

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第31卷 第20期 Vol.31 No.20 **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 20 期 2011 年 10 月 (半月刊)

## 目 次

- 洋山港潮间带大型底栖动物群落结构及多样性..... 王宝强,薛俊增,庄 骅,等 (5865)
- 天津近岸海域夏季大型底栖生物群落结构变化特征..... 冯剑丰,王秀明,孟伟庆,等 (5875)
- 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析..... 薛亚东,李 丽,李迪强,等 (5886)
- 三江平原湿地鸟类丰富度的空间格局及热点地区保护..... 刘吉平,吕宪国 (5894)
- 江苏沿海地区耕地景观生态安全格局变化与驱动机制 ..... 王 千,金晓斌,周寅康 (5903)
- 广州市主城区树冠覆盖景观格局梯度..... 朱耀军,王 成,贾宝全,等 (5910)
- 景观结构动态变化及其土地利用生态安全——以建三江垦区为例 ..... 林 佳,宋 戈,宋思铭 (5918)
- 基于景观安全格局的香格里拉县生态用地规划..... 李 晖,易 娜,姚文璟,等 (5928)
- 苏南典型城镇耕地景观动态变化及其影响因素..... 周 锐,胡远满,苏海龙,等 (5937)
- 放牧干扰下若尔盖高原沼泽湿地植被种类组成及演替模式..... 韩大勇,杨永兴,杨 杨,等 (5946)
- 放牧胁迫下若尔盖高原沼泽退化特征及其影响因子..... 李 珂,杨永兴,杨 杨,等 (5956)
- 近 20 年广西钦州湾有机污染状况变化特征及生态影响..... 蓝文陆 (5970)
- 万仙山油松径向生长与气候因子的关系 ..... 彭剑峰,杨爱荣,田沁花 (5977)
- 50 年来山东塔山植被与物种多样性的变化 ..... 高 远,陈玉峰,董 恒,等 (5984)
- 热岛效应对植物生长的影响以及叶片形态构成的适应性..... 王亚婷,范连连 (5992)
- 遮荫对濒危植物崖柏光合作用和叶绿素荧光参数的影响..... 刘建锋,杨文娟,江泽平,等 (5999)
- 遮荫对 3 年生东北铁线莲生长特性及品质的影响..... 韩忠明,赵淑杰,刘翠晶,等 (6005)
- 云雾山铁杆蒿茎叶浸提液对封育草地四种优势植物的化感效应..... 王 辉,谢永生,杨亚利,等 (6013)
- 杭州湾滨海滩涂盐基阳离子对植物分布及多样性的影响 ..... 吴统贵,吴 明,虞木奎,等 (6022)
- 藏北高寒草原针茅属植物 AM 真菌的物种多样性..... 蔡晓布,彭岳林,杨敏娜,等 (6029)
- 成熟马占相思林的蒸腾耗水及年际变化..... 赵 平,邹绿柳,饶兴权,等 (6038)
- 荆条叶性状对野外不同光环境的表型可塑性..... 杜 宁,张秀茹,王 炜,等 (6049)
- 短期极端干旱事件干扰后退化沙质草地群落恢复力稳定性的测度与比较..... 张继义,赵哈林 (6060)
- 滨海盐碱地土壤质量指标对生态改良的响应..... 单奇华,张建锋,阮伟建,等 (6072)
- 退化草地阿尔泰针茅与狼毒种群的小尺度种间空间关联..... 赵成章,任 珩 (6080)
- 延河流域植物群落功能性状对环境梯度的响应 ..... 龚时慧,温仲明,施 宇 (6088)
- 臭氧胁迫使两优培九倒伏风险增加——FACE 研究 ..... 王云霞,王晓莹,杨连新,等 (6098)
- 甘蔗//大豆间作和减量施氮对甘蔗产量、植株及土壤氮素的影响 ..... 杨文亭,李志贤,舒 磊,等 (6108)
- 湿润持续时间对生物土壤结皮固氮活性的影响..... 张 鹏,李新荣,胡宜刚,等 (6116)
- 锌对两个品种茄子果实品质的效应..... 王小晶,王慧敏,王 菲,等 (6125)
- Cd<sup>2+</sup> 胁迫对银芽柳 PS II 叶绿素荧光光响应曲线的影响 ..... 钱永强,周晓星,韩 蕾,等 (6134)
- 紫茉莉对铅胁迫生理响应的 FTIR 研究 ..... 薛生国,朱 锋,叶 晟,等 (6143)

结缕草对重金属镉的生理响应 .....	刘俊祥,孙振元,巨关升,等 (6149)
两种大型真菌子实体对 Cd <sup>2+</sup> 的生物吸附特性 .....	李维焕,孟凯,李俊飞,等 (6157)
富营养化山仔水库沉积物微囊藻复苏的受控因子 .....	苏玉萍,林慧,钟厚璋,等 (6167)
一种新型的昆虫诱捕器及其对长足大竹象的诱捕作用 .....	杨瑶君,刘超,汪淑芳,等 (6174)
光周期对梨小食心虫滞育诱导的影响 .....	何超,孟泉科,花蕾,等 (6180)
农林复合生态系统防护林斑块边缘效应对节肢动物的影响 .....	汪洋,王刚,杜瑛琪,等 (6186)
中国超大城市土地利用状况及其生态系统服务动态演变 .....	程琳,李锋,邓华锋 (6194)
城市综合生态风险评价——以淮北市城区为例 .....	张小飞,王如松,李正国,等 (6204)
唐山市域 1993—2009 年热场变化 .....	贾宝全,邱尔发,蔡春菊 (6215)
基于投影寻踪法的武汉市“两型社会”评价模型与实证研究 .....	王茜茜,周敬宣,李湘梅,等 (6224)
长株潭城市群生态屏障研究 .....	夏本安,王福生,侯方舟 (6231)
基于生态绿当量的城市土地利用结构优化——以宁国市为例 .....	赵丹,李锋,王如松 (6242)
基于 ARIMA 模型的生态足迹动态模拟和预测——以甘肃省为例 .....	张勃,刘秀丽 (6251)
<b>专论与综述</b>	
孤立湿地研究进展 .....	田学智,刘吉平 (6261)
甲藻的异养营养型 .....	孙军,郭术津 (6270)
生态工程领域微生物菌剂研究进展 .....	文娅,赵国柱,周传斌,等 (6287)
我国生态文明建设及其评估体系研究进展 .....	白杨,黄宇驰,王敏,等 (6295)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 440 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 49 * 2011-10	



**封面图说:** 壶口瀑布是黄河中游流经秦晋大峡谷时形成的一个天然瀑布。此地两岸夹山,河底石岩上冲刷成一巨沟,宽达 30 米,深约 50 米,最大瀑面 3 万平方米。滚滚黄水奔流至此,倒悬倾注,若奔马直入河沟,波浪翻滚,惊涛怒吼,震声数里可闻。其形其声如巨壶沸腾,故名壶口。300 余米宽的滚滚黄河水至此突然收入壶口,有“千里黄河一壶收”之说。

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

薛亚东, 李丽, 李迪强, 吴巩胜, 周跃, 吕玺喜. 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析. 生态学报, 2011, 31(20): 5886-5893.

Xue Y D, Li L, Li D Q, Wu G S, Zhou Y, Lv X X. Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(20): 5886-5893.

## 基于景观遗传学的滇金丝猴栖息地连接度分析

薛亚东<sup>1</sup>, 李丽<sup>2,\*</sup>, 李迪强<sup>1</sup>, 吴巩胜<sup>2</sup>, 周跃<sup>2</sup>, 吕玺喜<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 国家林业局森林生态环境重点实验室, 北京 100091;

2. 云南财经大学全球变化与流域管理中心, 昆明 650221)

**摘要:**结合景观遗传学,应用最小费用距离模型对物种栖息地进行连接度分析,能够为生物多样性保护和自然保护区管理提供更加真实准确及可实践操作的指导。选取滇金丝猴这一珍稀濒危物种,结合景观遗传学,应用最小费用距离模型对其栖息地进行了连接度和潜在扩散廊道分析。并且通过连接度的分析和制图绘制出了更为准确的种群间潜在扩散廊道,确定了受人工障碍影响的廊道及敏感区域。结果表明,研究区内的 5 个亚群中,仅 S3 亚群内的 5 个猴群保持着较好的连接度,总体来说,各亚群内的连接度相对于各亚群间连接度保持的较好。除 S3 亚群中猴群间的潜在扩散廊道较为理想外,其余种群间的潜在扩散廊道均受人工斑块的影响,多数廊道被人工障碍阻断,或面临即将被阻断的情况,对于滇金丝猴的扩散交流影响较大。敏感区域多集中在中南部的 3 个亚群间,这些敏感区域应作为景观恢复及保护区规划的重要优先区域。

**关键词:**景观遗传学;连接度;潜在廊道;栖息地;滇金丝猴

### Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics

XUE Yadong<sup>1</sup>, LI Li<sup>2,\*</sup>, LI Diqiang<sup>1</sup>, WU Gongsheng<sup>2</sup>, ZHOU Yue<sup>2</sup>, LV Xixi<sup>2</sup>

1 Institute of Forest Ecology, Environment and Protection, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of Forest Ecology and Environment, State Forestry Administration, Beijing 100091, China

2 Global Change and Watershed Management Center, Yunnan University of Finance and Economics, Kunming 650221, China

**Abstract:** Biodiversity conservation is becoming more challenging and imminent due to rapid habitat loss and fragmentation under ever growing global demand for natural resource. Habitat loss and fragmentation can lower migration rate of a species populations, thereby reducing gene flow and genetic variability, leading to increased risk of extinction. Because of the relationship between genetic diversity and landscape characters, biodiversity conservation research should include study on landscape characteristics and their changes. Thus, conservation efforts should not only focus on a specific species itself, but also consider all components of its habitats. In this paper we discussed the relationship between landscape structure and genetic diversity using the Yunnan snub-nosed monkeys as an example.

Landscape genetics is an interdisciplinary of population genetics, landscape ecology, and spatial statistics. It is used to quantify the effects of landscape characters on population genetic structures. Results from such studies may have great applications for biodiversity conservation and reserve management. There are five major research categories: (1) quantifying influence of landscape variables on genetic variation; (2) identifying barriers to gene flow; (3) identifying source-sink dynamics and movement corridors; (4) understanding the spatial and temporal scale of ecological processes; and (5) testing species-specific ecological hypotheses.

**基金项目:**国家科技支撑计划子专题:生物多样性对气候变化的响应研究(2007BAC03A08-5);林业科技支撑计划子专题(2008BADB0B0203-1);国家自然科学基金(ISIS584763SN;31100351)

收稿日期:2011-04-22; 修订日期:2011-07-14

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lilyzs@gmail.com



Landscape genetics is becoming a popular research area, because it opens the possibility to investigate ecological processes through genetic data and to analyze how these processes operate in the real world. Landscape genetics have heuristic, as well as practical, values in encouraging landscape ecologists to think more about biological processes rather than spatial patterns, and in encouraging population geneticists to consider the quality of a landscape instead of mere spatial distance. The use of molecular genetic is a new research method in testing landscape ecological hypotheses.

The habitat connectivity was studied using a least-cost model and genetic data of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*). We presented the connectivity and the habitat areas that were sensitive to overall connectivity. The Yunnan Snub-nosed Monkeys (*Rhinopithecus bieti*) is one of the rarest species in severe danger. Due to habitat loss and fragmentation, its gene communication was blocked and genetic diversity was threatened. The results show that only monkey groups in S3 were better connected, and other groups were poorly connected. The subpopulations north to S3 were affected by anthropogenic barriers less than the subpopulations south to S3. The potential dispersal corridor between populations was protracted and the important area to restore was located. The sensitive areas were concentrated in subpopulations among S3, S4 and S5 in central and south areas. These sensitive areas should be protect and restore preferential.

Our paper also found that population geneticists could be investigated using landscape ecological data. We proposed that (1) a landscape approach should go beyond testing the effect of distance; (2) disturbance and landscape change could be incorporated into the study design; (3) simulation model might help establish a mechanistic link; (4) the spatial and temporal variability of site conditions was important to explaining quantitative traits and differences.

Under the influence of social and economic development, natural ecosystems are increasingly threatened by disturbances such as habitat degradation, climatic changes, and invasive species etc. It is believed that landscape genetics would bridge researchers from micro- to macro-ecology. Our current focus of the research was landscape connectivity using genetic data, but interdisciplinary communication should be encouraged and facilitated for future study.

**Key Words:** landscape genetics; connectivity; potential corridor; habitat; Yunnan snub-nosed monkey

景观遗传学是一门融合了种群遗传学、景观生态学和空间统计学的新的研究领域,研究者可以通过结合高分辨率的遗传标记和空间数据,利用多种统计方法来评价景观特征在遗传多样性和种群格局形成过程中所起的作用<sup>[1]</sup>。景观遗传学能量化研究景观结构、配置、基质对基因流、空间遗传变异的影响<sup>[2]</sup>,并且对生态学、生物演变和保护有重要意义<sup>[3]</sup>。生物保护学家及管理者关注的是种群间的自然阻隔,要确定进化重要单元,管理单元及保护单元就必须依赖于探测种群的细分<sup>[4-5]</sup>。因此,不管是研究者或自然资源管理者都可以借助景观遗传学这一工具。

当前景观遗传学研究的焦点即是通过关联基因流构型与景观结构,来评估景观对物种运动的促进程度(连接度)。连接度是指景观促进或阻碍生物体或某种生态过程在源斑块间运动的程度,反映了景观的功能特征<sup>[6]</sup>。连接度有利于生物的迁移,并促进遗传和其他对物种生存起重要作用的生物流的交流。连接度可以使物种适应由于环境条件改变所引起的生境变化,所以在减轻气候变化对物种和生态系统的影响方面,连接度也显得尤为重要<sup>[7]</sup>。

物种个体中不确定的遗传变异和当前基因流的评估在统计上是与景观特征相关的,例如假设屏障的存在或物种斑块间迁移的最小费用路径分析<sup>[8]</sup>。复杂景观下种群连接度的预测需要更好的工具,最小费用距离模型是普遍应用的方法之一,通过对不同的生境变量赋予扩散费用,利用地理信息系统(GIS)或其他软件计算生境斑块间的最小费用扩散路径。由于往往缺乏足够的扩散数据,扩散费用通常是由专家知识赋予的,而高精度的遗传数据则能够用于推断动物运动的变化,从而优化最小费用距离模型<sup>[9-10]</sup>。随着分子资源及 GIS 数据的增多,这一方法会有更广泛的运用,尤其是行为难以直接观测物种的研究。基于最小费用模型的评价,可定量地反映景观结构特征与物种扩散过程间的相互作用,准确地描述物种在景观中的扩散阻力或

功能连接度<sup>[11]</sup>。结合景观遗传学,应用最小费用距离模型对物种栖息地进行连接度分析将为生物多样性保护和自然保护区管理提供更为真实准确以及可实践操作的指导。

本文选取滇金丝猴这一珍稀濒危物种,对结合景观遗传学的栖息地连接度分析的方法及应用做了详细论述,旨在探讨以下3个问题(1)如何对种群间的连接度进行定量的评价;(2)如何绘制更为准确地种群间潜在扩散廊道;(3)在恢复廊道及改善连接度时,如何确定重点恢复区域。以期为相关研究和生物多样性保护及自然保护区管理提供参考。

## 1 研究方法

### 1.1 研究区域和种群

滇金丝猴是我国特有的珍稀濒危物种之一,也是海拔分布最高的非人灵长类。滇金丝猴自然种群仅存15个,约1500只。该物种栖息地位于三江并流区域,分布范围东西界为金沙江和澜沧江,分布最北的猴群纬度为29°20'N,最南的一个猴群分布纬度为26°14'N,即分布于云南的德钦、维西、兰坪、丽江和西藏的芒康5县境内,其栖息地相互处于分离状态,成岛屿状分布<sup>[12-14]</sup>。本研究的研究区域为云南境内的所有滇金丝猴种群栖息地,即以滇、藏行政界线为北部界线,大理州的苍山、云龙县界为南部界线,以澜沧江为西部界线,金沙江及其川、滇行政界线为东部界线。研究区域包含了在云南境内的所有已发现滇金丝猴种群,由于缺少西藏的相关数据,研究没有考虑西藏境内的猴群栖息地,研究区内的12个滇金丝猴群分属5个亚群(表1)<sup>[14]</sup>。

表1 云南境内滇金丝猴种群和栖息地<sup>[14]</sup>

Table 1 Population and habitat of monkey in the study area<sup>[14]</sup>

猴群 Group	猴群栖息地 Habitat	种群数量 Number	亚群 Subpopulation
G4	巴美	80	S1
G5	吾牙普牙	220	S2
G6	茨卡通	50	S3
G7	弄资河头、巴迪河头、归龙	85	
G8	同洛河头\施坝	200	
G9	格花箐\响古箐	560	
G10	大草坝各玛、巴保河头、仙人洞	30	
G11	金丝厂	180	S4
G12	大坪子	50	
G13	长岩山	80	S5
G14	拉沙山	50	
G15	龙马山	85	

### 1.2 最小费用距离模型

最小费用距离是最小费用路径的累积费用距离的衡量,是从“源”斑块到目标斑块的最小距离。是指从“源”经过不同阻力的景观所耗费的费用或者克服阻力所作的功,它反映的是一种可达性<sup>[15]</sup>。最小费用距离模型在确定种群连接度和扩散廊道方面已有广泛的应用<sup>[16-18]</sup>,其应用包括:(1)计算种群斑块间潜在扩散路径的相对费用;(2)确定物种种群间扩散的最小费用路径;(3)绘制出这些最可能的路径,以用于自然保护。

滇金丝猴的觅食及生存与植被状况密切相关。研究选取植被类型作为景观变量,即阻力层,考虑不同的植被类型对种群扩散的阻碍作用。利用重分类将研究区植被分为四类:适宜生境、其他林地、灌丛和草甸。其中适宜生境包括云冷杉林和针阔混交林<sup>[19]</sup>;其他林地包括落叶阔叶林、硬叶常绿阔叶林、温凉性针叶林、暖温性针叶林、常绿阔叶林;灌丛包括寒温性灌丛、热性灌丛、稀树灌木草丛;草甸包括高山草甸、亚高山草甸、高山流石滩疏生草甸。把适宜生境的阻力值赋值为1,表示适宜生境对种群扩散的阻力最小,分别对其他林地、灌丛和草甸的每种组合进行递增的赋值,并且采用范围广泛的赋值,然后利用 PATHMATRIX 软件<sup>[20]</sup>针对不同的赋值情景进行最小费用距离的计算,进而得出不同赋值情景下的最小费用距离矩阵(EGD 矩阵)。

### 1.3 遗传数据

种群遗传学能为种群扩散和连接度分析提供方法,如利用高精度的遗传数据(如基因流数据)来进行扩散模型的计算。在最小费用距离模型方面,高精度的遗传数据则能够用于推断动物运动的变化,从而优化最小费用距离模型。基因流就是基因在群体中的运动,当一些个体从一个群体迁移到另一个群体时,它们把自身的基因带到新的群体中,使新的群体的基因组成、基因频率等都有较大的变化。基因在群体间流动的水平越大,群体就会越均匀,或普遍相似<sup>[21]</sup>。常用的基因流指标有  $F_{st}$  值、 $Nm$  值等。

由于缺乏原始的基因流数据  $F_{ST}$  值,研究采用了相关研究<sup>[22]</sup>中两两种群间的遗传距离数据。遗传距离数据利用  $F_{ST}$  数据,由公式  $F_{ST}/(1 - F_{ST})$  计算得出。利用公式,将两两种群间的遗传距离数据转化为基因流数据  $F_{ST}$  值。然后再通过标准 Wright-Fisher 模型  $F_{ST} = 1/(1+4Nm)$  将  $F_{ST}$  值转化为  $Nm$  值,进而得到  $Nm$  值矩阵。

### 1.4 生物廊道

连接度与廊道有着密切关系。当连接度较好时,物种在廊道中迁徙、扩散受到的阻力较小,其觅食、繁殖和生存也会比较容易;当连接度较差时,物种在廊道中迁徙、扩散和觅食将受到更多的限制,运动的阻力较大,生存困难。道路、沟渠、堤坝等人工设施,通常是影响生物廊道连接度的重要因素,而生物廊道上退化或受到破坏的片段也是连接度降低的因素<sup>[23]</sup>。在相互隔离的栖息地之间建立生物廊道,维持景观的完整性是物种保护的一个重要内容。景观规划与设计的任务之一是利用各种方法手段增加连接度,而最主要的方法就是敏感点的定位或设立踏脚石。敏感点或踏脚石一般是廊道中受到人类干扰以及将来的人类活动可能会对生态系统产生重大破坏的地点。

结合景观遗传学,应用最佳模型所得到的最小费用路径即潜在扩散廊道。不同于传统的欧氏几何距离,由于考虑了影响生物廊道的相关因素,如植被类型,从而使廊道的定位更为客观和准确。研究中把得到的最小费用路径(即潜在扩散廊道)叠加到土地利用图上,经专家知识和野外实际勘察将敏感区域定义为路径被人工斑块(包括城镇,栽培植被)阻断,或者路径临近人工斑块,随着城镇化及农田开垦的扩张,会受到扩张影响的区域。

### 1.5 最佳模型的确定

为得到更为客观的模型来进行连接度分析,需要将不同赋值情景下的最小费用距离矩阵(EGD 矩阵)与代表基因流数据的  $Nm$  矩阵进行相关性分析。研究用 Mantel 检验来评价 EGD 矩阵与  $Nm$  矩阵的关系,以确定最佳模型。进行 Mantel 检验所采用的软件是种群遗传学中常用的 Arlequin ver 3.11<sup>[24]</sup>,评价结果选用相关系数  $r$  来衡量。选取相关系数最高时的最小费用模型为最佳模型。

## 2 结果与分析

### 2.1 最佳模型

通过 Mantel 检验,植被类型是其他林地、灌丛和草甸的阻力赋值分别为 3、6、7 时,EGD 矩阵与  $Nm$  矩阵的相关系数  $r$  达到最高的-0.451516,其他赋值情况下的相关系数均低于此值。因此选取阻力赋值分别为 3、6、7 时的最小费用距离模型为最佳模型。最佳模型下的各种群间扩散费用(无量纲)如表 2 所示。

由阻力赋值分别为 3、6、7 时的最小费用距离模型可以看出猴群扩散通过其他森林扩散的费用是适宜生境的 3 倍,而通过灌丛和草甸的扩散费用分别是适宜生境的 6 倍和 7 倍。而专家经验表明,滇金丝猴喜欢在茂密的原始森林中活动,其最优生活环境为亚高山针叶林和针阔混交林,而在被砍伐的空旷平地及灌丛草甸则很少发现其活动踪迹<sup>[25]</sup>。由最小费用距离分析所得到的扩散费用大致与专家知识相吻合。滇金丝猴栖息地扩散费用的分析有助于了解不同阻隔因子对种群扩散的阻隔程度,并且能为恢复成什么样的植被群落才能满足滇金丝猴迁移和扩散的要求提供参考。

### 2.2 连接度分析

在连接度分析中,按照把 5 个亚群作为 5 个管理单元来考虑<sup>[14]</sup>,分别对滇金丝猴各个亚群内,以及各个亚群间进行了研究。综合考虑最小费用距离和人工阻碍(包括城镇和栽培植被)的情况,来定量分析各种群

间的连接度水平。

表 2 滇金丝猴两两种群间扩散费用(×1000)

Table 2 Dispersal cost between every two monkey populations

种群 Group	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11	G12	G13	G14	G15
G4	0.00											
G5	168.31	0.00										
G6	148.06	34.42	0.00									
G7	171.91	52.90	11.82	0.00								
G8	210.36	91.35	50.27	12.55	0.00							
G9	231.53	112.52	71.43	34.02	8.57	0.00						
G10	240.17	121.16	80.07	41.75	9.74	17.22	0.00					
G11	377.45	258.44	217.35	179.03	146.59	152.38	136.33	0.00				
G12	417.71	298.70	257.61	219.29	186.85	192.64	176.59	27.40	0.00			
G13	501.85	382.84	341.75	303.42	270.98	276.21	260.73	122.97	123.67	0.00		
G14	519.28	400.27	359.18	320.86	288.42	294.21	278.16	151.95	154.32	20.52	0.00	
G15	539.72	420.71	379.63	341.30	308.86	314.66	298.60	172.39	174.77	40.96	14.81	0.00

S3 亚群内猴群间的最小费用路径均处于适宜生境范围内,没有受到人工障碍的影响,其连接度是所有猴群中保持的最好的;S4 亚群内 G11、G12 猴群之间扩散的最小费用在 3 个多猴群亚群中相对较高,连接度处于相对中等的水平,这是由于其最小费用路径并非完全处于适宜生境范围内,还要穿过其他林地和草甸等其他植被;S5 亚群内 G13、G14、G15 猴群之间扩散的最小费用距离分别是 20520、14810,其中 G14 与 G15 猴群间由于受到人工栽培植被的影响,最小费用路径被打断,所以其连接度水平较低。总体来说,滇金丝猴各亚群内的连接度相对于各亚群间连接度保持的较好。

S2 亚群与 S3 亚群间猴群扩散的最小费用距离为 34420,连接度为中等水平;亚群 S1 与 S3 间,S1 与 S2 间由于最小费用距离较大,导致连接度水平低;亚群 S3 与 S4,S4 与 S5 间由于受到人工栽培植被的影响,其最小费用路径被打断,导致连接度水平低。与亚群内种群间连接度相比,亚群间连接度都相对较差,可见滇金丝猴各亚群间的连接度都有待提高。

### 2.3 潜在廊道分析

滇金丝猴栖息地最小费用路径,即潜在扩散廊道如图 1 所示,其中 S3 亚群中猴群间的潜在扩散廊道最为理想,其路径完全处于适宜生境范围内,对于滇金丝猴的扩散最为有利;S4 亚群的 G11 和 G12 猴群间的潜在扩散廊道只有部分位于适宜生境内;S5 亚群中猴群间的潜在扩散廊道通过人工斑块的密集区, S5 亚群内的 G14 与 G15 猴群间的地理距离是所有猴群中最近的,但由于受到人工斑块的影响,其扩散交流受到了阻碍。各亚群间的潜在扩散廊道需要通过较为破碎的景观。S1 亚群、S2 亚群与 S3 亚群间有较为破碎的适宜生境,对其扩散可以起到“踏脚石”的作用。S3 亚群与 S4 亚群,S5 亚群间的适宜生境较少,人工斑块较多,对于滇金丝猴的扩散交流阻碍较大。

### 2.4 敏感区域分析

敏感区域多集中在中南部的 3 个亚群当中,如图 1 所示。其中,S3 亚群与 S4 亚群间的潜在扩散廊道由于受人为栽培植被的影响,定位了 3 个敏感区域,从行政区域上来看分属维西和丽江,这两个亚群又分属白马雪山自然保护区和老君山,因此这条潜在廊道的恢复对于滇金丝猴的交流扩散有很重要的作用;S4 亚群与 S5 亚群间的人工斑块较为密集,其间有大面积的人工栽培植被,G11 与 G13 种群间定位了两个敏感区域,G12 与 G13 种群间定位了 3 个敏感区域,分别位于兰坪和剑川境内;S5 亚群内的 G14 与 G15 种群间定位了一个敏感区域,位于兰坪境内。

为改善滇金丝猴种群连接度水平,应尽量将其潜在扩散廊道纳入自然保护区的管理。将定位出的敏感区



域作为优先重点保护区域,在定位出的敏感区域开展植被恢复工作,使潜在扩散廊道起到物种扩散,基因交流的作用。研究区内城镇及农田的扩张应避免危及滇金丝猴的潜在扩散廊道。

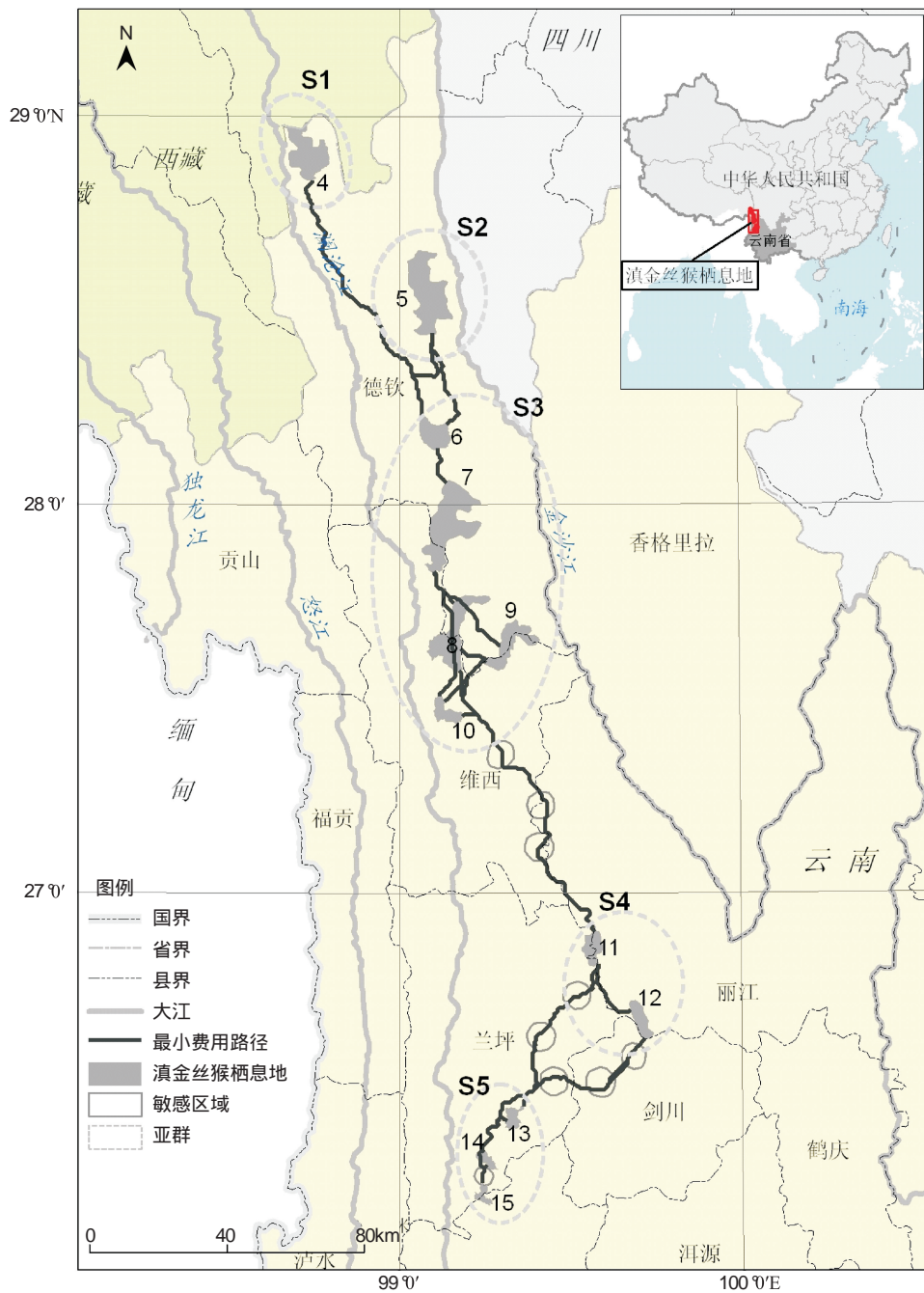


图1 潜在廊道及敏感区域示意图

Fig.1 Potential corridor and sensitive area map

### 3 讨论

潜在扩散廊道的定位对于了解滇金丝猴的扩散,以及对滇金丝猴栖息地的保护和规划具有较大的参考价值。保护区管理和规划中应优先在研究定位的敏感区域恢复适宜生境,以便于种群间的扩散交流。种群间廊道所通过的生境类型的破碎化也对猴群的连接度造成了比较大的影响,因此从保护上应改善其潜在廊道所通过的栖息地质量,提高其连接度水平。廊道与所研究的物种有关,同一廊道对于不同物种的连接度不同。本研究所定位的廊道仅表示滇金丝猴的潜在扩散廊道。由于环境变量选取的单一性,分析结论的验证仍需要大

量的数据以及长期的监测,并且有待进一步的野外观测及对照。

在全球变化的背景下,不断加剧的物种栖息地丧失和破碎化给生物多样性保护带来了新的问题和挑战。景观遗传学的出现和发展为我们的研究和管理提供了一个工具,从微观层面的机理研究到宏观上的管理策略,景观遗传学都可以为景观管理和生物保护提供有意义的参考。景观遗传学已成为当前相关科学领域研究的一个趋势,吸引了众多研究者的注意,因为它提供了一个可能性,即通过利用遗传数据来研究一个生态过程,并且通过对景观生态数据的评估来分析这一生态过程在现实世界的运行。景观遗传学为科学研究带来的益处在于它启发式及实践性的价值<sup>[26]</sup>。

结合景观遗传学,利用最小费用距离模型进行连接度分析的意义在于:(1)最小费用距离模型为定量评价连接度提供了衡量的方法;(2)通过结合遗传数据,能进一步优化最小费用距离模型,从而得到种群间更为真实的潜在扩散廊道;(3)通过连接度的分析和制图,能精确定位出种群扩散受阻碍严重的区域,为廊道恢复及改善连接度提供具体的建议。利用景观遗传学进行连接度的分析,需要注意的是关联基因流构型与景观结构,如何获取更加精确的数据,以及更好的整合相关数据,仍是相关研究进一步的研究重点。

随着 GIS 数据以及遗传数据的日益丰富,结合景观遗传学,利用最小费用距离模型的连接度分析可以引入更多的景观特征如地形因子,气候因子,人工障碍的存在等,并且可以广泛应用于物种生境的研究。研究的下一步工作将考虑气象因子对植被的影响,进而完善和深入课题的研究。对于任何模型而言,要理解不同的景观对扩散的影响,进一步的野外观测和测量是必须的。另外,尽可能更多的整合景观特征,如地形因子,人工障碍等因素,将其引入模型,综合计算其对扩散的影响,会使分析更具真实性及实践性。

#### References:

- [ 1 ] Storfer A, Murphy M A, Evans J S, Goldberg C S, Robinson S, Spear S F, Dezzani R, Delmelle E, Vierling L, Waits L P. Putting the 'landscape' in landscape genetics. *Heredity*, 2007, 98(3): 128-142.
- [ 2 ] Fu B J, Lu Y H, Chen L D, Su C H, Yao X L, Liu Y. The latest progress of landscape ecology in the world. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 798-804.
- [ 3 ] Manel S, Schwartz M K, Luikart G, Taberlet P. Landscape genetics: combining landscape ecology and population genetics. *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18(4): 189-197.
- [ 4 ] Crandall K A, Bininda-Emonds O R P, Mace G M, Wayne R K. Considering evolutionary processes in conservation biology. *Trends in Ecology and Evolution*, 2000, 15(7): 290-295.
- [ 5 ] Moritz C. Strategies to protect biological diversity and the evolutionary processes that sustain it. *Systematic Biology*, 2002, 51(2): 238-254.
- [ 6 ] Wu C G, Zhou Z X, Wang P C, Xiao W F, Teng M J. The concept and measurement of landscape connectivity and its applications. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(7): 1903-1910.
- [ 7 ] Saura S, Torné J. Conefor Sensinode 2. 2: a software package for quantifying the importance of habitat patches for landscape connectivity. *Environmental Modelling and Software*, 2009, 24(1): 135-139.
- [ 8 ] Holderegger R, Wagner H H. Landscape genetics. *Bioscience*, 2008, 58(3): 199-207.
- [ 9 ] Epps C W, Wehausen J D, Bleich V C, Torres S G, Brashares J S. Optimizing dispersal and corridor models using landscape genetics. *Journal of Applied Ecology*, 2007, 44(4): 714-724.
- [ 10 ] Wang I J, Savage W K, Shaffer H B. Landscape genetics and least-cost path analysis reveal unexpected dispersal routes in the California tiger salamander (*Ambystoma californiense*). *Molecular Ecology*, 2009, 18(7): 1365-1374.
- [ 11 ] Wu C G, Zhou Z X, Wang P C, Xiao W F, Teng M J, Peng L. Evaluation of landscape connectivity based on least-cost model. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(8): 2042-2048.
- [ 12 ] Long Y C, Zhong T, Xiao L. Study on geographical distribution and population of the Yunnan snub nosed monkey. *Zoological Research*, 1996, 17(4): 437-441.
- [ 13 ] Nian B, Wang J L, Yang S J. The image previous process in study the habitat fragmentation of Yunnan snub-nosed monkey. *Journal of Guizhou University: Natural Sciences*, 2003, 20(2): 190-195.
- [ 14 ] Liu Z J, Ren B P, Wei F W, Long Y C, Hao Y L, Li M. Phylogeography and population structure of the Yunnan snub-nosed monkey (*Rhinopithecus bieti*) inferred from mitochondrial control region DNA sequence analysis. *Molecular Ecology*, 2007, 16(16): 3334-3349.

- [15] Li J H, Liu X H. Research of the nature reserve zonation based on the least-cost distance model. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(2): 217-224.
- [16] Ray N, Lehmann A, Joly P. Modeling spatial distribution of amphibian populations: a GIS approach based on habitat matrix permeability. *Biodiversity and Conservation*, 2002, 11(12): 2143-2165.
- [17] Sutcliffe O L, Bakkestuen V, Fry G, Stabbetorp E. Modelling the benefits of farmland restoration: methodology and application to butterfly movement. *Landscape and Urban Planning*, 2003, 63(1): 15-31.
- [18] Nikolakaki P. A GIS site-selection process for habitat creation: estimating connectivity of habitat patches. *Landscape and Urban Planning*, 2004, 68(1): 77-94.
- [19] Long Y C, Kirkpatrick C R, Zhong T, Xiao L. Report on the distribution, population, and ecology of the Yunnan snub-nosed monkey (*Rhinopithecus bieti*). *Primates*, 1994, 35(2): 241-250.
- [20] Ray N. PATHMATRIX: a GIS tool to compute effective distances among samples. *Molecular Ecology Notes*, 2005, 5(1): 177-180.
- [21] Qu R Z, Hou L, Lv H L, Li H Y. The gene flow of population genetic structure. *Hereditas*, 2004, 26(3): 377-382.
- [22] Liu Z J, Ren B P, Wu R D, Zhao L, Hao Y L, Wang B S, Wei F W, Long Y C, Li M. The effect of landscape features on population genetic structure in Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) implies an anthropogenic genetic discontinuity. *Molecular Ecology*, 2009, 18(18): 3831-3846.
- [23] Dong Q. Linear manmade structures, landscape fragmentation, and ecological consequences // *Lectures in Modern Ecology IV. Theory and Applications*. Beijing: Higher Education Press, 2009: 270-289.
- [24] Excoffier L, Laval G, Schneider S. Arlequin (version 3.0): an integrated software package for population genetics data analysis. *Evolutionary Bioinformatics Online*, 2005, 1(1): 47-50.
- [25] Ge T A. A preliminary study on the behavior and some ecological habits of the golden monkey in the field. *Journal of Changsha University of Science and Technology*, 1988, 3(2): 71-76.
- [26] Holderegger R, Wagner H H. A brief guide to landscape genetics. *Landscape Ecology*, 2006, 21(6): 793-796.

#### 参考文献:

- [2] 傅伯杰, 吕一河, 陈利顶, 苏常红, 姚雪玲, 刘宇. 国际景观生态学研究新进展. *生态学报*, 2008, 28(2): 798-804.
- [6] 吴昌广, 周志翔, 王鹏程, 肖文发, 滕明君. 景观连接度的概念、度量及其应用. *生态学报*, 2010, 30(7): 1903-1910.
- [11] 吴昌广, 周志翔, 王鹏程, 肖文发, 滕明君, 彭丽. 基于最小费用模型的景观连接度评价. *应用生态学报*, 2009, 20(8): 2042-2048.
- [12] 龙勇诚, 钟泰, 肖李. 滇金丝猴地理分布、种群数量与相关生态学的研究. *动物学研究*, 1996, 17(4): 437-441.
- [13] 年波, 王金亮, 杨士剑. 滇金丝猴生境破碎化研究中的遥感影像预处理. *贵州大学学报: 自然科学版*, 2003, 20(2): 190-195.
- [15] 李纪宏, 刘雪华. 基于最小费用距离模型的自然保护区功能分区. *自然资源学报*, 2006, 21(2): 217-224.
- [21] 曲若竹, 侯林, 吕红丽, 李海燕. 群体遗传结构中的基因流. *遗传*, 2004, 26(3): 377-382.
- [23] 董全. 线性人工设施、景观破碎化及其生态效应 // *现代生态学讲座 IV. 理论与实践*. 北京: 高等教育出版社, 2009: 270-289.
- [25] 葛桃安. 金丝猴 (*Rhinopithecus roxellanae*) 的野外行为生态学的初步研究. *长沙水电师院学报*, 1988, 3(2): 71-76.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31 ,No. 20 October ,2011 ( Semimonthly)

CONTENTS

Community structure and diversity of macrobenthos in the intertidal zones of Yangshan Port ..... WANG Baoqiang, XUE Junzeng, ZHUANG Hua, et al (5865)

Variation characteristics of macrobenthic communities structure in tianjin coastal region in summer ..... FENG Jianfeng, WANG Xiuming, MENG Weiqing, et al (5875)

Analysis of habitat connectivity of the Yunnan snub-nosed monkeys (*Rhinopithecus bieti*) using landscape genetics ..... XUE Yadong, LI Li, LI Diqiang, WU Gongsheng, et al (5886)

Study on the spatial pattern of wetland bird richness and hotspots in Sanjiang Plain ..... LIU Jiping, LÜ Xianguo (5894)

Dynamic analysis of coastal region cultivated land landscape ecological security and its driving factors in Jiangsu ..... WANG Qian, JIN Xiaobin, ZHOU Yinkang (5903)

Landscape pattern gradient on tree canopy in the central city of Guangzhou, China ..... ZHU Yaojun, WANG Cheng, JIA Baoquan, et al (5910)

Research on dynamic changes of landscape structure and land use eco-security; a case study of Jiansanjiang land reclamation area ..... LIN Jia, SONG Ge, SONG Siming (5918)

Shangri-La county ecological land use planning based on landscape security pattern ..... LI Hui, YI Na, YAO Wenjing, WANG Siqi, et al (5928)

Changes of paddy field landscape and its influence factors in a typical town of south Jiangsu Province ..... ZHOU Rui, HU Yuanman, SU Hailong, et al (5937)

Species composition and succession of swamp vegetation along grazing gradients in the Zoige Plateau, China ..... HAN Dayong, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5946)

Characteristics and influence factors of the swamp degradation under the stress of grazing in the Zoige Plateau ..... LI Ke, YANG Yongxing, YANG Yang, et al (5956)

Variation of organic pollution in the last twenty years in the Qinzhou bay and its potential ecological impacts ..... LAN Wenlu (5970)

Response of radial growth Chinese pine (*Pinus tabulaeformis*) to climate factors in Wanxian Mountain of He'nan Province ..... PENG Jianfeng, YANG Airong, TIAN Qinhua (5977)

Vegetation and species diversity change analysis in 50 years in Tashan Mountain, Shandong Province, China ..... GAO Yuan, CHEN Yufeng, DONG Heng, et al (5984)

Effect of urban heat island on plant growth and adaptability of leaf morphology constitute ..... WANG Yating, FAN Lianlian (5992)

Effects of shading on photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters in leaves of the endangered plant *Thuja sutchuenensis* ..... LIU Jianfeng, YANG Wenjuan, JIANG Zeping, et al (5999)

Effects of shading on growth and quality of triennial *Clematis manshurica* Rupr. .... HAN Zhongming, ZHAO Shujie, LIU Cuijing, et al (6005)

Allelopathic effect of extracts from *Artemisia sacrorum* leaf and stem on four dominant plants of enclosed grassland on Yunwu Mountain ..... WANG Hui, XIE Yongsheng, YANG Yali, et al (6013)

Effects of soil base cation composition on plant distribution and diversity in coastal wetlands of Hangzhou Bay, East China ..... WU Tonggui, WU Ming, YU Mukui, et al (6022)

Species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi of *Stipa* L. in alpine grassland in northern Tibet in China ..... CAI Xiaobu, PENG Yuelin, YANG Minna, et al (6029)

Water consumption and annual variation of transpiration in mature *Acacia mangium* Plantation ..... ZHAO Ping, ZOU Lvliu, RAO Xingquan, et al (6038)

Foliar phenotypic plasticity of a warm-temperate shrub, *Vitex negundo* var. *heterophylla*, to different light environments in the field ..... DU Ning, ZHANG Xiuru, WANG Wei, et al (6049)



An case study on vegetation stability in sandy desertification land; determination and comparison of the resilience among communities after a short period of extremely aridity disturbanc .....	ZHANG Jiyi, ZHAO Halin (6060)
Response of soil quality indicators to comprehensive amelioration measures in coastal salt-affected land .....	SHAN Qihua, ZHANG Jianfeng, RUAN Weijian, et al (6072)
Fine-scale spatial associations of <i>Stipa krylovii</i> and <i>Stellera chamaejasme</i> population in alpine degraded grassland .....	ZHAO Chengzhang, REN Heng (6080)
The response of community-weighted mean plant functional traits to environmental gradients in Yanhe river catchment .....	GONG Shihui, WEN Zhongming, SHI Yu (6088)
Ozone stress increases lodging risk of rice cultivar Liangyoupeijiu; a FACE study .....	WANG Yunxia, WANG Xiaoying, YANG Lianxin, et al (6098)
Effect of sugarcane//soybean intercropping and reduced nitrogen rates on sugarcane yield, plant and soil nitrogen .....	YANG Wenting, LI Zhixian, SHU Lei, et al (6108)
Effect of wetting duration on nitrogen fixation of biological soil crusts in Shapotou, Northern China .....	ZHANG Peng, LI Xinrong, HU Yigang, et al (6116)
Effects of zinc on the fruits' quality of two eggplant varieties .....	WANG Xiaojing, WANG Huimin, WANG Fei, et al (6125)
Rapid light-response curves of PS II chlorophyll fluorescence parameters in leaves of <i>Salix leucopithecia</i> subjected to cadmium-ion stress .....	QIAN Yongqiang, ZHOU Xiaoxing, HAN Lei, et al (6134)
Physiological Response of <i>Mirabilis jalapa</i> Linn. to Lead Stress by FTIR Spectroscopy .....	XUE Shengguo, ZHU Feng, YE Sheng, et al (6143)
Physiological response of <i>Zoysia japonica</i> to Cd <sup>2+</sup> .....	LIU Junxiang, SUN Zhenyuan, JU Guansheng, et al (6149)
Biosorption of Cd <sup>2+</sup> using the fruiting bodies of two macrofungi .....	LI Weihuan, MENG Kai, LI Junfei, et al (6157)
Factors regulating recruitment of <i>Microcystis</i> from the sediments of the eutrophic Shanzai Reservoir .....	SU Yuping, LIN Hui, ZHONG Houzhang, et al (6167)
A new type of insect trap and its trapping effect on <i>Cyrtotrachelus buqueti</i> .....	YANG Yaojun, LIU Chao, WANG Shufang, et al (6174)
Photoperiod influences diapause induction of Oriental Fruit Moth(Lepidoptera: Tortricidae) .....	HE Chao, MENG Quanke, HUA Lei, et al (6180)
Influence of edge effects on arthropods communities in agroforestry ecological systems .....	WANG Yang, WANG Gang, DU Yingqi, et al (6186)
Dynamics of land use and its ecosystem services in China's megacities .....	CHENG Lin, LI Feng, DENG Huafeng (6194)
Comprehensive assessment of urban ecological risks; the case of Huaibei City .....	CHANG Hsiaofoei, WANG Rusong, LI Zhengguo, et al (6204)
The dynamics of surface heat status of Tangshan City in 1993—2009 .....	JIA Baoquan, QIU Erfa, CAI Chunju (6215)
A projection-pursuit based model for evaluating the resource-saving and environment-friendly society and its application to a case in Wuhan .....	WANG Qianqian, ZHOU Jingxuan, LI Xiangmei, et al (6224)
Research on ecological barrier to Chang-Zhu-Tan metropolitan area .....	XIA Benan, WANG Fusheng, HOU Fangzhou (6231)
Optimization of urban land structure based on ecological green equivalent; a case study in Ningguo City, China .....	ZHAO Dan, LI Feng, WANG Rusong (6242)
Dynamic ecological footprint simulation and prediction based on ARIMA Model; a case study of Gansu Province, China .....	ZHANG Bo, LIU Xiuli (6251)
<b>Review and Monograph</b>	
A prospect for study on isolated wetland .....	TIAN Xuezhi, LIU Jiping (6261)
Dinoflagellate heterotrophy .....	SUN Jun, GUO Shujin (6270)
Research progress of microbial agents in ecological engineering .....	WEN Ya, ZHAO Guozhu, ZHOU Chuanbin, et al (6287)
The progress of ecological civilization construction and its indicator system in China .....	BAI Yang, HUANG Yuchi, WANG Min, et al (6295)

# 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 20 期 (2011 年 10 月)

## ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 31 No. 20 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  
**主 管** 中国科学技术协会  
**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

**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**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  
**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@espg.net

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China  
**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@espg.net

**订 购** 全国各地邮局  
**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

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**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