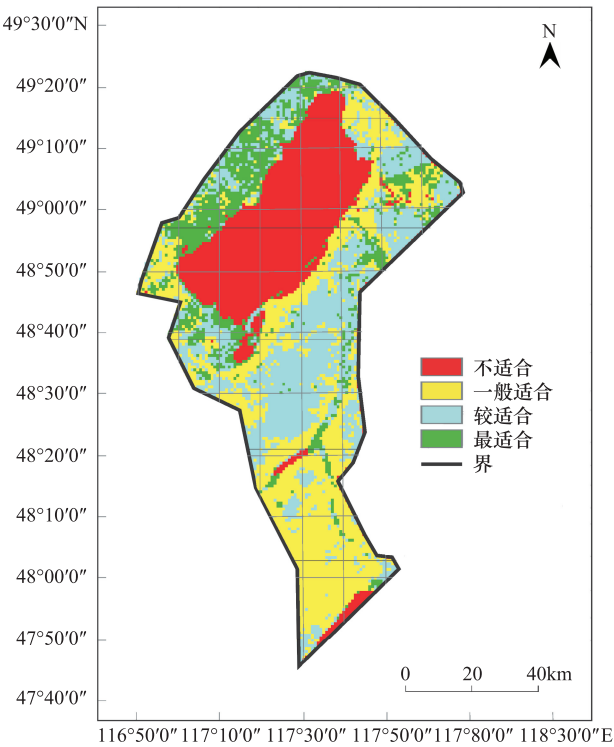


图 1 赤狐生境适宜性评价图

Fig. 1 The Red Fox's Habitat Suitability Evaluation

表 5 内蒙古东部达赉湖地区赤狐的冬季生境评价结果

Table 5 The Result of Red Fox's Habitat Suitability Evaluation in the Dalai Lake Nature Reserve in Inner Mongolia

生境适宜性等级 Habitat Suitability Rank	所占象元数 Number of cell	面积/km ² Area	占保护区面积比例/% Percentage of total area
最适宜生境 Most suitable habitat	1474	1093.47	14.05
较适宜生境 Better suitable habitat	2735	2028.93	26.07
一般适宜生境 Suitable habitat	3630	2692.87	34.59
不适宜生境 Unsuitable habitat	2653	1968.09	25.29

3.5 赤狐生境的景观特征分析

利用景观特征分析软件 Fragstats 3.3 软件对赤狐的 4 种类型生境进一步进行景观水平的分析,结果显示,在适宜赤狐生存的三类生境中,赤狐的适宜生境的斑块数量最多,平均斑块面积最小,平均形状指数最小,

平均斑块距离最大,这充分说明,赤狐的适宜生境在空间上呈现破碎状分布,从赤狐的生境适宜性评价图(图1)中可以明显看出这一分布现状。赤狐的一般适宜生境的斑块数量最少,平均斑块面积和平均形状指数最大,平均斑块距离最小,这说明赤狐的一般适宜生境破碎化程度较低,从赤狐的生境适宜性评价图中可以看出赤狐的一般适宜生境的分布呈现相对连续的条带状或块状分布(图1)。赤狐不适宜生境的平均斑块面积最大,平均形状指数最大,平均斑块距离最大,说明赤狐的不适宜生境斑块间呈现相对离散的块状分布,这受保护区水体和沙地的空间分布特点决定的。

表6 内蒙古东部达赉湖地区赤狐的生境景观面积类指数

Table 6 The Landscape Index of Red Fox's Habitat in the Dalai Lake Nature Reserve in Inner Mongolia

生境类型 Habitat type	斑块数量 Patch number	平均斑块面积 Average patch Area/km ²	平均形状因子 Mean shape index	平均最近距离 Mean nearest- neighbor distance/km
最适宜生境 Most suitable habitat	154	7.10	4.137	2.432
较适宜生境 Better suitable habitat	128	15.98	4.446	2.180
一般适宜生境 Suitable habitat	108	24.93	7.684	2.130
不适宜生境 Unsuitable habitat	14	140.58	1.952	8.214

4 讨论

赤狐的生境选择不仅体现在对食物、水和隐蔽性等微生境因子的选择上,还体现在对生境大小、生境破碎程度等大尺度因子的选择上^[26]。赤狐的生境选择是对微生境因子和大尺度因子的综合权衡^[26, 30]。利用生境选择的传统方法可搞清楚影响赤狐生境选择的微生境因子,借助遥感、地理信息系统、生态模型、景观特征分析软件等新技术手段可以从景观水平上研究影响赤狐生境选择的大尺度因子、评价赤狐生境适宜性以及赤狐生境质量进行动态监测。

4.1 影响赤狐生境选择的因子

赤狐一般生活在食物丰富、距水源较近、隐蔽性较好且远离居民点或人为干扰的灌丛、草地或林地中^[21]。本研究表明,赤狐在达赉湖地区主要选择食物丰富、隐蔽性较好,且远离人为干扰的柳灌丛、芦苇塘、典型草原等的生境。

4.1.1 隐蔽级对赤狐生境选择的影响

赤狐,同狼、貉等均处于内蒙古草原生态系统中食物链的顶级^[2],而这3种动物之间由于食物的分化^[1]而共存于草原生态系统中。赤狐的生存威胁主要为人类捕杀,良好的隐蔽级可以避免赤狐被人类发现。良好的隐蔽性条件(如高的植被)可以保护赤狐在捕食猎物之前不易被其猎物发现,从而大大提高捕食成功率。本研究表明,隐蔽级及与隐蔽性相关的植被类型,如芦苇塘、柳灌丛、典型草原等植被类型可以为赤狐提供良好的隐蔽条件,是影响赤狐生境选择的主要生态因子(表1)。此外,赤狐选择的距居民点较近的垃圾场来获得食物,虽然在此类型生境中没有良好的植被类型为赤狐创造良好的隐蔽条件,但是野外雪地跟踪证实,赤狐只有在夜间才有选择性地利用此类生境,夜间为赤狐提供了更好的隐蔽从而避免被人类发现。

4.1.2 食物对赤狐生境选择的影响

赤狐主要以啮齿类为食^[1, 21],也可取食兔类和部分鸟类^[17, 21, 26],甚至还以人类生活垃圾为食^[26]。赤狐的生境选择在很大程度上依赖于食物的丰富度^[21, 30]。赤狐的家域大小与食物的丰富度呈负相关^[24, 26],即在食物丰富度较高的生境中赤狐的家域相对较小,而在食物丰富度较低或食物匮乏的生境中赤狐的家域相对较大^[24, 26]。本研究发现,食物丰富度是影响赤狐生境选择的主要生态因子之一(表1)。赤狐选择利用的实验样方中食物均非常丰富。适宜赤狐生存的柳灌丛、芦苇塘、典型草原、草甸草原和河道等生境中的食物非常丰富,由此可见,赤狐是通过选择食物而间接选择植被类型和生境类型的。野外雪地跟踪还证实,在食物相对匮乏的冬季,赤狐会选择性地地在夜间利用距居民点较近的垃圾场来获得食物。

4.1.3 人为干扰对赤狐生境选择的影响

影响赤狐分布的主要原因除了食物和隐蔽条件外^[21],人类活动也是影响赤狐分布的主要因素之一^[26]。赤狐一般选择人为干扰较弱的生境^[26]。本研究表明,赤狐一般回避人为干扰较严重的生境(居民点和围栏),只有在夜间赤狐才会有选择性地利用距居民点较近的生境(垃圾场)和植被较高且食物较丰富的近围栏生境来回避人为干扰。

4.1.4 适宜生境大小对赤狐生境选择的影响

赤狐都有相对稳定的家域,家域大小会随地区不同和季节(繁殖期和非繁殖期)不同而略有所不同^[22]。赤狐的家域大小与食物的丰富度程负相关^[24, 26],即在食物丰富度较高的生境中赤狐的家域相对较小,所需要的最小适宜生境面积较小;而在食物丰富度较低或食物匮乏的生境中赤狐的家域相对较大^[24, 26],所需要的最小适宜生境面积相对较大。本研究发现,适宜赤狐生存的三类生境中,平均斑块面积最小的是最适宜生境,一般适宜生境的平均斑块面积最大(表6)。这与 Silva^[26]与 Lucherini^[24]等人的研究结果是相吻合的。

4.1.5 生境破碎程度对赤狐生境选择的影响

生境斑块数量、平均斑块面积、平均斑块距离、形状指数等在一定程度上反映了生境斑块的破碎程度。本研究发现,赤狐多分布于生境斑块相对完整的适宜其生存的生境中或分布于由适宜其生存的生境和相对适宜其生存的生境构成的镶嵌型生境中,这主要由于此类生境中食物丰富度高、隐蔽性强,利于赤狐捕食、避敌(主要为人为捕杀)和迁徙^[31]。Jarnemo 等认为大尺度上的生境景观结构和组成能通过暴露食物来直接影响影响赤狐捕食成功率^[31]或通过改变捕食者(赤狐)和猎物的密度、猎物的迁徙方式以及幼体猎物的生长速度来间接影响影响赤狐捕食成功率^[31]。在群落交错区,赤狐对猎物的捕食成功率明显升高^[32]。

4.2 赤狐适宜生境景观特征分析

生境景观特征(生境斑块的面积、生境斑块的数量、生境斑块的破碎程度)反映了动物在景观水平上对生境的需求。

生境斑块的面积(尤其是最小生境斑块面积)是受动物活动范围(家域)制约的^[24]。赤狐家域的大小与食物丰富度呈负相关^[24]。Jarnemo 对不同尺度上的生境景观结构和组成对赤狐-食物关系的影响的研究发现,大尺度上的生境景观结构和组成能通过暴露食物来直接影响影响赤狐捕食成功率^[31]或通过改变捕食者(赤狐)和猎物的密度、猎物的迁徙方式以及幼体猎物的生长速度来间接影响影响赤狐捕食成功率^[31]。本研究发现,赤狐会倾向于选择适宜其生存的面积较大生境(适宜生境、一般适宜生境)(图1)。

生境斑块的破碎是指适宜赤狐生存的生境(最适宜生境、较适宜生境和一般适宜生境)变为许多较小斑块的过程,新形成的小的生境斑块会由于受赤狐家域的限制而表现为降低赤狐的生境适宜性^[24]。Bunnefeld 认为,若新形成的斑块能够连接形成适宜赤狐生存的生境镶嵌体,则会在一定程度上提高生境镶嵌体的适宜性^[32]。赤狐一般分布于相对较大的生境斑块或由面积较小的适宜生境和一般适宜生境形成的生境镶嵌体中(图1)。在群落交错区,赤狐对猎物的捕食成功率明显升高^[32]。首先,在群落交错区,猎物的密度和活动明显提高,直接增加了赤狐-猎物相遇的几率,提高了捕食成功率^[32]。其次,在群落交错区,由于高的食物丰富度的影响,赤狐的活动明显活跃^[32]。复杂的异质性生态系统具有多样的生态位类型,因而该生态系统中小型哺乳动物的环境容纳量也较高^[32]。现在随着人类将该类型生态系统逐渐开发为农田、种植物种单一的经济林,该类型生态系统的生态位多样性大大降低,生物的种类锐减^[33-34]。相反,由于载畜量过大或气候干旱等其他自然因素导致某些原被用作牧场或草场的地区生境被破坏而被迫被抛荒后,一段时间后可逐渐转变为能够提供较高物种多样性的潜在生境类型^[35]。Hasson 认为在农田中使用强度较低以及景观异质性较高的地区(如,被抛荒的牧场),小型哺乳动物的丰富度较高^[35]。

基于对影响赤狐生境选择因子、赤狐适宜生境景观特征的分析以及研究地区实际状况,为了更好保护赤狐的种群数量,发挥其在维持生态系统中作用,在研究区部分区域人为创造适宜赤狐生存的生境,即创造植被较高、隐蔽性良好、食物丰富、人为干扰较轻(或无人干扰)、生境斑块面积较大或形成生境镶嵌体的适宜赤

狐生存的生境。严格控制草原的载畜量,从而保护好草场的生长,提高草场草的高度和密度,进而提高较适宜和一般适宜斑块对赤狐的隐蔽性;同时严格划分好正使用和留用的草场,对使用价值不高的草场可以将其抛荒,创造群落交错区(生境镶嵌体);减少对赤狐适宜生境的人为干扰,并控制对赤狐的人为捕杀。最终达到既提高赤狐的数量来降低鼠害又保护草场的目的。

致谢:感谢内蒙古达赉湖国家自然保护布特根局长、感谢乌兰诺尔核心区管护站的李国海、孟和、白桦、陈吉日木图等同志的大力帮助。

References:

- [1] Zhang H H, Liu X P, Dou H S, Zhang C D, Ren Y. Food composition and food niche overlap of three kinds of canidae. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(6): 347-350.
- [2] Zhang H H, Dou H S, Zhai H C, Wu M R. Characteristics of dens in spring of three species of canids. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(12): 3980-3988.
- [3] He Y. Rodent pests in Inner Mongolia grassland. *China Animal Husbandry Bulletin*, 2010, (13): 36-37.
- [4] Xie Z. Red fox were used as a predator to control grassland rodents in Xinjiang. *Pratacultural Science*, 2006, 23(10): 52-52.
- [5] Zheng X, Bao Y X, Ge B M. A review of studies on ungulates' habitat selection in China. *Journal of Zhejiang Normal University: Natural Sciences*, 2004, 27(4): 392-397.
- [6] Ouyang Z Y, Li Z X, Liu J G, An L, Zhang H M, Tan Y C, Zhou S Q. The recovery processes of giant panda habitat in Wolong Nature Reserve, Sichuan China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(11): 1840-1849.
- [7] Jiang Z W, Xu L, Ma Y Q, Wang Y Q, Li Y Q, Buskirk Steven W. The winter habitat selection of sables in Daxinganling Mountains. *Acta Theriologica Sinica*, 1998, 18(2): 112-119.
- [8] Zhou W Y, Wei W H. Activity rhythms and distribution of natal dens for red foxes. *Acta Theriologica Sinica*, 1995, 15(4): 267-272.
- [9] Zhang H H, Zhang M H, Wang X H, Wang W, Zhang L, Gao Z X. Denning selection by red fox during the breeding period in Northeastern Inner Mongolia. *Acta Theriologica Sinica*, 1999, 19(3): 176-182.
- [10] Nakazono T, Ono Y. Den distribution and den use by the red fox *Vulpes vulpes japonica* in Kyushu. *Ecological Research*, 1987, 2(3): 265-277.
- [11] Jia J B, Xiao Q Z. Home range of red foxes in the west suburbs of Harbin. *Acta Theriologica Sinica*, 1990, 10(4): 268-275.
- [12] van Etten K W, Wilson K R, Crabtree R L. Habitat use of red foxes in Yellowstone National Park based on snow tracking and telemetry. *Journal of Mammalogy*, 2007, 88(6): 1498-1507.
- [13] Frey S N, Conover M R. Habitat use by meso-predators in a corridor environment. *Journal of Wildlife Management*, 2006, 70(4): 1111-1118.
- [14] Murdoch J D, Buyandelger S, Cypher B L. Patterns of seed occurrence in corsac and red fox diets in Mongolia. *Journal of Arid Environments*, 2009, 73(3): 381-384.
- [15] Liu Q X, Zhang M H, Zhang B L, Gao Z X. Diets of corsac fox on eastern prairie of Inner Mongolia in spring and summer. *Journal of Northeast Forestry University*, 2008, 36(7): 62-64.
- [16] Lanszki J, Zalewski A, Horváth G. Comparison of red fox *Vulpes vulpes* and pine marten *Martes martes* food habits in a deciduous forest in Hungary. *Wildlife Biology*, 2007, 13(3): 258-271.
- [17] Lanszki J, Heltai M, Szabó L. Feeding habits and trophic niche overlap between sympatric golden jackal (*Canis aureus*) and red fox (*Vulpes vulpes*) in the Pannonian ecoregion (Hungary). *Canadian Journal of Zoology*, 2006, 84(11): 1647-1656.
- [18] Elmhagen B, Tannerfeldt M, Angerbjörn A. Food-niche overlap between arctic and red foxes. *Canadian Journal of Zoology*, 2002, 80(7): 1274-1285.
- [19] Carvalho J C, Gomes P. Food habits and trophic niche overlap of the red fox, European wild cat and common genet in the Peneda-Gerês National Park. *Galemys*, 2001, 13(2): 39-48.
- [20] Zhong H M, Zhang H H, Sha W L, Zhang C D, Chen Y C. Complete mitochondrial genome of the red fox (*Vulpes vulpes*) and phylogenetic analysis with other canid species. *Zoological Research*, 2010, 31(2): 122-130.
- [21] Cavallini P, Lovari S. Environmental factors influencing the use of habitat in the red fox, *Vulpes vulpes*. *Journal of Zoology*, 1991, 223(2): 323-339.
- [22] Murdoch J D, Munkhzul T, Buyandelger S, Reading R P, Sillero-Zubiri C. Seasonal food habits of corsac and red foxes in Mongolia and the potential for competition. *Mammalian Biology*, 2010, 75(1): 36-44.
- [23] Kistler C, Heggin D, Würbel H, König B. Feeding enrichment in an opportunistic carnivore: the red fox. *Applied Animal Behaviour Science*,

2009, 116(2/4): 260-265.

- [24] Lucherini M, Lovari S. Habitat richness affects home range size in the red fox *Vulpes vulpes*. Behavioural Processes, 1996, 36(1): 103-105.
- [25] Ujhelyi T, Heltai M. Red fox population decrease in Hungary: competition or carrying capacity limitation? Journal of Veterinary Behavior: Clinical Applications and Research, 2009, 4(2): 63-64.
- [26] Silva M, Johnson K M, Opps S B. Habitat use and home range size of red foxes in Prince Edward Island (Canada) based on snow-tracking and radio-telemetry data. Central European Journal of Biology, 2009, 4(2): 229-240.
- [27] Zhang H H, Li F, Gao Z X. An analysis on the spacing pattern and habitat selection of wolf dens in the eastern region of Inner Mongolia. Acta Theriologica Sinica, 1999, 19(2): 101-106.
- [28] Zhang H H, Li F, Li X S, Zhang P Y, Gao H X. Preliminary study on structure of the wolf dens in Eastern Inner Mongolia. Journal of Northeast Forestry University, 1999, 27(2): 35-38.
- [29] Rong K, Zong C, Ma J Z. A method for analysis of habitat selection data: Bailey's Interval. Zoological Research, 2009, 30(2): 215-220.
- [30] Lucherini M, Lovari S, Crema G. Habitat use and ranging behaviour of the red fox (*Vulpes vulpes*) in a Mediterranean rural area: is shelter availability a key factor? Journal of Zoology, 1995, 237(4): 577-591.
- [31] Jarnemo A. Predation processes: behavioural interactions between red fox and roe deer during the fawning season. Journal of Ethology, 2004, 22(2): 167-173.
- [32] Bunnefeld N, Linnell J D C, Odden J, van Duijn M A J, Andersen R. Risk taking by Eurasian lynx (*Lynx lynx*) in a human-dominated landscape: effects of sex and reproductive status. Journal of Zoology, 2006, 270(1): 31-39.
- [33] Michel N, Burel F, Butet A. How does landscape use influence small mammal diversity, abundance and biomass in hedgerow networks of farming landscapes? Acta Oecologica, 2006, 30(1): 11-20.
- [34] Hole D G, Perkins A J, Wilson J D, Alexander I H, Grice P V, Evans A D. Does organic farming benefit biodiversity? Biological Conservation, 2005, 122(1): 113-130.
- [35] Hansson L. Dynamics and trophic interactions of small rodents: landscape or regional effects on spatial variation? Oecologia, 2002, 130(2): 259-266.

参考文献:

- [2] 张洪海, 窦华山, 翟红昌, 吴牧仁. 三种犬科动物春季洞穴特征. 生态学报, 2006, 26(12): 3980-3988.
- [3] 贺勇. 内蒙古草原鼠害严重. 中国牧业通讯, 2010, (13): 36-37.
- [4] 谢智. 新疆驯化狐狸治理草原鼠害. 草业科学, 2006, 23(10): 52-52.
- [5] 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.
- [6] 欧阳志云, 李振新, 刘建国, 安力, 张和民, 谭迎春, 周世强. 卧龙自然保护区大熊猫生境恢复过程研究. 生态学报, 2002, 22(11): 1840-1849.
- [7] 姜兆文, 徐利, 马逸清, 王永庆, 李永琪, Buskirk Steven W. 大兴安岭地区紫貂冬季生境选择的研究. 兽类学报, 1998, 18(2): 112-119.
- [8] 周文扬, 魏万红. 赤狐的活动节律与产仔洞穴的选择. 兽类学报, 1995, 15(4): 267-272.
- [9] 张洪海, 张明海, 王秀辉, 王文, 章黎, 高中信. 内蒙古东部草原地区赤狐繁殖期对洞穴的选择. 兽类学报, 1999, 19(3): 176-182.
- [11] 贾竞波, 萧前柱. 哈尔滨西郊赤狐冬季巢区的初步研究. 兽类学报, 1990, 10(4): 268-275.
- [15] 刘群秀, 张明海, 张佰莲, 高中信. 内蒙古东部地区春夏季沙狐的食性. 东北林业大学学报, 2008, 36(7): 62-64.
- [27] 张洪海, 李枫, 高中信. 狼洞穴空间格局及生境选择的分析. 兽类学报, 1999, 19(2): 101-106.
- [28] 张洪海, 李枫, 李修善, 张培玉, 高中信. 内蒙东部地区狼洞穴构造的初步研究. 东北林业大学学报, 1999, 27(2): 35-38.
- [29] 戎可, 宗诚, 马建章. Bailey's 方法在生境选择研究中的应用. 动物学研究, 2009, 30(2): 215-220.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula lei</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	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 70.00 元