

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第21期 Vol.31 No.21 **2011**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 31 卷 第 21 期 2011 年 11 月 (半月刊)

目 次

基于景观格局理论和理想风水模式的藏族乡土聚落景观空间解析——以甘肃省迭部县扎尕那村落为例·····	史利莎,严力蛟,黄璐,等 (6305)
武夷山风景名胜区景观生态安全度时空分异规律·····	游巍斌,何东进,巫丽芸,等 (6317)
旅游地道路生态持续性评价——以云南省玉龙县为例·····	蒋依依 (6328)
城市空间形态紧凑度模型构建方法研究·····	赵景柱,宋瑜,石龙宇,等 (6338)
丹顶鹤多尺度生境选择机制——以黄河三角洲自然保护区为例·····	曹铭昌,刘高焕,徐海根 (6344)
西南喀斯特区域水土流失敏感性评价及其空间分异特征·····	凡非得,王克林,熊鹰,等 (6353)
流域尺度海量生态环境数据建库关键技术——以塔里木河流域为例·····	高凡,闫正龙,黄强 (6363)
雌雄异株植物鼠李的生殖分配·····	王娟,张春雨,赵秀海,等 (6371)
长白山北坡不同年龄红松年表及其对气候的响应·····	王晓明,赵秀海,高露双,等 (6378)
不同高寒退化草地阿尔泰针茅种群的小尺度点格局·····	赵成章,任珩,盛亚萍,等 (6388)
残存银杏群落的结构及种群更新特征·····	杨永川,穆建平,TANG Cindy Q,等 (6396)
濒危植物安徽羽叶报春两种花型的繁育特性及其适应进化·····	邵剑文,张文娟,张小平 (6410)
神农架海拔梯度上 4 种典型森林的乔木叶片功能性状特征·····	罗璐,申国珍,谢宗强,等 (6420)
不同植被恢复模式下煤矸石山复垦土壤性质及煤矸石风化物的变化特征·····	王丽艳,韩有志,张成梁,等 (6429)
火烧对黔中喀斯特山地马尾松林分的影响·····	张喜,崔迎春,朱军,等 (6442)
内蒙古高原锦鸡儿属植物的形态和生理生态适应性·····	马成仓,高玉葆,李清芳,等 (6451)
古尔班通古特沙漠西部梭梭种群退化原因的对比分析·····	司朗明,刘彤,刘斌,等 (6460)
白石砬子国家级自然保护区天然林的自然稀疏·····	周永斌,殷有,殷鸣放,等 (6469)
黑龙江省东完达山地区东北虎猎物种群现状及动态趋势·····	张常智,张明海 (6481)
基于 GIS 的马铃薯甲虫扩散与河流关系研究——以新疆沙湾县为例·····	李超,张智,郭文超,等 (6488)
2010 年广西兴安地区稻纵卷叶螟发生动态及迁飞轨迹分析·····	蒋春先,齐会会,孙明阳,等 (6495)
B 型烟粉虱对寄主转换的适应性·····	周福才,李传明,顾爱祥,等 (6505)
利用 PCR-DGGE 方法分析不同鸡群的盲肠微生物菌群结构变化·····	李永洙,Yongquan Cui (6513)
鸡粪改良铜尾矿对 3 种豆科植物生长及基质微生物量和酶活性的影响·····	张宏,沈章军,阳贵德,等 (6522)
铜绿微囊藻对紫外辐射的生理代谢响应·····	汪燕,李珊珊,李建宏,等 (6532)
10 种常见甲藻细胞体积与细胞碳、氮含量的关系·····	王燕,李瑞香,董双林,等 (6540)
冬季太湖表层底泥产毒蓝藻群落结构和种群丰度·····	李大命,孔繁翔,于洋,等 (6551)
城市机动车道颗粒物扩散对绿化隔离带空间结构的响应·····	蔺银鼎,武小刚,郝兴宇,等 (6561)
新疆城镇化与土地资源产出效益的空间分异及其协调性·····	杨宇,刘毅,董雯,等 (6568)
山东潍坊地下水硝酸盐污染现状及 $\delta^{15}\text{N}$ 溯源·····	徐春英,李玉中,李巧珍,等 (6579)
增温对宁夏引黄灌区春小麦生产的影响·····	肖国举,张强,张峰举,等 (6588)
一种估测小麦冠层氮含量的新高光谱指数·····	梁亮,杨敏华,邓凯东,等 (6594)
黄河上游灌区稻田 N_2O 排放特征·····	张惠,杨正礼,罗良国,等 (6606)
专论与综述	
植物源挥发性有机物对氮沉降响应研究展望·····	黄娟,莫江明,孔国辉,等 (6616)
植物种群更新限制——从种子生产到幼树建成·····	李宁,白冰,鲁长虎 (6624)
研究简报	
遮荫对两个基因型玉米叶片解剖结构及光合特性的影响·····	杜成凤,李潮海,刘天学,等 (6633)
学术信息与动态	
科学、系统与可持续性——第六届工业生态学国际大会述评·····	石海佳,梁赛,王震,等 (6641)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 340 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 37 * 2011-11	



封面图说: 鹤立——丹顶鹤是世界 15 种鹤数量极小的一种,主要栖息在沼泽、浅滩、芦苇塘等湿地,以捕食小鱼虾、昆虫、蛙蚺、软体动物为主,也吃植物的根茎、种子、嫩芽。善于奔驰飞翔,喜欢结群生活。丹顶鹤属迁徙鸟类,主要在我国的黑龙江、吉林、俄罗斯西伯利亚东部、朝鲜北部以及日本等地繁殖。在长江下游一带越冬。在中国文化中有“仙鹤”之说。被列为中国国家一级重点保护野生动物名录,濒危野生动植物种国际贸易公约绝对保护的 CITES 附录一物种名录。

彩图提供: 陈建伟教授 国家林业局 E-mail: cites.chenjw@163.com

曹铭昌, 刘高焕, 徐海根. 丹顶鹤多尺度生境选择机制——以黄河三角洲自然保护区为例. 生态学报, 2011, 31(21): 6344-6352.

Cao M CS, Liu G H, Xu H G. A multi-scale analysis of red-crowned crane's habitat selection at the Yellow River Delta Nature Reserve, Shandong, China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(21): 6344-6352.

丹顶鹤多尺度生境选择机制 ——以黄河三角洲自然保护区为例

曹铭昌^{1,2}, 刘高焕^{2,*}, 徐海根¹

(1. 环境保护部南京环境科学研究所, 南京 210042; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 生境在鸟类生活史中发挥着重要的作用, 关系到鸟类的生存和繁衍。由于鸟类对环境变化的响应发生在等级序列空间尺度上, 基于多尺度的研究更能深入刻画鸟类-环境之间关系。以丹顶鹤 (*Grus japonensis*) 为研究对象, 以其迁徙和越冬的重要地区-黄河三角洲自然保护区为研究区域, 应用等级方差分解法和等级划分法, 分析丹顶鹤与微生境、斑块、景观尺度因子之间的关系, 探求丹顶鹤生境选择的主要影响因素和尺度。等级方差分解结果表明, 在第 1 等级水平, 景观尺度因子与微生境、斑块尺度因子之间的联合效应大于独立效应, 景观尺度因子的独立效应大于微生境和斑块尺度因子; 在第 2 等级水平, 景观尺度上的景观组成因子重要性大于景观结构因子, 微生境尺度上的植被和水分因子为重要影响因素。等级划分结果表明, 景观尺度上, 翅碱蓬滩涂、水体面积大小是主要影响因素; 微生境尺度上, 植被盖度和水深为主要限制因子; 在斑块尺度上, 斑块类型对丹顶鹤生境选择最为重要。研究认为, 在黄河三角洲自然保护区, 景观尺度是影响丹顶鹤生境选择的主要尺度, 景观尺度因子通过与微生境和斑块尺度因子的独立和联合作用制约着丹顶鹤在保护区的生境选择和空间分布格局。建议加强对翅碱蓬滩涂、芦苇沼泽、水体等湿地生境的保护和管理, 规范和控制保护区内人类活动强度。

关键词: 丹顶鹤; 尺度; 生境选择; 黄河三角洲自然保护区

A multi-scale analysis of red-crowned crane's habitat selection at the Yellow River Delta Nature Reserve, Shandong, China

CAO Mingchang^{1,2}, LIU Gaohuan^{2,*}, XU Haigen¹

1 Nanjing Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Nanjing 210042, China

2 Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

Abstract: Habitat plays an important role in the life history of birds. Habitat quality is directly related to the bird's survival and reproduction. Since bird species respond to the habitat variation simultaneously across a range of organizational levels, multi-scale approaches can potentially better describe bird species-environment relationships compared to single-scale approaches. Red-crowned crane (*Grus japonensis*) is a rare, endangered species living in native wetlands. The Yellow River Delta Nature Reserve (YRDNR) in Shandong province is one of most important sites for this species' migration and wintering. Here, we take YRDNR as a case study to explore the main limiting factors and scales of habitat selection of the crane at microhabitat, patch and landscape scales. We collected the red-crowned crane distributional data and microhabitat level factors from two field surveys, and extracted the patch or landscape level factors using remote sensed images. We used hierarchical variance partitioning methods to partition explainable variance by habitat factors in the red-crowned crane distributional data at two hierarchical levels. The first level of analysis partitioned variance explained by microhabitat, patch and landscape level factors alone and in combination. The second level partitioned variance explained by vegetation and

基金项目: 国家自然科学基金(4102310, 41101424); 国家科技支撑计划资助(2008BAC39B06)

收稿日期: 2011-05-18; **修订日期:** 2011-09-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liugh@reis.ac.cn

water factors independently and jointly at microhabitat scale, landscape composition and configuration factors independently and jointly at landscape scale. By comparing the amount of variance occupied by habitat factors at each hierarchical level, we examined their independent and joint effects on habitat selection of red-crowned crane. Moreover, we used hierarchical partitioning methods to segregate the independent effects of each habitat factors separately, and explored their contributions to the habitat selection. The results showed at the first level, a majority of variance explained by the jointly effect of landscape level factors with microhabitat (10.8%) or patch (25.3%), or microhabitat and patch (28.9%) level factors. Meanwhile, landscape level factors independently accounted for a larger amount of the explained variance (12.7%) than microhabitat (6.0%) or patch (1.6%) level factors. At the second level, the landscape composition was more important than the landscape configuration at landscape level, and the vegetation and water contributed more explainable variation at the microhabitat scale. The results of hierarchical partitioning methods showed that seabird tidal flat, and water area are the main habitat factors at landscape scale since their Z value of independent effects are statistically significant. Vegetation coverage and water depth contributed more explanatory power at microhabitat scale. At patch scale, patch type was the predominant factor. Besides, the road density also had independent effects on habitat selection of red-crowned crane. This study suggested the landscape scale is the main scale related to the distribution of red-crowned crane. Landscape level factors, together with microhabitat and patch level factors, jointly controlled habitat selection in YRDNR. To protect the wetland habitat for red-crowned crane, we proposed to take effective measures to strengthen the protection and management of the tidal flat, weed marsh or water body, and regulate or control human activities that threaten and destroy the wetland habitat in YRDNR.

Key Words: red-crowned crane; scale; habitat selection; Yellow River Delta Nature Reserve

生境(栖息地)在鸟类生活史中发挥着重要的作用,其优劣直接关系到鸟类的生存和繁衍^[1]。鸟类生境选择研究,尤其是珍稀濒危鸟类的生境选择分析已成为鸟类保护生物学的重要研究领域之一^[2-3]。传统的生境选择研究大多集中在单一空间尺度上,且多为较小的空间尺度。近年来,人们逐渐意识到鸟类的生境选择是一个非常复杂的过程,包括多层次的判别和一系列的等级序位,可以发生在多个水平或尺度上,仅靠单一空间尺度不能抓住其与生境之间关系,更不能反映出真正影响其生境选择的主要环境因子^[4]。目前,结合地理信息系统和遥感技术,利用多尺度方法开展鸟类生境选择研究,科学确定影响鸟类生境选择的主要因素,并开展有针对性的保护,已经成为珍稀濒危鸟类保护和管理的重要手段之一,日益受到保护学者的广泛关注^[5-9]。

丹顶鹤是世界上珍稀濒危鸟类之一,被列入世界自然保护联盟濒危物种红皮书并被定为濒危物种^[10]。开展丹顶鹤生境选择研究,定量分析影响其生境选择的主要因素,对于科学制定其保护对策具有重要意义。已有研究表明,丹顶鹤在微生境、景观等不同尺度均存在一定的生境需求^[11-15]。然而,丹顶鹤的生境选择是否发生在多个空间尺度和水平上,哪个空间尺度上的生境因子对其生境选择更为重要,目前尚未有相关研究报道。因此,本研究以黄河三角洲自然保护区为研究区域,应用多尺度分析方法,从微生境、斑块和景观尺度上分析丹顶鹤生境选择的影响因素,探索保护区内限制丹顶鹤分布的主要尺度及生境因子,为保护区制定丹顶鹤生境保护对策提供科学依据。

1 研究区概况

黄河三角洲自然保护区地处山东省东北部的黄河入海口(37°35'—38°12' N, 118°33'—119°20' E),北临渤海,东靠莱州湾,是以保护黄河口新生湿地生态系统和珍稀、濒危鸟类为主的国家级自然保护区。总面积为15.3万hm²。保护区内大面积的浅海滩涂和沼泽,丰富的湿地植被和水生生物资源,为鸟类的繁衍生息和迁徙越冬提供了优良的栖息环境,使之成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬栖息地。该区是目前丹顶鹤越冬和迁徙的重要地区之一,也是丹顶鹤越冬的最北限,在保护丹顶鹤上具有重要

的国际意义^[16]。

2 数据来源和研究方法

2.1 丹顶鹤分布和微生境数据

2007 年 10—12 月对黄河三角洲自然保护区丹顶鹤的觅食生境进行了 2 次野外调查。采用线路调查和定点观察相结合的观测方法,即对保护区内所有可能到达的地方进行线路调查,在某一个地方发现有丹顶鹤分布后停下来进行记录。如果没有潮沟或河流阻隔,则走到丹顶鹤的活动地点,对其周围微生境特征进行样方调查,并用 GPS 定位。以活动地点为中心,设置 30 m × 30 m 的样方,样方形状假定为圆形,在大样方内以活动地点为中心,沿东西南北四个方向设置小样方,每个方向上设置 2 个小样方,小样方间隔相等(图 1),总共设置 9 个小样方,样方大小为 1 m × 1 m,在每个小样方记录活动地点周围的微生境特征,主要微生境特征包括:(1)植被特征,样方内柽柳、翅碱蓬、芦苇等植物高度和盖度,植被最大高度和盖度等;(2)水分特征,样方内明水面面积大小,水深等。对 9 个小样方内的微生境特征值进行平均,便可得到整个 30 m × 30 m 大样方内微生境特征值(表 1)。

经过 2 次野外调查,共收集到 68 个丹顶鹤分布点上的微生境样方数据,为对比分析,还在保护区内随机采集了 112 个无丹顶鹤分布点上的微生境样方数据。最后总共收集 180 个点上有/无丹顶鹤分布点上的微生境样方数据(图 2)。

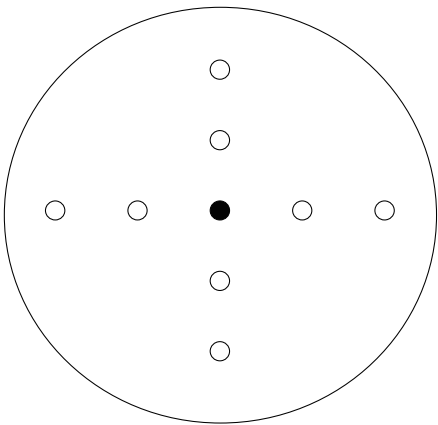


图 1 微生境实验设计图

Fig. 1 Experimental design at microhabitat scale

中心黑色点:丹顶鹤活动分布点;白色点:采样点,沿东西南北四个方向各采 2 个点

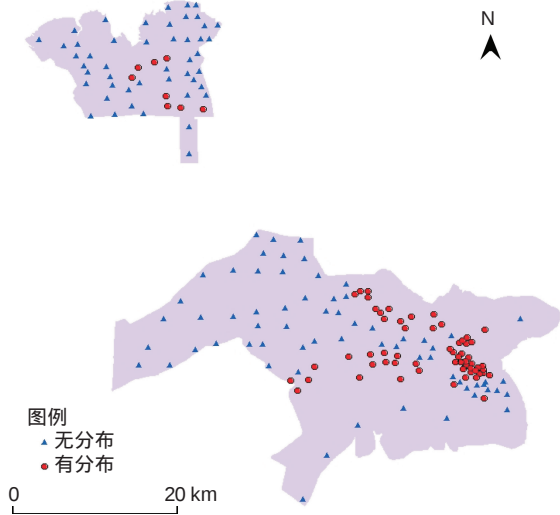


图 2 微生境采样点分布图

Fig. 2 The distribution map of microhabitat sample points for red-crowned crane

三角形点:丹顶鹤分布点;圆点:无丹顶鹤分布点

2.2 景观和斑块尺度数据

2.2.1 数据来源

研究表明,植被、水分、人为干扰等是影响丹顶鹤生境选择的主要生境因子^[14, 17]。利用遥感影像获取保护区生境类型、水分和人类干扰信息图层。所用遥感影像为 1 景 2006 年 10 月 2 日 TM 影像以及 1 景 2005 年 9 月 7 日 SPOT-5 影像(空间分辨率 2.5 m)。TM 影像通过在 1:5 万地形图上选取控制点进行几何校正,SPOT-5 影像则通过差分 GPS(精度在 1 m 以内)在野外选择高精度控制点进行几何校正。均方根误差均控制在 0.5 个象元以内。

植被类型图。利用校正后的 SPOT-5 遥感影像,在实地调查的基础上,采用监督分类和非监督分类相结合的方法,辅以目视解译,生成保护区植被类型图。主要植被类型包括林地、柽柳灌丛、芦苇草甸、芦苇沼泽、

翅碱蓬滩涂、怪柳-翅碱蓬滩涂、光滩、盐田、虾池、农田等。

水分和人为干扰信息图。鉴于 TM5, 7 波段对水分信息十分敏感,利用 TM 影像提取保护区内的水分信息,即对 TM5, 7 波段进行监督分类和非监督分类,生成保护区水分信息图。结合保护区 SPOT-5 影像和 1:5 万地形图,提取保护区内道路、油井等人为干扰信息,生成保护区人为干扰信息图。

2.2.2 斑块和景观尺度数据获取方法

基于从遥感影像提取的保护区植被、水分和人为干扰信息图层,利用 Fragstats 3.0 软件提取 180 个微生物样点上相应的斑块和景观尺度数据。

斑块尺度数据。斑块指的是野外采集的 180 个样点所位于的斑块。利用 Fragstats 3.0 软件计算得到斑块面积 (AREA)、斑块形状指数 (SHAPE)、斑块核心面积 (CORE AREA)、欧氏最近邻域距离 (ENN)、边缘对照指数 (ECON)、斑块类型 (TYPE) 等 6 种“斑块水平”指数数据 (表 1)。

表 1 微生物、斑块和景观尺度变量表
Table 1 The descriptions of habitat variables at microhabitat, patch and landscape scale

尺度 Scale	变量组 Variable group	变量名 Variable name	变量描述 The descriptions of variable
微生物尺度 Microhabitat	植被	怪柳高度	30 m × 30 m 假想样园内怪柳平均高度
		怪柳盖度	30 m × 30 m 假想样园内怪柳平均盖度
		芦苇高度	30 m × 30 m 假想样园内芦苇平均高度
		芦苇盖度	30 m × 30 m 假想样园内芦苇平均盖度
		翅碱蓬高度	30 m × 30 m 假想样园内翅碱蓬平均高度
		翅碱蓬盖度	30 m × 30 m 假想样园内翅碱蓬平均盖度
		植被盖度	30 m × 30 m 假想样园内植被平均盖度
		植被最大高度	30 m × 30 m 假想样园内植被最大高度
	水	明水面面积	30 m × 30 m 假想样园内明水面平均面积
		水深	30 m × 30 m 假想样园内平均水深
斑块尺度 Patch	斑块类型	斑块类型	丹顶鹤活动点所处的斑块类型
	斑块面积	斑块面积	丹顶鹤活动点所处斑块的面积
	斑块形状	斑块形状指数	丹顶鹤活动点所处斑块的形状指数
	斑块核心面积	斑块核心面积	丹顶鹤活动点所处斑块的核心面积
	斑块距离	欧氏平均最近距离	丹顶鹤活动点所处斑块的欧式最近距离
	斑块边缘	边缘对照指数	丹顶鹤活动点所处斑块的边缘对照指数
景观尺度 Landscape	景观结构	加权对照边缘密度	200 hm ² 时的加权对照边缘密度
		最大斑块指数	200 hm ² 时的最大斑块指数
		辛普森多样性指数	2000 hm ² 时的辛普森多样性指数
	景观组成	芦苇沼泽百分比	10 hm ² 内的芦苇沼泽百分比
		怪柳-翅碱蓬滩涂百分比	10 hm ² 内的怪柳-翅碱蓬滩涂百分比
		翅碱蓬滩涂百分比	50 hm ² 内的翅碱蓬滩涂百分比
		油井密度	50 hm ² 内的油井密度
		道路密度	100 hm ² 内道路密度
		水分百分比	1500 hm ² 内的水源百分比

景观尺度数据。利用 Fragstats 3.0 软件的移动窗口功能计算每个样点上的景观结构和组成指数。通过变换移动窗口大小 (10, 50, 100, 200, 350, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000 hm²), 计算得到每个窗口内表征不同景观结构特征的 14 个景观结构指数, 以及植被类型、水分百分比、道路密度、油井密度等景观组成指数。

利用逐步回归去除那些对丹顶鹤生境选择没有影响的景观指数。首先, 对每个景观结构指数 12 个尺度上的数据进行前向逐步回归, 选择统计上最为显著 ($P=0.05$) 尺度上的景观结构指数进入下一步分析; 随后,

将所有选择尺度上的景观结构指数再次进行前向逐步回归,得到 3 个选择尺度上的景观结构指数,分别为 200 hm² 上的加权对照边缘密度(CWED)、200 hm² 上的最大斑块指数(LPI)以及 2000 hm² 上的辛普森多样性指数(SIDI)(表 1)。以同样的方法对景观组成指数进行分析,得到 6 个选择尺度上的景观组成指数,分别是 50 hm² 内的翅碱蓬滩涂百分比、10 hm² 内的柽柳-翅碱蓬滩涂百分比、10 hm² 内的芦苇沼泽百分比、1500 hm² 内的水源百分比、50 hm² 内的油井密度和 100 hm² 内道路密度(表 1)。

2.3 多尺度生境选择研究方法

2.3.1 等级方差分解方法

利用 Cushman 和 McGarigal 提出的等级方差分解法^[5]将丹顶鹤分布数据(响应变量)中可解释的方差划分为 2 个等级水平上生境因子(预测变量)的独立和混合组分,以此来检测不同等级水平上生境因子对丹顶鹤生境选择影响的相对重要性,其值越大,表明对丹顶鹤生境选择的影响也越大。

第 1 等级用于分解微生境、斑块及景观 3 个尺度上独立和联合解释丹顶鹤分布数据中的方差大小。可分解为 7 个组分,其中独立效应(独立解释的方差)包括纯微生境、纯斑块和纯景观效应,联合效应(联合解释的方差)包括微生境和斑块、微生境和景观、斑块和景观,以及微生境、斑块和景观的联合效应。

第 2 等级用于分解各尺度内不同生境因子独立和联合解释丹顶鹤分布数据中的方差大小。在本研究中,将微生境因子归结为植被因子和水分因子,将景观因子分为景观组成和景观结构因子,由于斑块尺度上 6 个斑块因子已分别代表斑块的 6 个不同特征,不进行第 2 等级方差分解。在第 2 等级方差分解中,有两种选择,即分解第一等级水平各尺度生境因子的总效应和纯效应。例如微生境尺度的总效应分解相当于分解微生境尺度上独立和联合解释的方差之和,纯效应分解则相当分解其独立解释的方差。

运行一系列(偏)二项逻辑斯谛回归模型求取第 1、2 等级水平上各组分方差分解值^[5]。所有模型运算均可在 R 2.7 统计软件中实现。

2.3.2 等级划分方法

预测变量之间的多重共线性将影响多元回归模型预测结果准确性。为此,Mac Nally 提出利用等级划分方法来去除多重共线性的影响,并找出对响应变量真正有影响的预测变量^[18]。在具体实现中,利用随机化方法评定预测变量对响应变量的独立影响和重要性。即随机化数据矩阵 1000 次,计算每个预测变量的独立影响值和 Z 值,如果 Z 值大于 1.65,则表示该预测变量的独立影响值在显著性水平 $\alpha=0.05$ 时达到显著,也即该预测变量是影响响应变量的重要因子,值得保留在模型中。Z 值计算公式如下:

$$Z = \frac{\text{观察值} - \text{随机化平均值}}{\text{随机化标准差}} \quad (1)$$

利用等级划分法分别计算微生境、斑块和景观尺度内各生境因子的独立影响值和 Z 值,以此来分析和评定各尺度生境因子对丹顶鹤生境选择的重要性。等级划分法的所有模型运算均可利用 R 2.7 统计软件实现^[19]。

3 结果分析

3.1 等级方差分解法结果分析

利用等级方差分解法,将丹顶鹤分布数据中的变异分解到 2 个等级水平上(图 3—图 6)。在第一等级水平上,景观尺度因子的总效应和独立效应均最大,其所解释的方差分别占丹顶鹤分布数据总方差的 77.7% 和 12.7%(图 3)。从总效应来看,微生境尺度因子所解释的方差要小于斑块尺度,但从独立效应来看,则正好反之(图 3)。另外,各尺度之间的联合效应较大,例如景观与斑块之间,景观、斑块和微生境之间的联合效应分别达到 25.3% 和 28.9%(图 4),这表明 3 个尺度的联合作用对保护区丹顶鹤生境选择有较大影响。总体来看,虽然景观尺度与微生境和斑块尺度的联合效应较大,但其总效应和独立效应却远大于微生境和斑块尺度。因此,相对而言,景观尺度是影响保护区丹顶鹤生境选择的主要尺度,景观尺度生境因子通过与斑块、微生境尺度生境因子的独立和联合作用,影响着丹顶鹤在保护区的生境选择。

在第二等级水平上,进一步分解景观和微生境尺度生境因子的总效应和纯效应。在微生境尺度上,对于其总效应而言,植被因子解释了其中 26.4% 的方差,大于水分因子 13.6%, (图 5)。对于其纯效应而言,水分因子所占的方差比例要大于植被因子,两者的联合效应较小,只有 0.2% (图 5)。这表明在微生境尺度上,植被因子是与其他尺度生境因子联合作用的主要生境因子,而水分因子在丹顶鹤微生境选择中的重要性要大于植被因子。在景观尺度上,无论对于其总效应还是纯效应,景观组成所占的方差比例均要大于景观结构因子,例如在总效应中,景观组成解释了 58.6% 的方差,而景观结构只解释了 0.5% 的方差 (图 6)。这表明在景观尺度上,景观组成对保护区丹顶鹤生境选择的重要性要明显大于景观结构。

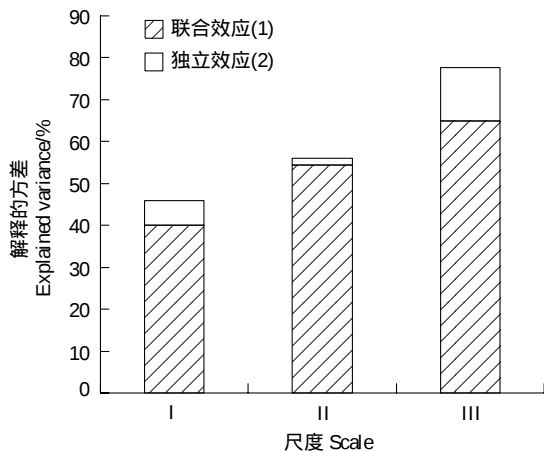


图 3 第一等级水平上,微生境、斑块和景观尺度生境因子总的独立和联合效应

Fig. 3 Total independent and joint effects of microhabitat, patch and landscape scale at the first hierarchical level

I:微生境尺度;II:斑块尺度;III:景观尺度

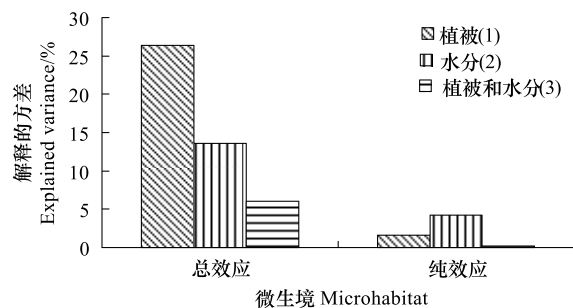


图 5 第二等级水平上,微生境尺度总效应和纯效应中由植被和水分独立和联合解释的方差比例

Fig. 5 The variance explained by vegetation and water with the total and pure effects of microhabitat variable at the second hierarchical level

(a) 植被独立解释的方差,(b) 水分独立解释的方差,(c) 植被和水分联合解释的方差

3.2 等级划分法结果分析

利用等级划分法,进一步分析微生境、斑块和景观 3 个尺度内每个生境因子对保护区丹顶鹤生境选择的影响。在微生境尺度上,所有微生境因子的 Z 值均达到显著水平,其中植被盖度和水深独立解释的变异及 Z 值大于其他微生境因子 (表 2)。这表明在微生境尺度上,植被盖度和水深是影响保护区丹顶鹤生境选择的主

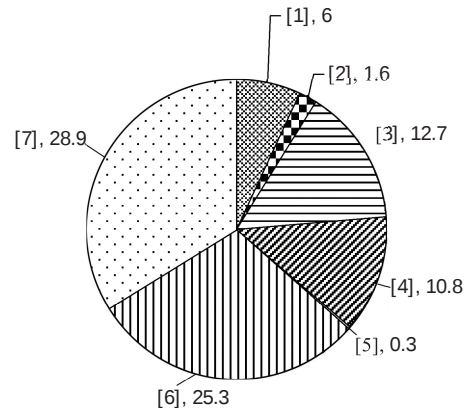


图 4 第一等级水平上,微生境、斑块和景观尺度生境因子独立和联合解释的方差比例

Fig. 4 Percentage of total variance independently and jointly explained by microhabitat, patch and landscape variable at the first hierarchical level

[1]:微生境纯效应;[2]:斑块纯效应;[3]:景观纯效应;[4]:微生境和景观联合效应;[5]:微生境和斑块联合效应;[6]:斑块和景观联合效应;[7]:微生境、斑块和景观的联合效应

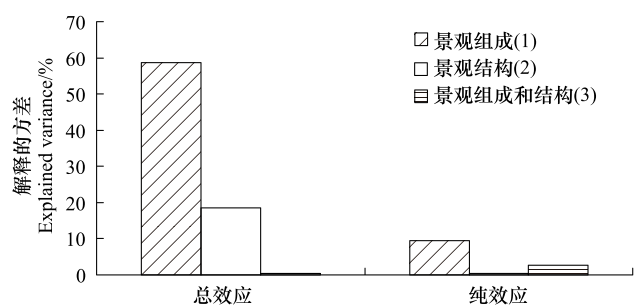


图 6 第二等级水平上,景观尺度总效应和纯效应中由景观组成和景观结构所解释的方差比例

Fig. 6 The variance explained by landscape composition and configuration with the total and pure effects of landscape variable at the second hierarchical level

(1) 景观组成独立解释的方差,(2) 景观结构独立解释的方差,(3) 景观组成和结构联合解释的方差

要生境因子,其他微生境因子也是不可忽略的重要影响因素。

在斑块尺度上,斑块类型独立解释的变异和 Z 值分别为 5.88% 和 48.36%,远大于其他几个斑块因子。其它斑块因子不仅独立解释的变异较小,且 Z 值均没有达到显著水平(表 2)。这表明在斑块尺度上,斑块类型是影响保护区丹顶鹤生境选择的最主要生境因子,而其他斑块因子影响较小。

在景观尺度上,除油井密度外,其他景观因子 Z 值均达到显著水平,其中翅碱蓬滩涂百分比和水分百分比独立解释的变异和 Z 值要远大于其他景观因子(表 2)。这表明在景观尺度上,两者是影响保护区丹顶鹤生境选择的主要因素,除油井密度外,其他景观因子也是不可忽略的重要因素。同时,翅碱蓬滩涂、芦苇沼泽、柽柳-翅碱蓬滩涂百分比、水分百分比和道路密度等景观组成因子独立解释的变异和 Z 值要大于加权对照边缘密度、最大斑块指数和辛普森多样性指数等景观结构因子(表 2),这表明在景观尺度上,景观组成因子对丹顶鹤生境选择的影响要大于景观结构因子,这一点与等级方差分解的结果是一致的。

表 2 微生境、斑块和景观尺度生境因子等级划分结果

Table 2 The hierarchical partitioning results at microhabitat, patch and landscape scale

变量 Variable	独立解释的变异(I)/% Explanation of Independent variance	Z	显著性(0.05) Significance level(0.05)
微生境因子 Microhabitat factors			
柽柳高度 The height of tamarix	0.80	2.08	*
柽柳盖度 The coverage of tamarix	1.21	3.61	*
芦苇高度 The height of reed	1.55	5.01	*
芦苇盖度 The coverage of reed	1.63	5.55	*
翅碱蓬高度 The height of seabillite	1.40	4.88	*
翅碱蓬盖度 The coverage of seabillite	1.54	4.75	*
植被盖度 The vegetation coverage	7.34	27.84	*
植被最大高度 The largest vegetation height	1.30	3.95	*
明水面面积 water area	1.65	4.43	*
水深 water depth	3.75	13.31	*
斑块因子 Patch factors			
斑块类型 TYPE	5.88	48.36	*
斑块面积 AREA	0.92	0.5	
斑块形状 SHAPE	0.26	-0.35	
斑块核心面积 CORE	0.42	-0.16	
欧氏平均最近距离 ENN	0.09	-0.60	
边缘对照指数 ECON	1.25	1.08	
景观因子 landscape factors			
加权对照边缘密度 CWED	0.32	3.04	*
最大斑块指数 LPI	2.49	2.65	*
辛普森多样性指数 SIDI	4.0	4.36	*
芦苇沼泽百分比 Percentage of weed marsh	6.84	8.15	*
柽柳-翅碱蓬滩涂百分比 Percentage of tamarix-seabillite tidal flat	7.6	9.27	*
翅碱蓬滩涂百分比 Percentage of seabillite tidal flat	45.53	62.50	*
油井密度 Oil well density	0.67	0.10	
道路密度 Road density	10.41	13.50	*
水分百分比 Percentage of water sources	21.75	28.02	*

4 讨论

4.1 尺度在丹顶鹤生境选择的重要性

尺度问题一直以来是生态学中的一个核心问题,也是研究物种-环境关系,尤其野生动物生境选择研究中不可忽略的一个问题^[20]。诸多研究表明,鸟类的生境选择往往体现在一系列连续的等级序列空间尺度上,要全面掌握其生境选择规律,就必须多尺度的分析其与生境之间的关系^[5-6, 21]。例如 Grand 和 Cushman 等^[7]从

景观、斑块、样点 3 个尺度上研究了北美脂松-胭脂栎森林群落中鸟类群落与生境之间关系,研究表明景观尺度上的生境因子对整个鸟类群落生境选择影响最大,依次是样点和斑块尺度上的生境因子。我们的研究表明,丹顶鹤在微生境、斑块和景观尺度均有一定的生境需求,各尺度生境因子解释的方差占丹顶鹤分布数据总方差的比例分别达到 46%、56.1% 和 77.7%。同时,不同尺度对丹顶鹤生境影响大小不一,景观尺度是影响丹顶鹤生境选择的主要尺度,其独立解释的方差比例达到 12.7%,远大于微生境和斑块尺度上的 6.0% 和 1.6%。因此,建议今后在研究丹顶鹤及其他一些珍稀濒危鸟类的生境选择时,应尽量考虑尺度的影响。

4.2 影响保护区丹顶鹤生境选择的主要因素

定量分析丹顶鹤与生境之间的关系,找出影响丹顶鹤生境选择的主要因素,对于科学制定丹顶鹤保护策略具有重要意义。近年来,已有研究在黄河三角洲开展丹顶鹤生境选择机制研究。例如舒莹等^[14]从微生境尺度分析了黄河三角洲丹顶鹤秋冬季生境选择机制,结果表明在黄河三角洲,水、食物、隐蔽物等微生境因子对丹顶鹤生境选择有显著影响。曹铭昌等^[15]利用生境适宜性模型分析了丹顶鹤在保护区景观尺度的生境需求,结果表明丹顶鹤生境需求不仅仅局限对小尺度的植被结构、水源、食物等生境因子的需求,更应体现为受更大尺度上景观因子的限制。本研究利用多尺度的研究方法综合分析了微生境、斑块和景观尺度上保护区丹顶鹤生境选择的主要影响因素,其结果更为全面和科学。我们研究表明,对丹顶鹤生境选择而言,在景观尺度上,景观组成重要性要远大于景观结构,其中翅碱蓬滩涂百分比和水分百分比是主要影响因素;在斑块尺度上,斑块类型最为重要;在微生境尺度上,植被和水分更为重要,其中植被盖度和水深为主要限制因子。多尺度的研究结果无疑能为保护区制定保护策略提供更全面的科学依据。

4.3 保护区丹顶鹤生境保护的对策建议

黄河三角洲是丹顶鹤重要的迁徙地和越冬地之一,也是全国第二大油田-胜利油田的所在地。如何协调好保护与资源开发的矛盾是该区域面临的主要问题之一。研究表明,景观尺度是影响丹顶鹤生境选择的主要尺度,其中翅碱蓬滩涂、怪柳-翅碱蓬滩涂、芦苇沼泽、明水面等生境类型在保护区内的景观组成和面积大小对丹顶鹤生境选择的最为重要,为此,建议在今后保护区丹顶鹤生境保护中,加强对翅碱蓬滩涂、芦苇沼泽等丹顶鹤赖以生存的湿地生境的保护,维持或扩大其现有生境面积,同时确保湿地生境的水分来源。本研究的等级划分结果中,道路密度独立解释的变异和 Z 值分别为 10.41% 和 13.50, Z 值远高于显著水平。这表明保护区油田和农业开发所带来的道路建设等也是影响丹顶鹤生境选择的重要因素。建议保护区在加强湿地生境保护的同时,也要加强对人为干扰的管理,采取有效措施规范在保护区内的油田和农业开发活动。

References:

- [1] Cody M L. Habitat Selection in Birds. London: Academic Press, 1985.
- [2] Yang W L, Zhong W Q, Gao X Y. A review of studies on avian habitat selection. *Arid Zone Research*, 2000, 17(3): 71-78.
- [3] Jones J. Habitat selection studies in avian ecology, a critical review. *The Auk*, 2001, 118(2): 557-562.
- [4] Kristan W B III. Sources and expectations for hierarchical structure in bird-habitat associations. *The Condor*, 2006, 108(1): 5-12.
- [5] Cushman S A, McGarigal K. Hierarchical, multi-scale decomposition of species-environment relationships. *Landscape Ecology*, 2002, 17(7): 637-646.
- [6] Cushman S A, McGarigal K. Hierarchical analysis of forest bird species-environment relationships in the Oregon Coast Range. *Ecological Applications*, 2004, 14(4): 1090-1105.
- [7] Grand J, Cushman S A. A multi-scale analysis of species-environment relationships: breeding birds in a pitch pine-scrub oak (*Pinus rigida-Quercus ilicifolia*) community. *Biological Conservation*, 2003, 112(3): 307-317.
- [8] Lawler J J, Edward T C Jr. A variance-decomposition approach to investigating multiscale habitat associations. *The Condor*, 2006, 108(1): 47-58.
- [9] Coreau A, Martin J L. Multi-scale study of bird species distribution and of their response to vegetation change: a Mediterranean example. *Landscape Ecology*, 2007, 22(5): 747-764.
- [10] IUCN 2011. IUCN Red List of threatened species. Version 2011. 1. [2011-7-20]. <http://www.iucn.org/species-of-the-day>.
- [11] Li F, Yang H J, Zhang H H, Gao Z X. The nest-site selection by red-crowned crane in the zhalong wetland. *Journal of Northeast Forestry*

- University, 1999, 27(6): 57-60.
- [12] Wan D M, Gao W, Wang Q Y, Wang H T, Liu Y M. Effects of habitat fragmentation on nesting site selection of red-crowned crane. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(5): 581-584.
- [13] Zou H F, Wu Q M, Ma J Z. The nest-site selection of Red-crowned crane in Zhalong Nature Reserve after burning and irrigating. Journal of Northeast Forestry University(Natural Science Edition), 2003, 35(1): 54-59.
- [14] Su Y, Hu Y M, Leng W F, Zhu S Y, Shan K. Habitat selection of red-crowned crane in Yellow River Delta. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(8): 954-958.
- [15] Cao M C, Liu G H, Shan K, Hou Y X, Wang M C, Li D L, Shen W M. A multi-scale assessment of habitat suitability of red-crowned crane at the Yellow River Delta Nature Reserve, Shandong, China. Biodiversity Science, 2010, 18(3): 283-291.
- [16] Zhao Y M, Song C S. Scientific Survey of the Yellow River Delta Nature Reserve. Beijing: Chinese Forestry Press, 1995.
- [17] Cao M C, Liu G H. Habitat suitability change of red-crowned crane in yellow river delta nature reserve. Journal of Forestry Research, 2008, 19(2): 141-147.
- [18] Mac Nally R. Multiple regression and inference in ecology and conservation biology: further comments on identifying important predictor variables. Biodiversity and Conservation, 2002, 11(8): 1397-1401.
- [19] Walsh C, Mac Nally R. The hier. part package. Hierarchical Partitioning. R project for statistical computing. 2007-04-12 [2011-07-24]. <http://cran.r-project.org/>.
- [20] Levin S A. The problem of pattern and scale in ecology: the Robert H. MacArthur Award lecture. Ecology, 1992, 73(6): 1943-1967.
- [21] Zhang M H, Li Y K. The temporal and spatial scales in animal habitat selection research. Acta Theriologica Sinica, 2005, 25(4): 395-401.

参考文献:

- [2] 杨维康, 钟文勤, 高行宜. 鸟类栖息地选择研究进展. 干旱区研究, 2000, 17(3): 71-78.
- [11] 李枫, 杨红军, 张洪海, 高中信. 扎龙湿地丹顶鹤巢址选择研究. 东北林业大学学报, 1999, 27(6): 57-60.
- [12] 万冬梅, 高玮, 王秋雨, 王海涛, 刘明玉. 生境破碎化对丹顶鹤巢位选择的影响. 应用生态学报, 2002, 13(5): 581-584.
- [13] 邹红菲, 吴建明, 马建章. 扎龙保护区火烧及湿地注水后丹顶鹤 (*Grus japonensis*) 巢址选择. 东北师范大学学报(自然科学版), 2003, 35(1): 54-59.
- [14] 舒莹, 胡远满, 冷文芳, 朱书玉, 单凯. 黄河三角洲丹顶鹤秋冬季生境选择机制. 生态学杂志, 2006, 25(8): 954-958.
- [15] 曹铭昌, 刘高焕, 单凯, 侯银蓄, 王明春, 李东来, 申文明. 基于多尺度的丹顶鹤生境适宜性评价——以黄河三角洲自然保护区为例. 生物多样性, 2010, 18(3): 283-291.
- [16] 赵延茂, 宋朝枢. 黄河三角洲自然保护区科学考察集. 北京: 中国林业出版社, 1995: 115-117.
- [21] 张明海, 李言阔. 动物生境选择研究中的时空尺度. 兽类学报, 2005, 25(4): 395-401.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 21 November, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Landscape spatial analysis of a traditional tibetan settlement based on landscape pattern theory and feng-shui theory; the case of Zhagana, Diebu, Gansu Province	SHI Lisha, YAN Lijiao, HUANG Lu, et al (6305)
Temporal-spatial differentiation and its change in the landscape ecological security of Wuyishan Scenery District	YOU Weibin, HE Dongjin, WU Liyun, et al (6317)
Evaluation of eco-sustainability of roads in a tourism area; a case study within Yulong County	JIANG Yiyi (6328)
Study on the compactness assessment model of urban spatial form	ZHAO Jingzhu, SONG Yu, SHI Longyu, et al (6338)
A multi-scale analysis of red-crowned crane's habitat selection at the Yellow River Delta Nature Reserve, Shandong, China	CAO Mingchang, LIU Gaohuan, XU Haigen (6344)
Assessment and spatial distribution of water and soil loss in karst regions, southwest China	FAN Feide, WANG Kelin, XIONG Ying, et al (6353)
Construction of an eco-environmental database for watershed-scale data; an example from the Tarim River Basin	GAO Fan, YAN Zhenglong, HUANG Qiang (6363)
Reproductive allocation in dioecious shrub, <i>Rhamnus davurica</i>	WANG Juan, ZHANG Chunyu, ZHAO Xiuhai, et al (6371)
Age-dependent growth responses of <i>Pinus koraiensis</i> to climate in the north slope of Changbai Mountain, North-Eastern China	WANG Xiaoming, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (6378)
Fine-scale spatial point patterns of <i>Stipa krylovii</i> population in different alpine degraded grasslands	ZHAO Chengzhang, REN Heng, SHENG Yaping, et al (6388)
Community structure and population regeneration in remnant <i>Ginkgo biloba</i> stands	YANG Yongchuan, MU Jianping, TANG Cindy Q., et al (6396)
Reproductive characteristics and adaptive evolution of pin and thrum flowers in endangered species, <i>Primula merrilliana</i>	SHAO Jianwen, ZHANG Wenjuan, ZHANG Xiaoping (6410)
Leaf functional traits of four typical forests along the altitudinal gradients in Mt. Shennongjia	LUO Lu, SHEN Guozhen, XIE Zongqiang, et al (6420)
Reclaimed soil properties and weathered gangue change characteristics under various vegetation types on gangue pile	WANG Liyan, HAN Youzhi, ZHANG Chengliang, et al (6429)
Influence of fire on stands of <i>Pinus massoniana</i> in a karst mountain area of central Guizhou province	ZHANG Xi, CHUI Yingchun, ZHU Jun, et al (6442)
Morphological and physiological adaptation of <i>Caragana</i> species in the Inner Mongolia Plateau	MA Chengcang, GAO Yubao, LI Qingfang, et al (6451)
A comparative study on reasons of degenerated of <i>Haloxylon ammodendron</i> population in the western part of Gurbantunggut desert	SI Langming, LIU Tong, LIU Bin, et al (6460)
Self-thinning of natural broadleaved forests in Baishilazi Nature Reserve ...	ZHOU Yongbin, YIN You, YIN Mingfang, et al (6469)
Population status and dynamic trends of Amur tiger's prey in Eastern Wandashan Mountain, Heilongjiang Province	ZHANG Changzhi, ZHANG Minghai (6481)
The relationship between the occurrence of Colorado Potato Beetle, <i>Leptinotarsa decemlineata</i> , and rivers based on GIS: a case study of Shawan Country	LI Chao, ZHANG Zhi, GUO Wenchao, et al (6488)
Occurrence dynamics and trajectory analysis of <i>Cnaphalocrocis medinalis</i> Guenée in Xing'an Guangxi Municipality in 2010	JIANG Chunxian, QI Huihui, SUN Mingyang, et al (6495)
Adaptability of B-biotype <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius) to Host Shift	ZHOU Fucui, LI Chuanming, GU Aixiang, et al (6505)
Structural change analysis of cecal bacterial flora in different poultry breeds using PCR-DGGE ...	LI Yongzhu, Yongquan Cui (6513)
Effect of chicken manure-amended copper mine tailings on growth of three leguminous species, soil microbial biomass and enzyme activities	ZHANG Hong, SHEN Zhangjun, YANG Guide, et al (6522)
Physiological response of <i>Microcystis</i> to solar UV radiation	WANG Yan, LI Shanshan, LI Jianhong, et al (6532)
Relationship between cell volume and cell carbon and cell nitrogen for ten common dinoflagellates	WANG Yan, LI Ruixiang, DONG Shuanglin, et al (6540)
The community structure and abundance of microcystin-producing cyanobacteria in surface sediment of Lake Taihu in winter	LI Daming, KONG Fanxiang, YU Yang, et al (6551)
Influence of green belt structure on the dispersion of particle pollutants in street canyons	LIN Yinding, WU Xiaogang, HAO Xingyu, et al (6561)
Spatio-temporal variation analysis of urbanization and land use benefit of oasis urban areas in Xinjiang	YANG Yu, LIU Yi, DONG Wen, et al (6568)
Nitrate contamination and source tracing from NO_3^- - $\delta^{15}\text{N}$ in groundwater in Weifang, Shandong Province	XU Chunying, LI Yuzhong, LI Qiaozhen, et al (6579)
The impact of rising temperature on spring wheat production in the Yellow River irrigation region of Ningxia	XIAO Guoju, ZHANG Qiang, ZHANG Fengju, et al (6588)
A new hyperspectral index for the estimation of nitrogen contents of wheat canopy	LIANG Liang, YANG Minhua, DENG Kaidong, et al (6594)
The feature of N_2O emission from a paddy field in irrigation area of the Yellow River	ZHANG Hui, YANG Zhengli, LUO Liangguo, et al (6606)
Review and Monograph	
Research perspective for the effects of nitrogen deposition on biogenic volatile organic compounds	HUANG Juan, MO Jiangming, KONG Guohui, et al (6616)
Recruitment limitation of plant population: from seed production to sapling establishment	LI Ning, BAI Bing, LU Changhu (6624)
Scientific Note	
Response of anatomical structure and photosynthetic characteristics to low light stress in leaves of different maize genotypes	DU Chengfeng, LI Chaohai, LIU Tianxue, et al (6633)

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 21 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 21 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