

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第3期 Vol.33 No.3 **2013**

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33卷第3期

2013年2月 (半月刊)

目次

生态系统服务功能模拟与管理

- 保障自然资本与人类福祉:中国的创新与影响 Gretchen C. Daily, 欧阳志云, 郑 华, 等 (669)
- 建立我国生态补偿机制的思路与措施 欧阳志云, 郑 华, 岳 平 (686)
- 区域生态合作机制下的可持续农户生计研究——以“稻改旱”项目为例 梁义成, 刘 纲, 马东春, 等 (693)
- 生态系统服务功能管理研究进展 郑 华, 李屹峰, 欧阳志云, 等 (702)
- 白洋淀流域生态系统服务评估及其调控 白 杨, 郑 华, 庄长伟, 等 (711)
- 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析 徐 佩, 王玉宽, 杨金凤, 等 (718)
- 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例 李屹峰, 罗跃初, 刘 纲, 等 (726)
- 森林生态效益税对陕西省产业价格水平的影响 黎 洁, 刘峥男, 韩秀华 (737)
- 海南岛生态系统土壤保持功能空间特征及影响因素 饶恩明, 肖 燚, 欧阳志云, 等 (746)
- 居民对文化林生态系统服务功能的认知与态度 高 虹, 欧阳志云, 郑 华, 等 (756)
- 青海省三江源自然保护区生态移民补偿标准 李屹峰, 罗玉珠, 郑 华, 等 (764)
- 张家界武陵源风景区自然景观价值评估 成 程, 肖 燚, 欧阳志云, 等 (771)
- 国家生态保护重要区域植被长势遥感监测评估 侯 鹏, 王 桥, 房 志, 等 (780)
- 都江堰市水源涵养功能空间格局 傅 斌, 徐 佩, 王玉宽, 等 (789)
- 汶川地震重灾区生态系统碳储存功能空间格局与地震破坏评估 彭 怡, 王玉宽, 傅 斌, 等 (798)

前沿理论与学科综述

- “波特假说”——生态创新与环境管制的关系研究述评 董 颖, 石 磊 (809)
- 生态环境保护与福祉 李惠梅, 张安录 (825)
- 丛枝菌根真菌最新分类系统与物种多样性研究概况 王宇涛, 辛国荣, 李韶山 (834)

个体与基础生态

- “蒸发悖论”在秦岭南北地区的探讨 蒋 冲, 王 飞, 刘思洁, 等 (844)
- 内蒙古荒漠草原主要草食动物食性及其营养生态位 刘贵河, 王国杰, 汪诗平, 等 (856)
- 基于面向对象及光谱特征的植被信息提取与分析 崔一娇, 朱 琳, 赵力娟 (867)
- 桉树叶片光合色素含量高光谱估算模型 张永贺, 陈文惠, 郭乔影, 等 (876)
- 枫杨幼苗对土壤水分“湿-干”交替变化光合及叶绿素荧光的响应 王振夏, 魏 虹, 吕 茜, 等 (888)
- 模拟淹水对杞柳生长和光合特性的影响 赵竑绯, 赵 阳, 张 驰, 等 (898)
- 梨枣花果期耗水规律及其与茎直径变化的相关分析 张琳琳, 汪有科, 韩立新, 等 (907)
- 基于上部叶片 SPAD 值估算小麦氮营养指数 赵 犇, 姚 霞, 田永超, 等 (916)

种群、群落和生态系统

- 我国南亚热带几种人工林生态系统碳氮储量 王卫霞, 史作民, 罗 达, 等 (925)

低效柏木纯林不同改造措施对水土保持功能的影响..... 黎燕琼,龚固堂,郑绍伟,等 (934)

浙江紧水滩水库浮游植物群落结构季节变化特征..... 张 华,胡鸿钧,晁爱敏,等 (944)

黑龙江凤凰山国家级自然保护区野猪冬季容纳量及最适种群密度 孟根同,张明海,周绍春 (957)

云南苍山火烧迹地不同恢复期地表蜘蛛群落多样性..... 马艳滢,李 巧,冯 萍,等 (964)

景观、区域和全球生态

基于综合气象干旱指数的石羊河流域近 50 年气象干旱特征分析 张调风,张 勃,王有恒,等 (975)

基于 CLUE-S 模型的湟水流域土地利用空间分布模拟 冯仕超,高小红,顾 娟,等 (985)

研究简报

三大沿海城市群滨海湿地的陆源人类活动影响模式..... 王毅杰,俞 慎 (998)

洋河水库富营养化发展趋势及其关键影响因素..... 王丽平,郑丙辉 (1011)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 350 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 36 * 2013-02



封面图说:卧龙自然保护区核桃坪震后——汶川大地震是新中国成立以来破坏性最强、波及范围最大的一次地震,地震的强度、烈度都超过了 1976 年的唐山大地震。在这次地震中,震区的野外大熊猫受到不同程度的影响,卧龙自然保护区繁育中心的赠台大熊猫团团、圆圆居住的屋舍上方巨石垮塌,房舍全部毁坏,只因两只熊猫在屋外玩耍逃过一劫。不过,圆圆一度因惊恐逃走,失踪 5 天后才被找回来。由于繁育基地两面山体滑坡,竹子短缺等原因,繁育基地只能将大熊猫全部转移下山。

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

DOI: 10.5846/stxb201203260411

徐佩, 王玉宽, 杨金凤, 彭怡. 汶川地震灾区生物多样性热点地区分析. 生态学报, 2013, 33(3): 0718-0725.

Xu P, Wang Y K, Yang J F, Peng Y. Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(3): 0718-0725.

汶川地震灾区生物多样性热点地区分析

徐 佩, 王玉宽*, 杨金凤, 彭 怡

(中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041)

摘要:汶川地震灾区位于长江上游,是我国大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)的主要分布区,被保护国际认定的 25 个全球生物多样性热点地区之一。2008 年 5 月 12 日发生的汶川大地震导致该区域生态环境遭受严重破坏,需要识别生物多样性热点地区,指导灾后生物多样性保护。选取物种生境质量、植被景观多样性指数和物种多样性指数作为评价指标,其中生境质量采用 InVEST 生物多样性模型计算,然后利用空间相关分析中 G 系数进行热点地区分析,探测出灾区生物多样性的热点区,并在此基础上与现有保护区分布、物种生境分布以及 Marxan 模型计算出的优先区进行对比验证。结果显示:热点区范围涉及到现有 76% 的保护区,且保护区内的热点区面积达到灾区所有保护区面积的 55%;在选取的 69 个指示物种中有 60 个物种位于热点区的生境面积占这些物种在灾区的总生境面积的 50% 以上,有 32 个物种在 80% 左右,热点区内的所有指示物种生境总面积占整个灾区指示物种生境总面积的 70% 以上。基于空间相关分析方法得出的热点地区基本上与 Marxan 模型输出的优先保护区范围结果基本一致。但空间相关分析的热点区划分克服了 Marxan 模型优先保护区分布过于离散,孤岛效应明显的不足。

关键词:汶川地震灾区;生物多样性;热点地区;空间相关分析;指示物种

Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area

XU Pei, WANG Yukuan*, YANG Jinfeng, PENG Yi

Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China

Abstract: The Wenchuan earthquake-hit area is located in the Upper Yangtze River, which is the main distribution area of Giant panda (*Ailuropoda melanoleuca*) in China, and is one of the twenty-five hotspots for biodiversity conservation throughout the world defined by Conservation International, providing some important ecological service functions such as biological diversity conservation, water conservation, soil conservation and so on. Meanwhile, it plays an important role in ensuring regional ecological security. However, the eco-environment suffered from severe destruction in the Wenchuan 5.12 earthquake. In order to protect biological diversity in the Wenchuan earthquake-hit area, it is necessary for us to identify the hotspots for biodiversity conservation, which is of vital realistic significance for the government to devote efforts to reconstruction and is beneficial to optimum resource allocation. Firstly, we calculated the integrated biodiversity index and analyzed the spatial distribution of biodiversity, and then applied the index to determine the biodiversity hotspots by spatial analysis. The hotspots established by the spatial correlation method generally are consistent with the conservation priority area based on the Marxan model. The hotspots account for 76% of the existing nature reserve and the hotspots in Nature Reserve account for 55% of all existing Nature Reserves in the Wenchuan earthquake-hit area, and the total habitat area of all indicator species in the hotspots accounts for about 70% of the whole earthquake-hit area. The verification showed that

基金项目:全球环境基金(GEF)——汶川地震灾区恢复与重建中生物多样性保护应急对策项目; GEF 项目长江上游生态功能评估项目; 中挪气候变化与生物多样性研究项目

收稿日期:2012-03-26; 修订日期:2012-12-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: wangyukuan@imde.ac.cn

the spatial correlation method is a reasonable method which can be applied to establishing hotspots. Furthermore, we also found that the spatial correlation analysis method of identifying hotspots is able to overcome the deficiency that the priority area based on the Marxan model is too discrete and islanding. Moreover, the results also showed that there are two biodiversity hotspots, i. e., the Minshan region and southern Qionglai mountain region. Maoxian Country lies at the junction of the two hotspots in the Wenchuan earthquake-hit area, so it is recommended to set aside a certain natural area as an ecological corridor between these two biodiversity hotspots. The biodiversity hotspots identified by the spatial correlation method can provide the decision-making basis for biodiversity conservation and depressing the influence on biodiversity in the processes of restoration and reconstruction in the Wenchuan earthquake-hit area.

Key Words: Wenchuan earthquake-hit area; biodiversity; hotspot; spatial correlation analysis; indicator species

生物多样性是人类赖以生存的物质基础^[1]。但目前生物多样性正面临严重威胁。世界自然保护联盟(IUCN)发布的“2004 年濒危物种红色名录”表明, 1/3 的两栖类动物、1/2 以上的龟类、1/8 的鸟类和 1/4 的哺乳动物正面临生存威胁。目前, 全球 15000 多个物种正在消失^[2]。《千年生态系统评估——生物多样性综合报告: 生态系统与人类福祉》中指出, 自工业化初期至今全球渔业资源减少了 90%, 1/3 的两栖动物、1/5 的哺乳动物和 1/4 的针叶林濒临灭绝; 大自然调节气候、空气和水源的能力下降; 自然灾害对人类的冲击越来越多^[3]。因此保护生物多样性实际就是保护人类自身, 是实现区域可持续发展战略的重要保证^[4]。

用于生物多样性保护的人力和财力都是有限的, 对所有区域采取同一水平的保护策略和投资, 既不现实也无必要^[5-6]。为使有限的资源得到最佳配置和利用, 必须找出一些具有显著生物多样性, 同时正受到严重威胁的区域, 即所谓的生物多样性热点地区(hotspot)。生物多样性热点地区被认为是本地物种多样性最丰富的地区或是特有物种集中分布地区^[7-9], 该概念最早是由英国著名生态学家 Norman Myers 于 1988 年在分析热带雨林受威胁程度的基础上提出的^[10], 并于 2000 年根据物种特有程度和受威胁程度提出了全球生物多样性保护的 25 个优先的热点地区^[11]。近年来, 生物多样性热点区成为国内外研究的热点。许多学者从全球、区域及地区等不同尺度, 开展了相关研究^[12-19]。提出了系统保护规划^[20], 生态位模型等新的方法^[21], 并引入了地质学等其他学科的理论^[22]。总体来看, 热点区的识别需要考虑生物多样性的现状以及未来的发展趋势, 结合物种分布与生境质量两方面, 并尽量采用空间分析、数理分析等定量化研究方法。目前基于地理信息系统的统计方法的运用是热点分析的重要趋势, 但在对热点的空间识别过程中, 还主要依靠专家知识, 仅对不同空间要素进行简单叠加, 缺乏对热点区特征的准确描述。

汶川地震灾区位于长江上游地区, 被保护国际认定的 25 个全球生物多样性热点地区之一, 同时提供了栖息地保护、水源涵养、水土保持等多重功能。但受汶川地震的影响, 区域内植被破坏严重, 生物多样性受到极大威胁。交通、定居点、工矿设施的重建使生物多样性保护的进一步增大。识别生物多样性热点地区, 将生物多样性保护纳入灾后重建是恢复和保护该地区生态环境的重要内容。本文采用空间相关方法识别汶川地震灾区的生物多样性保护的热点区, 为灾区生物多样性保护、减少灾后恢复重建对生物多样性的影响提供决策依据, 同时也是对生物多样性保护规划的有益探索。

1 研究区概况

汶川地震重灾区位于四川省西北部, 川西高原向盆地过渡地带(图 1)。由于地势变化明显, 立体气候显著, 生物多样性极为丰富。据不完全统计, 该区域仅高等植物多达 5000 种以上, 拥有国家一级保护植物 10 种, 国家二级保护植物 29 种, 各类资源植物 2000 多种, 拥有国家一级保护动物 14 种, 国家二级保护动物 69 种, 也是我国大熊猫(*Ailuropoda melanoleuca*)的主要分布区。

2 研究方法

2.1 生物多样性指数

选取物种生境质量、植被景观多样性指数和物种多样性指数作为评价指标。其中生境质量采用 InVEST

生物多样性模型计算^[23-24], 关系式如下:

$$\text{Quality_1} = \sum \text{sen_name} \times \text{name_prox} \times \text{legal_access} \times (\text{W_name} / \sum \text{W}) \quad (1)$$

对 Quality_1 进行标准化处理得到 Quality_2

$$\text{Quality_2} = \text{Normalized}(\text{Quality_1}) \quad (2)$$

模型使用 Quality_1 - Quality_2 差值作为生境质量相对得分 (Quality_3)

式中, name 分别代表道路、居民点、铁路、农田和地质灾害威胁因子; sen_name 表示威胁因子的敏感值; name_prox 表示威胁因子的威胁值; legal_access 表示合法可达性; (W_threat name/W) 威胁因子相对权重。

根据灾区物种的生存状况和受威胁的程度, 本文利用李文迪对指示物种的选择和赋值标准^[12], 选择灾区的指示物种并计算指示物种的丰富度指数。

景观多样性指数采用 Shannon-Weiner 多样性指数, 其表达式为:

$$H'_x = - \sum_{i=1}^n P_i \log_2(P_i) \quad (3)$$

式中, H'_x 表示评估单元 x 的植被群系多样性指数, 其值越大表明评估单元内的植被群系统越丰富; P_i 表示评估单元 x 内的植被群系 i 的面积比例; n 为植被群系的数目。

在此基础上, 以栅格为统计单元, 计算生物多样性综合指数, 公式如下:

$$\text{生物多样性指数}(BI_x) = \text{景观类型多样性指数} + \text{物种多样性指数} + \text{生境质量} \quad (4)$$

式中, BI_x 表示栅格单元 x 的生物多样性指数。

将综合得分指数进行最大值标准化, 使得综合得分值指数取值在 0—1 之间。最后利用 ArcGIS 软件以图形的形式将生物多样性指数表现出来, 分析灾区生物多样性空间分布特点。

2.2 热点地区识别

在疾病和人口的热点区的分析中, 空间相关分析的方法已被应用于分析疾病的高发区或人口密集区^[25-31], 这与生物多样性热点地区分析具有很大的相似性。因此本文利用空间相关分析进行热点地区分析, 使用空间统计中最常用的 G_i^* 系数, 它是一种基于距离权矩阵的局部空间自相关指标, 能探测出高值聚集和低值聚集(热点分析)。 G_i^* 由 Ord 和 Getis^[32] 提出:

$$G_i^* = \frac{\sum_j^n W_{ij} x_j}{\sum_j^n x_j} \quad (5)$$

然后对 G_i^* 进行了标准化处理^[29]得到 $Z(G_i^*)$

$$Z(G_i^*) = \frac{G_i^* - E(G_i^*)}{\sqrt{\text{VAR}(G_i^*)}} = \frac{\sum_j W_{ij} x_j - W_i \bar{x}}{s \sqrt{\frac{ns_{1i} - W_i^2}{n-1}}} \quad (6)$$

式中, x_j 表示局部范围内的空间单元的属性值; W_{ij} 是 i, j 单元之间的距离权重, W_i 表示所有距离权之和; $\bar{x}$ 表示给研究区域内所有斑块属性的平均值。其中,

$$s^2 = (\sum_j x_j^2 / n - 1) - (\bar{x})^2 \quad (7)$$

$$s_{1i} = \sum_j W_{ij}^2 \quad (8)$$



图1 汶川地震灾区地理位置示意

Fig. 1 The geographical location of Wenchuan earthquake area

$$\bar{x} = (\sum_j x_j) / (n - 1) \quad (9)$$

$Z(G_i^*) > 0$ 表示单元 i 的邻居的观测值高, $Z(G_i^*) < 0$ 表示单元 i 的邻居的观测值低^[29]。若 $Z(G_i^*) > 2.0$, 规定为高值区; $Z(G_i^*) < -2.0$ 则为低值聚集区的范围, 本文利用 ArcGIS 空间自相关分析计算生物多样性综合指数的聚集程度, 并将 ArcGIS 分析出的高值聚集区作为生物多样性保护的热点区。

3 结果与讨论

3.1 生物多样性指数

图 2 绘出了地震灾区生物多样性综合指数。综合指数高值区集中在龙门山区各县, 其中汶川、宝兴、北川、平武以及青川的生物多样性指数较高; 西部高原边缘区的松潘与小金的多样性指数较高; 山前平原与盆地低山丘陵区的多样性指数普遍较低。其中崇州、都江堰、彭州、什邡、绵竹和安县等各县(市)的平原区生物多样性水平很低, 而山区的生物多样性指数较高, 界线非常清晰, 说明了山区与平原在生物多样性保护功能方面有着较大的差异。

3.2 生物多样性热点区

利用 ArcGIS 热点分析功能对综合指数进行热点分析, 结果如图 3。热点区主要分布在龙门山一带, 基本上可以分为北部的岷山高值区和南部邛崃山高值区两部分。而 $Z(G_i^*) < -2.0$ 的低值区主要分布在山前平原和平原丘陵区。造成这种差异的原因在于: 一是山区地形起伏较大, 在地形的控制下形成的各种小生境为生物多样性提供了物理基础, 二是平原区人类活动剧烈, 生物生境受到人为的干扰强烈。

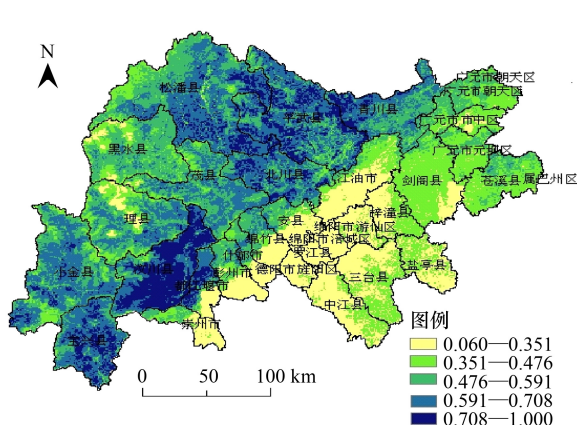


图 2 地震灾区生物多样性指数

Fig. 2 Spatial distribution of biodiversity index in Wenchuan earthquake area

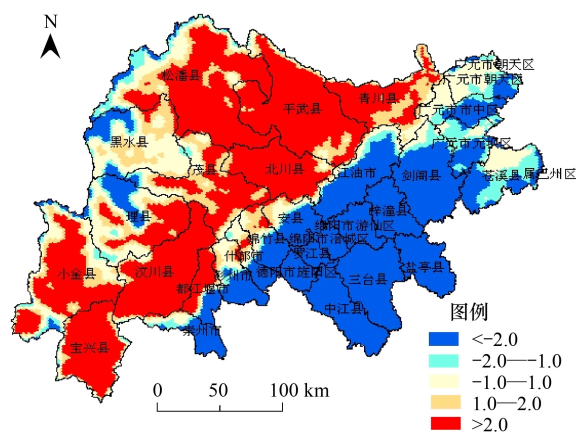


图 3 地震灾区 $Z(G_i^*)$ 指数

Fig. 3 Spatial distribution of $Z(G_i^*)$ in Wenchuan earthquake area

3.3 热点地区与自然保护区的一致性

根据图 4 计算得到的生物多样性热点区的面积 28874.68 km^2 , 占汶川地震灾区总面积的 37.9% , 热点区面积比例较高的原因是山区与平原丘陵区在物种丰度、景观多样性和生境质量方面的差异都很大。导致山区的生物多样性丰富的优势就会在热点分析时明显地体现出来。其中位于各类保护区内的热点区面积 8377.49 km^2 , 占整个热点区面积的 29.01% , 占灾区所有保护区面积的 55% 。在全部 34 个保护区中, 热点区涉及到 26 个保护区。没有划到热点区的保护区, 如睢水海绵礁、闻溪西河湿地、翠云廊古柏和九龙山自然保护区由于其保护级别相对较低, 且位于人为干扰较强烈的平原和丘陵地区, 其周围地区的生境质量以及生物多样性指数较低, 这些因素共同作用影响了它们进入热点区。海拔较高的保护区由于植被覆盖度低, 影响了其进入热点区范围内。

3.4 热点地区与物种分布的关系

虽然热点区面积仅占整个灾区面积 37.9% , 但对指示物种生境的覆盖比例却比较高, 在选取的 69 个指

示物种中有 60 个物种,其位于热点区的生境面积占其位于灾区的总生境面积的 50% 以上,包括了全部的 13 种国家一级保护动植物物种,有 32 个物种热点区生境面积比例在 80% 左右,热点区内的所有指示物种生境总面积占整个灾区指示物种生境总面积的 70% 以上。

本文选取了 10 个指示植物种,热点区覆盖了全部指示物种的生境范围,有 7 个物种的热点区生境比例在 55% 以上。热点区内生境面积比例最高的物种是圆叶玉兰 (*Magnolia sinensis*)、珙桐 (*Davidia involucrata* var. *involucrata*) 和香果树 (*Emmenopterys henryi*),分别为 94.6%、89.1% 和 86.0%。峨眉含笑 (*Michelia wilsonii*)、西康玉兰 (*Magnolia wilsonii*) 和红豆树 (*Ormosia hosiei*) 在热点区内生境面积比例较低(图 5)。西康玉兰 (*Magnolia wilsonii*) 主要分布在灾区的边缘地区,范围狭小,而空间分析对边缘区的探测不是很敏感,峨眉含笑 (*Michelia wilsonii*) 与红豆树 (*Ormosia hosiei*) 分布离散,且峨眉含笑 (*Michelia wilsonii*) 的生境面积较小,因此本文热点区没有很好反映它们的分布信息。

鸟类指示物种共有 24 种,热点区涉及到了所有鸟类指示物种的生境(图 6)。其中有 23 个物种在热点区生境面积比例 50% 以上,有 16 个物种在热点区生境面积比例 80% 以上。仅有绿尾虹雉 (*Lophophorus lhuysii*) 位于热点区生境面积比例为 24.4% (图 6),但是绿尾虹雉 (*Lophophorus lhuysii*) 在灾区的生境分布范围较广,虽然其热点区面积比例较低,但其在热点区内的面积仍然有 1881.432 km²。

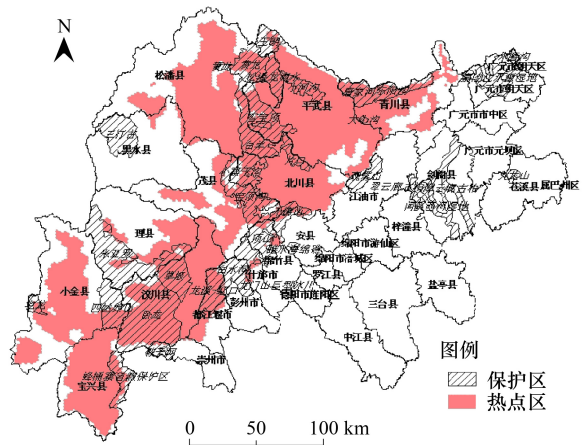


图 4 灾区生物多样性热点区与保护区分布

Fig. 4 Distribution of biodiversity hotspots and Nature Reserve in Wenchuan earthquake area

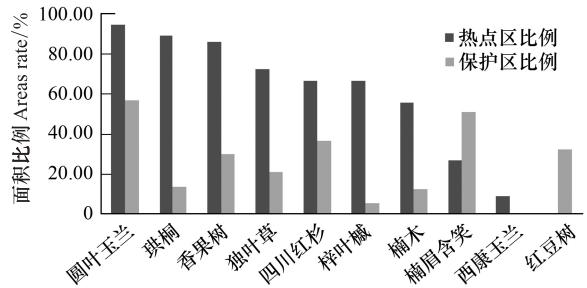


图 5 指示植物种在热点区与保护区内的生境面积比例

Fig. 5 The proportion of indicator species habitat area in hotspots and nature reserve

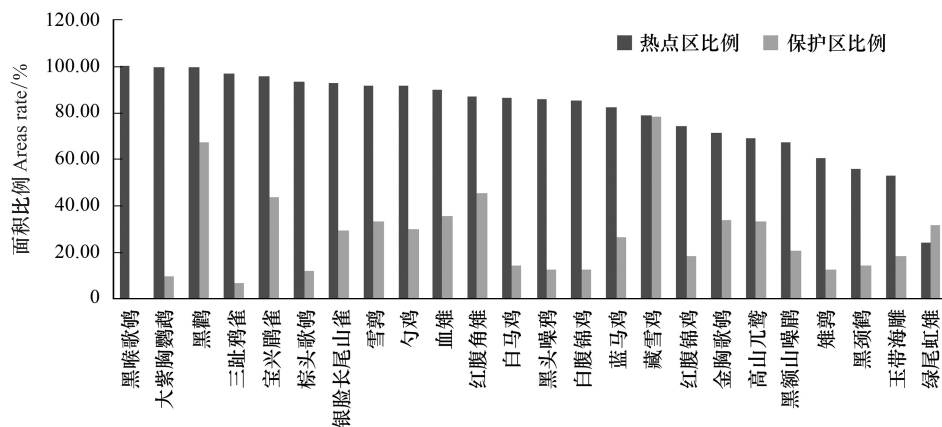


图 6 鸟类指物种热点区与保护区内的生境面积比例

Fig. 6 The proportion of birds indicator species habitat area in hotspots and Nature Reserve

哺乳类指示物种有 35 种,其中有 30 种在热点区内的生境面积占其灾区总生境面积的比例在 50% 以上,有 14 种在热点区生境面积比例在 80% 左右(图 7)。热点区内面积比例较低的几个物种,其位于热点区内的

生境面积也都在 50km^2 以上。仅猞猁 (*Lynx lynx*) 的热点区内生境面积为 35.7km^2 , 原因与西康玉兰 (*Magnolia wilsonii*) 相似, 鼬獾 (*Melogale moschata*)、貉 (*Nyctereutes procyonoides*) 的分布范围较广, 它在人为干扰强烈的平原丘陵区有 $2/3$ 左右的生境面积, 因此只有 $1/3$ 的生境面积进入热点区, 这是合理的。林麝 (*Moschus berezovskii*) 则是由于指示物种选取的数量还不够, 物种丰度信息不是很准确造成的。

3.5 热点地区与 Marxan 模型优先区的比较

2008 年 6 月大自然保护协会 (TNC) 利用 Marxan 模型确定了四川省省生物多样性保护的优先地区。本文基于空间分析的生物多样性热点区主要分布在龙门山区, 与 Marxan 模型得到的生物多样性优先区分布基本一致, 但在西部高原边缘区的黑水县和理县存在较大差异 (图 8)。原因可能是: 一方面可能由于本文指示物种的数目较少, 代表性不够强引起的; 另一方面可能是在计算综合指数时考虑了植被覆盖度的影响, 而高海拔区由于植被覆盖度低所以没有纳入热点区。同时发现基于空间分析方法获得的热点区几乎没有离散的点状区域的分布, 克服了 Marxan 优先区分布过于离散, 孤岛效应明显的缺点, 因为在保护区划时一般不会设立一个孤立的与原保护区没有联系的保护区, 优先区虽然从理论上讲具有很重要的意义, 考虑到保护区之间的连接度和保护区内物种的长远发展, 优先区可能并不是最佳的选择。同时, 由空间分析方法划分的热点区的不仅要求本身物种丰富、景观多样、生境质量高, 还要满足其周围的地区也具有此特点才能够被划分为热点区。因此, 从长远来看这种方法划分的热点区更具保护意义。此外, Marxan 模型计算的优先区包含的范围较小, 只能用于指导保护区的规划, 不能指出需要对生态破坏严重的产业进行限制的区域。在实际工作中可以将空间分析获取的热点区与 Marxan 模型输出的最优区相结合, 提出生物多样性的最佳保护方案。

4 结论

汶川地震对区域的生物多样性造成极大影响。识别生物多样性热点地区是将生物多样性保护纳入灾区重建的基础。本文利用 InVEST 模型对灾区生境质量进行定量评价, 然后采用空间分析方法识别了生物多样性热点地区。并与现有保护区分布、物种生境分布以及 Marxan 模型得到的优先区进行了对比。识别出的热点地区基本上与 Marxan 模型结果一致。识别出的岷山区生物多样性热点区和南部邛崃山区生物多样性热点区之间可以考虑建立生态廊道保护区。基于空间分析

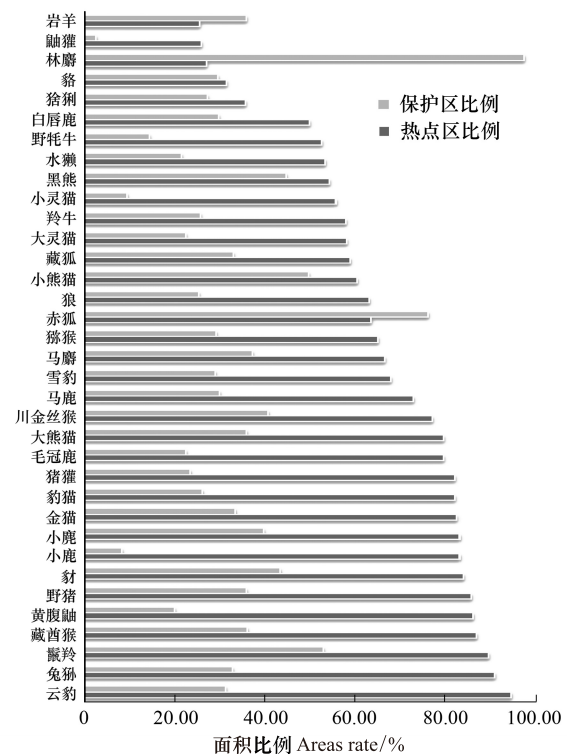


图 7 哺乳类指示物种热点区与保护区内的生境面积比例

Fig. 7 The proportion of mammals indicator species habitat area in hotspots and Nature Reserve

总生境面积为本文评估范围内的生境面积, 热点比例为热点区内物种的生境面积与评估范围内总生境面积的比例, 保护比例为保护区内的生境面积与评估范围内总生境面积的比例

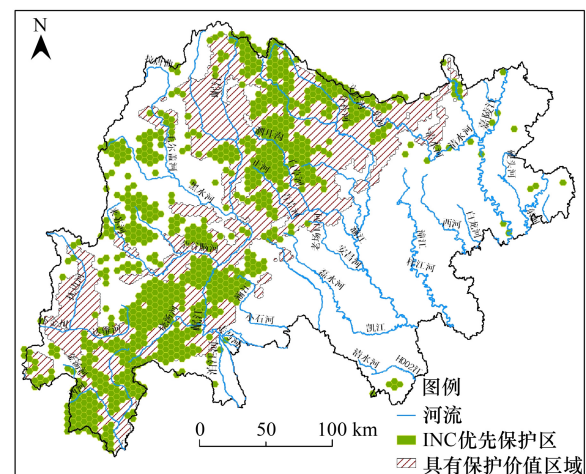


图 8 空间相关方法划分的热点地方与 TNC 优先保护区比较

Fig. 8 Comparison of hotspots based on spatial correlation method and the TNC priority conservation areas

得到的热点地区也存在不足,包括对评估区域边缘的探测不是很敏感,考虑因素较多,有些特有种分布区等可能会因其他因素的影响而不能进入热点区,这些都是进一步需要解决的问题。

致谢:本文使用了美国斯坦福大学与世界自然基金会(WWF)以及大自然保护协会(TNC)联合开发的综合生态系统服务评估模型(InVEST),在模型调试与验证过程中得到了 Gretchen Daily 教授, Erik 博士, Driss 博士的帮助,特此致谢。

References:

- [1] Ye Y Q, Ma K P. Hot Spots in biodiversity studies. *Guihaia*, 1996, 16(4): 295-299.
- [2] Wan B T, Xu H G, Ding H, Liu Z L, Wang J. Methodology of comprehensive biodiversity assessment. *Biodiversity Science*, 2007, 15(1): 97-106.
- [3] WRI. Ecosystems and Human Well-Being Biodiversity Synthesis. Beijing: China Environmental Science Press, 2005.
- [4] Shu J M, Wang J J, Gao J X, Liu R A, Ying X D, Zhang L D. Planning for biological diversity conservation in the middle part of Yaluzangbu River basin. *Rural Eco-Environment*, 1997, 13(2): 1-5.
- [5] Wang Z, Jiang M K, Qin W H. Criteria for evaluation of priority biodiversity nature reserves of China. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2007, 23(3): 93-96.
- [6] Xu W H, Ouyang Z Y, Zhang L, Li Z Q, Xiao Y, Zhu C Q. Spatial distribution and priority areas analysis for key protection species in Yangtze basin. *Research of Environmental Sciences*, 2010, 23(3): 312-319.
- [7] Myers N. The biodiversity challenge: expanded hot-spots analysis. *The Environmentalist*, 1990, 10(4): 243-256.
- [8] Noss R F, Harris L D. Nodes, networks, and MUMs: preserving diversity at all scales. *Environmental Management*, 1986, 10(3): 299-309.
- [9] Bibby C J, Adam M P. Putting Biodiversity on the Map: Priority Areas for Global Conservation. Cambridge: International Council for Bird Preservation, 1992.
- [10] Myers N. Threatened biotas: "hot spots" in tropical forests. *The Environmentalist*, 1988, 8(3): 187-208.
- [11] Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, Fonseca G A B, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, 2000, 403(6772): 853-858.
- [12] Li D Q, Song Y L, Ouyang Z Y. Research on the National Forestry Nature Reserve System Plan. Beijing: China land Press, 2003.
- [13] Hu S Q, Ding B Y, Chen Z H. The critical regions for conservation of rare and endangered plant species diversity in Zhejiang Province. *Biodiversity Science*, 2002, 10(1): 15-23.
- [14] Zhao S Q, Fang J Y, Lei G C. Global 200: an approach to setting large-scale biodiversity conservation priorities. *Chinese Biodiversity*, 2000, 8(4): 435-440.
- [15] Wu B, Zhu C Q, Li D Q, Dong K, Wang X L, Shi P L. Setting biodiversity conservation priorities in the Forests of the Upper Yangtze Ecoregion based on ecoregion conservation methodology. *Biodiversity Science*, 2006, 14(2): 87-97.
- [16] Liu M C, Li D Q. Study on biodiversity conservation priorities-taking Sanjiangyuan region. *Journal of Natural Science of Hunan Normal University*, 2007, 30(3): 110-115.
- [17] Banks S A, Skilleter G A. The importance of incorporating fine-scale habitat data into the design of an intertidal marine reserve system. *Biological Conservation*, 2007, 138(1/2): 13-29.
- [18] Chen B H. Status and outlook for protection of the world biological diversity. *World Forestry Research*, 1993, 3(5): 8-13.
- [19] Calonje M, Meerow A W, Knowles L, Knowles D, Griffith P, Francisco-Ortega J. Genetics-based conservation action plan for *Zamia lucayana*, the only cycad species endemic to the Bahamian archipelago (Caribbean Island Biodiversity Hotspot). Abstract book of the 9th International Conference on Cycad Biology, 2011.
- [20] Luan X F, Huang W N, Wang X L, Liu M C, Liu S R, Wu B, Li D Q. Identification of hotspots and gaps for biodiversity conservation in Northeast China based on a systematic conservation planning methodology. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 144-150.
- [21] Costa G C, Nogueira C, Machado R B, Coil G R. Sampling bias and the use of ecological niche modeling in conservation planning: a field evaluation in a biodiversity hotspot. *Biodiversity and Conservation*, 2010, 19(3): 883-899.
- [22] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D R, Chan K M A, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P M, Lonsdorf E, Naidoo R, Ricketts T H, Shaw M R. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4-11.
- [23] Nelson E, Mendoza G, Regetz J, Polasky S, Tallis H, Cameron D R, Chan K M A, Daily G C, Goldstein J, Kareiva P M, Lonsdorf E, Naidoo

- R, Ricketts T H, Shaw M R. Modeling multiple ecosystem services, biodiversity conservation, commodity production, and tradeoffs at landscape scales. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2009, 7(1): 4-11.
- [24] Kareiva P M, Tallis H, Ricketts T H, Daily G C, Polasky S. *Natural Capital: Theory and Practice of Mapping Ecosystem Services*. New York: Oxford University Press, 2011.
- [25] Zhang S L, Zhang K. Contrast study on the local indices of spatial autocorrelation. *Statistical Research*, 2007, 24(7): 65-67.
- [26] Zhang S L, Zhang K. Comparison between general Moran's index and Getis-ord general G of spatial autocorrelation. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni*, 2007, 46(4): 93-97.
- [27] Zhang S L, Zhang K. Contrast study on Moran and Getis-ord indexes of local spatial autocorrelation indices. *Journal of Geodesy and Geodynamics*, 2007, 27(3): 31-34.
- [28] Peng B, Zhang Y, Hu D Y, Luo K, Wang R H. Using spatial analysis technique to explore spatial distribution of Tuberculosis. *Chinese Journal of Health Statistics*, 2007, 24(3): 229-231.
- [29] Fan X S, Ying L G. An exploratory spatial data analysis of sars epidemic in China. *Advances in Earth Science*, 2005, 20(3): 282-291.
- [30] Lü A M, Li C M, Lin Z J, Shi W Z. Population growth rate and its spatial association by providence in China. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(2): 143-150.
- [31] Shen L Z. Spatial correlation analysis and its application. *Statistics and Decision*, 2006, (8): 28-30.
- [32] Getis A, Ord J K. Local spatial statistics: an overview // Longley P A, Batty M, eds. *Spatial Analysis: Modelling in a GIS Environment*. Cambridge: Geo Information International, 1996: 261-177.

参考文献:

- [1] 钱迎倩, 马克平. 生物多样性研究的几个国际热点. *广西植物*, 1996, 16(4): 295-299.
- [2] 万本太, 徐海根, 丁晖, 刘志磊, 王捷. 生物多样性综合评价方法研究. *生物多样性*, 2007, 15(1): 97-106.
- [3] 世界资源研究所. 生态系统与人类福祉: 生物多样性综合评估报告. 北京: 中国环境科学出版社, 2005.
- [4] 舒俭民, 王家骥, 高吉喜, 柳若安, 营晓东, 张林渡. 雅鲁藏布江中部地区生物多样性保护规划. *农村生态环境*, 1997, 13(2): 1-5.
- [5] 王智, 蒋明康, 秦卫华. 中国生物多样性重点保护区评价标准探讨. *生态与农村环境学报*, 2007, 23(3): 93-96.
- [6] 徐卫华, 欧阳志云, 张路, 李智琦, 肖焱, 朱春全. 长江流域重要保护物种分布格局与优先区评价. *环境科学研究*, 2010, 23(3): 312-319.
- [12] 李迪强, 宋延龄, 欧阳志云. 全国林业系统自然保护区体系规划研究. 北京: 中国大地出版社, 2003.
- [13] 胡绍庆, 丁炳扬, 陈征海. 浙江省珍稀濒危植物物种多样性保护的关键区域. *生物多样性*, 2002, 10(1): 15-23.
- [14] 赵淑清, 方精云, 雷光春. 全球 200: 确定大尺度生物多样性优先保护的一种方法. *生物多样性*, 2000, 8(4): 435-440.
- [15] 吴波, 朱春全, 李迪强, 董珂, 王秀磊, 石培礼. 长江上游森林生态区生物多样性保护优先区确定: 基于生态区保护方法. *生物多样性*, 2006, 14(2): 87-97.
- [16] 刘敏超, 李迪强. 生物多样性优先性研究——以三江源地区为例. *湖南师范大学: 自然科学学报*, 2007, 30(3): 110-115.
- [18] 陈炳浩. 国际生物多样性保护现状与对策. *世界林业研究*, 1993, 3(5): 8-13.
- [19] Calonje M, Meerow A W, Knowles L, Knowles D, Griffith P, Francisco-Ortega J. 加勒比海岛生物多样性热点地区——巴哈马群岛唯一苏铁类植物特有泽米种 *Zamia lucayana* 的遗传学保护行动方案. 第九届国际苏铁生物学大会论文摘要集, 2011.
- [20] 栾晓峰, 黄维妮, 王秀磊, 刘敏超, 刘世荣, 吴波, 李迪强. 基于系统保护规划方法东北生物多样性热点地区和保护空缺分析. *生态学报*, 2009, 29(1): 144-150.
- [22] Piller W E, Harxhauser M. 生物多样性热点地区——地质学的新领域. *海洋地质*, 2009, 24(4): 71-72.
- [25] 张松林, 张昆. 局部空间自相关指标对比研究. *统计研究*, 2007, 24(7): 65-67.
- [26] 张松林, 张昆. 全局空间自相关 Moran 指数和 G 系数对比研究. *中山大学学报: 自然科学版*, 2007, 46(4): 93-97.
- [27] 张松林, 张昆. 空间自相关局部指标 Moran 指数和 G 系数研究. *大地测量与地球动力学*, 2007, 27(3): 31-34.
- [28] 彭斌, 张鹰, 胡代玉, 罗奎, 王润华. 利用空间分析技术探讨结核病发病的空间分布模式. *中国卫生统计*, 2007, 24(3): 229-231.
- [29] 范新生, 龙应根. 中国 SARS 疫情的探索性空间数据分析. *地球科学进展*, 2005, 20(3): 282-291.
- [30] 吕安民, 李成名, 林宗坚, 史文中. 中国省级人口增长率及其空间关联分析. *地理学报*, 2002, 57(2): 143-150.
- [31] 沈绿珠. 空间关联分析及其应用. *统计与决策*, 2006, (8): 28-30.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 3 February, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Ecosystem Service Simulation and Management

Securing Natural Capital and Human Well-Being: Innovation and Impact in China	Gretchen C. Daily, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al (677)
Establishment of ecological compensation mechanisms in China: perspectives and strategies	OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, YUE Ping (686)
Regional cooperation mechanism and sustainable livelihoods: a case study on paddy land conversion program (PLCP)	LIANG Yicheng, LIU Gang, MA Dongchun, et al (693)
Progress and perspectives of ecosystem services management	ZHENG Hua, LI Yifeng, OUYANG Zhiyun, et al (702)
Ecosystem services valuation and its regulation in Baiyangdian basin: Based on InVEST model	BAI Yang, ZHENG Hua, ZHUANG Changwei, et al (711)
Identification of hotspots for biodiversity conservation in the Wenchuan earthquake-hit area	XU Pei, WANG Yukuan, YANG Jinfeng, et al (718)
Effects of land use change on ecosystem services: a case study in Miyun reservoir watershed	LI Yifeng, LUO Yuechu, LIU Gang, et al (726)
Impacts of forest eco-benefit tax on industry price levels in Shaanxi Province, China	LI Jie, LIU Zhengnan, HAN Xiuhua (737)
Spatial characteristics of soil conservation service and its impact factors in Hainan Island	RAO Enming, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (746)
Perception and attitudes of local people concerning ecosystem services of culturally protected forests	GAO Hong, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (756)
Standard of payments for ecosystem services in Sanjiangyuan Natural Reserve	LI Yifeng, LUO Yuzhu, ZHENG Hua, et al (764)
Natural landscape valuation of Wulingyuan Scenic Area in Zhangjiajie City	CHENG Cheng, XIAO Yi, OUYANG Zhiyun, et al (771)
Satellite-based monitoring and appraising vegetation growth in national key regions of ecological protection	HOU Peng, WANG Qiao, FANG Zhi, et al (780)
Spatial Pattern of Water Retention in Dujiangyan County	FU Bin, XU Pei, WANG Yukuan, et al (789)
Spatial distribution of carbon storage function and seismic damage in wenchuan earthquake stricken areas	PENG Yi, WANG Yukuan, FU Bin, et al (798)

Frontiers and Comprehensive Review

The Porter Hypothesis: a literature review on the relationship between eco-innovation and environmental regulation	DONG Ying, SHI Lei (809)
Ecological protection and well-being	LI Huimei, ZHANG Anlu (825)
An overview of the updated classification system and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi	WANG Yutao, XIN Guorong, LI Shaoshan (834)

Autecology & Fundamentals

Evaporation paradox in the northern and southern regions of the Qinling Mountains	JIANG Chong, WANG Fei, LIU Sijie, et al (844)
The diet composition and trophic niche of main herbivores in the Inner Mongolia Desert steppe	LIU Guihe, WANG Guojie, WANG Shiping, et al (856)
Abstraction and analysis of vegetation information based on object-oriented and spectra features	CUI Yijiao, ZHU Lin, ZHAO Lijuan (867)
Hyperspectral estimation models for photosynthetic pigment contents in leaves of <i>Eucalyptus</i>	ZHANG Yonghe, CHEN Wenhui, GUO Qiaoying, et al (876)
Response of photosynthesis and chlorophyll fluorescence characteristics of <i>Pterocarya stenoptera</i> seedlings to submergence and drought alternation	WANG Zhenxia, WEI Hong, LÜ Qian, et al (888)

Effect of flooding stress on growth and photosynthesis characteristics of <i>Salix integra</i>	
.....	ZHAO Hongfei, ZHAO Yang, ZHANG Chi, et al (898)
Water consumption of pear jujube trees (<i>Ziziphus jujuba</i> Mill.) and its correlation with trunk diameter during flowering and fruit development periods	ZHANG Linlin, WANG Youke, HAN Lixin, et al (907)
Estimation of nitrogen nutrient index on SPAD value of top leaves in wheat	
.....	ZHAO Ben, YAO Xia, TIAN Yongchao, et al (916)
Population, Community and Ecosystem	
Carbon and nitrogen storage under different plantations in subtropical south China	
.....	WANG Weixia, SHI Zuomin, LUO Da, et al (925)
Impact on water and soil conservation of different bandwidths in low-efficiency cypress forest transformation	
.....	LI Yanqiong, GONG Gutang, ZHENG Shaowei, et al (934)
Seasonal changes of phytoplankton community structure in Jinshuitan Reservoir, Zhejiang, China	
.....	ZHANG Hua, HU Hongjun , CHAO Aimin, et al (944)
Winter carrying capacity and the optimum population density of wild boar in fenghuang Mountains National Nature Reserve of Heilongjiang Province	MENG Gentong, ZHANG Minghai, ZHOU Shaochun (957)
Diversity of ground-dwelling spider community in different restoring times of post-fire forest, Cangshan Mountain, Yunnan Province	
.....	MA Yanyan, LI Qiao, FENG Ping, et al (964)
Landscape, Regional and Global Ecology	
Drought characteristics in the shiyang river basin during the recent 50 years based on a composite index	
.....	ZHANG Tiaofeng, ZHANG Bo, WANG Youheng, et al (975)
Land use spatial distribution modeling based on CLUE-S model in the Huangshui River Basin	
.....	FENG Shichao, GAO Xiaohong, GU Juan, et al (985)
Research Notes	
Patterns of terrestrial anthropogenic impacts on coastal wetlands in three city clusters in China	WANG Yijie, YU Shen (998)
Eutrophication development and its key affected factors in the Yanghe Reservoir	WANG Liping, ZHENG Binghui (1011)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 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 33 卷 第 3 期 (2013 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 3 (February, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



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 90.00 元