

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 24 期 Vol.31 No.24 **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 24 期

2011 年 12 月 (半月刊)

目 次

柑橘黄龙病株不同部位内生细菌群落结构的多样性	刘 波, 郑雪芳, 孙大光, 等 (7325)
小兴安岭红松径向生长对未来气候变化的响应	尹 红, 王 靖, 刘洪滨, 等 (7343)
污水地下渗透系统脱氮效果及动力学过程	李海波, 李英华, 孙铁珩, 等 (7351)
基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划	肖 燚, 陈圣宾, 张 路, 等 (7357)
羌塘地区草食性野生动物的生态服务价值评估——以藏羚羊为例	鲁春霞, 刘 铭, 冯 跃, 等 (7370)
湖北省潜江市生态系统服务功能价值空间特征	许倍慎, 周 勇, 徐 理, 等 (7379)
滇西北纳帕海湿地景观格局变化及其对土壤碳库的影响	李宁云, 袁 华, 田 昆, 等 (7388)
基于连接性考虑的湿地生态系统保护多预案分析——以黄淮海地区为例	宋晓龙, 李晓文, 张明祥, 等 (7397)
青藏高原高寒草甸生态系统碳增汇潜力	韩道瑞, 曹广民, 郭小伟, 等 (7408)
影响黄土高原地物光谱反射率的非均匀因子及反照率参数化研究	张 杰, 张 强 (7418)
基于 GIS 的下辽河平原地下水生态敏感性评价	孙才志, 杨 磊, 胡冬玲 (7428)
厦门市土地利用变化下的生态敏感性	黄 静, 崔胜辉, 李方一, 等 (7441)
我国保护地生态旅游发展现状调查分析	钟林生, 王 婧 (7450)
黄腹山鹧鸪稳定的配偶关系限制雄性欺骗者	褚福印, 唐思贤, 潘虎君, 等 (7458)
食物蛋白含量和限食对雌性东方田鼠生理特性的影响	朱俊霞, 王 勇, 张美文, 等 (7464)
具有捕食正效应的捕食-食饵系统	祁 君, 苏志勇 (7471)
桑科中 4 种桑天牛寄主植物的挥发物成分研究	张 琳, WANG Baode, 许志春 (7479)
栗山天牛成虫羽化与温湿度的关系	杨忠岐, 王小艺, 王 宝, 等 (7486)
人工巢箱条件下杂色山雀的巢位选择及其对繁殖成功率的影响	李 乐, 万冬梅, 刘 鹤, 等 (7492)
鸭绿江口湿地鸕鹚类停歇地的生物生态研究	宋 伦, 杨国军, 李 爱, 等 (7500)
锡林郭勒草原区气温的时空变化特征	王海梅, 李政海, 乌 兰, 等 (7511)
UV-B 辐射胁迫对杨桐幼苗生长及光合生理的影响	兰春剑, 江 洪, 黄梅玲, 等 (7516)
小麦和玉米叶片光合-蒸腾日变化耦合机理	赵风华, 王秋凤, 王建林, 等 (7526)
利用稳定氢氧同位素定量区分白刺水分来源的方法比较	巩国丽, 陈 辉, 段德玉 (7533)
2010 年冬季寒冷天气对闽江口 3 种红树植物幼苗的影响	雍石泉, 仝 川, 庄晨辉, 等 (7542)
人参皂苷与生态因子的相关性	谢彩香, 索风梅, 贾光林, 等 (7551)
苈对黑麦草根茎几种低分子量有机分泌物的影响	谢晓梅, 廖 敏, 杨 静 (7564)
盐碱地柠条根围土中黑曲霉的分离鉴定及解磷能力测定	张丽珍, 樊晶晶, 牛 伟, 等 (7571)
不同近地表土壤水文条件下雨滴打击对黑土坡面养分流失的影响	安 娟, 郑粉莉, 李桂芳, 等 (7579)
煤电生产系统的能值分析及新指标体系的构建	楼 波, 徐 毅, 林振冠 (7591)
专论与综述	
东南亚高山森林植被变化对流域产水量的影响	张远东, 刘世荣, 顾峰雪 (7601)
干旱荒漠区斑块状植被空间格局及其防沙效应研究进展	胡广录, 赵文智, 王 岗 (7609)
利用农业生物多样性持续控制有害生物	高 东, 何霞红, 朱书生 (7617)
研究简报	
洪湖湿地生态系统土壤有机碳及养分含量特征	刘 刚, 沈守云, 闫文德, 等 (7625)
氯氟菊酯和溴氟菊酯对蓼花臂尾轮虫生殖的影响	黄 林, 刘昌利, 韦传宝, 等 (7632)
学术信息与动态	
SCOPE-ZHONGYU 环境论坛(2011)暨环境科学与可持续发展国际会议成功举办	(7639)
《生态学报》3 篇文章入选 2010 年中国百篇最具影响国内学术论文 等	(I)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2011-12	



封面图说: 泥炭藓大多生长在多水、寒冷和贫营养的生境, 同时有少数的草本、矮小灌木也生长在其中, 但优势植物仍然是泥炭藓属植物。泥炭藓植物植株死后逐渐堆积形成泥炭。经过若干年的生长演变, 形成了大片的泥炭藓沼泽。这种沼泽地有黑黑的泥炭, 绿绿的草甸和亮晶晶的斑块状水面相间相衬, 远远看去就像大地铺上了锦绣地毯一样美丽壮观。

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

宋晓龙, 李晓文, 张明祥, 杨殿林, 张黎娜, 张贵龙. 基于连接性考虑的湿地生态系统保护多预案分析——以黄淮海地区为例. 生态学报, 2011, 31(24): 7397-7407.

Song X L, Li X W, Zhang M X, Yang D L, Zhang L N, Zhang G L. Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation based on connectivity: a case study on HuangHuaiHai Region, China. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7397-7407.

基于连接性考虑的湿地生态系统保护多预案分析 ——以黄淮海地区为例

宋晓龙¹, 李晓文^{2,*}, 张明祥³, 杨殿林¹, 张黎娜², 张贵龙¹

(1. 农业部环境保护科研监测所, 天津 300191; 2. 北京师范大学环境学院水环境模拟国家重点实验室, 北京 100875;

3. 北京林业大学自然保护区学院, 北京 100083)

摘要: 运用系统保护规划方法, 进行了黄淮海地区湿地生态系统保护多预案分析研究。研究中以集水区为保护规划单元, 综合考虑河流湿地生态系统、非河流湿地生态系统、保护物种、地下水等生物信息和路网、居民分布、水坝等社会经济信息, 以及已有湿地保护区信息, 以二维(2D)连接性(横向连接性、纵向连接性)和三维(3D)连接性(横向连接性、纵向连接性、垂向连接性)为原则, 模拟研究了不同保护目标和不同保护格局聚集性的湿地保护预案。结果表明: 基于 2D 连接性的研究, 对河流湿地、非河流湿地和物种设定 30% 的保护目标, 选取边界长度调节(BLM)值为 0.36 的保护格局聚集性, 以此得到的保护方案相对合理; 而基于 3D 连接性时, 对河流湿地、非河流湿地和保护物种设定 30% 的保护目标, 地下水设定 55% 的保护目标, 选取 0.06 边界长度调节值的保护格局聚集性, 得到的保护方案相对合理; 基于 3D 连接性保护方案的效率要比基于 2D 连接性的高。对于严重缺水的黄淮海地区来说, 3D 连接性的考虑不仅必要, 而且可行, 具有重要的现实意义。

关键词: 黄淮海地区; 系统保护规划方法; 连接性; 湿地生态系统; 预案分析

Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation based on connectivity: a case study on HuangHuaiHai Region, China

SONG Xiaolong¹, LI Xiaowen^{2,*}, ZHANG Mingxiang³, YANG Dianlin¹, ZHANG Lina², ZHANG Guilong¹

1 Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture, Tianjin 300191, China

2 State Key Laboratory of Water Environment Simulation, Environmental School, Beijing Normal University, Beijing 100875, China

3 College of Nature Conservation, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Located in the eastern coastal areas of China, featured with vast area of wetlands and rich biodiversity, HuangHuaiHai Region (HHHR) is an important place for migratory birds to survive during migration and wintering not only for China, but also for Northeast Asia Inland and Western Pacific Rim, which is a vital component of East Asian-Australasian Flyway. By applying basin units rather than administrative districts to account for the connected nature of wetlands, the study area of HHHR was defined, mainly made up of alluvial plain deposited by Yellow River, Huaihe River, Haihe River and their tributaries, covering an area of approximately 48000000 km². As the political, economic and cultural center of China, with about 4 times population density of the national average, wetlands within HHHR not only played very important role in providing huge suitable habitats for various wildlives and great ecosystem services for local people, but had long been suffering from large-scale destruction and increasing degradation during the half past century. How to keep economy sustainable development while guarantee eco-conservation as well, multi-scenarios analysis based on Systematic

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403305); 国家自然科学基金项目(40671072); 遥感科学国家重点实验室开放基金项目(OFSLRSS201004); 国家水体污染控制与治理科技重大专项资助(2009ZX07209-008)

收稿日期: 2011-05-12; 修订日期: 2011-11-10

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xwli_bnu@163.com

Conservation Planning (SCP) should be the effectual tool in decision-making. Therefore, within the framework of SCP, taking catchments as planning units, considering comprehensively biological information (such as 23 riverine wetlands ecosystem types, 8 non-riverine wetlands ecosystem types, distribution of 16 target species prioritized on IUCN Red List, 5 exploitable aquifers) and socio-economic factors (such as road nets, settlement places, dams), also with existed reserves concerned, based on 2D connectivity (lateral connectivity, longitudinal connectivity) and 3D connectivity (lateral connectivity, longitudinal connectivity, vertical connectivity) respectively, multi-scenarios for wetlands ecosystem conservation in HHHR were simulated firstly, then followed by scenarios comparison under different targets and compactness to develop the reasonable conservation planning. Eventually, by taking planning units selected (pus) per cost as conservation efficacy (e), conservation planning of 2D connectivity was paralleled with that of 3D connectivity. The main conclusions are as follows: As to development of conservation planning based on 2D connectivity, 30% target set for riverine wetlands, non-riverine wetlands and species was proposed, compactness of conservation pattern should be better when the value of Boundary Length Modifier (BLM) was 0.36. However, when referred to 3D connectivity, target set of 30% for riverine wetlands, non-riverine wetlands and species, and 55% for groundwater, with the BLM value of 0.06 for compactness was relatively suitable. When it comes to the comparison of 2D connectivity with 3D connectivity, although the cost of conservation planning under 3D connectivity was more than that under 2D connectivity, while the pus under 3D connectivity is far more than that under 2D connectivity, both increasing as targets increased. In addition to that, the conservation planning of 3D connectivity was more efficient than that of 2D connectivity on the whole, because more wetlands could be protected per cost under 3D connectivity conservation planning in contrast to 2D connectivity's. Finally, it's obviously that constructing wetlands conservation system based on 3D connectivity was not only necessary, but also possible, which was of great practical significance, especially for HHHR.

Key Words: HuangHuaiHai region; systematic conservation planning; connectivity; wetlands ecosystem; scenario analysis

系统保护规划方法是一个生态决策与评价支持系统(Ecological Decision and Evaluation Support System),通过结构式的迭代运算,处理用户定义的针对不同研究区域和研究目标的图层数据和知识库系统,是一个基于知识库、集成多种空间分析功能的空间明晰化过程,可用来评估不同的预案(Scenario)^[1-3]。该方法兼顾生物保护有效性和社会经济成本最小化,近年来被广泛应用于生态保护和经济社会开发之间的决策协调^[4-24]。最初,系统保护规划方法大多被应用于陆生和海洋生态系统中^[4-6],少有专门针对湿地生态系统的研究,即使有,也只是涉及到湿地的某些方面,比如将内陆淡水湿地纳入到陆生生态系统中,将滨海湿地纳入到海洋生态系统中,将河流湿地单独作为水生/河流生态系统研究^[5]。目前尚未有将湿地生态系统作为一个整体(包括河流湿地、非河流湿地)来进行的保护规划研究^[9,11,13-15]。不同类型湿地往往是以栖息地网络的形式为湿地生物所利用,所以连接性(Connectivity)是湿地生态系统保护规划中一个非常重要的考虑因素。目前已有的相关研究主要集中于不同湿地类型间的横向联系(Lateral Connectivity)和河流湿地上下游间的纵向联系(Longitudinal Connectivity),而对地表和地下水文之间的垂向联系(Vertical Connectivity)几乎未有涉及,但是各湿地类型综合和多维连接性的考虑则是未来湿地生态系统保护规划研究的趋势或者焦点^[14-15]。

预案研究方法作为协助决策工具可追溯至 20 世纪 50 年代,欧美一些核物理学家率先采用这种方法,通过计算机模拟解决有关概率等非确定性问题。70 年代初,欧美国家的不少公司和政府机构开始将预案研究作为规划与决策的一种工具。80 年代,随着环境问题的日益突出,欧美生态学与景观规划学家将预案研究方法运用于协调保护与开发的矛盾,以可持续发展为目标的区域与环境管理、规划实践中^[25-26]。实际研究中,一些学者将各种基于专家知识库的空间决策评价支持系统与预案研究方法相结合,用于对预案进行评价,形成了一套相对系统、完善的区域景观规划与评价的途径和方法^[25-27]。

黄淮海地区作为我国鸟类南北迁徙的主要通道和繁殖区,同时也是东亚—澳大利西亚水鸟迁徙路线的重要组成部分,湿地类型和生物资源丰富。除了所具有的区域性、全球性生态保护价值外,黄淮海地区还具有巨大的经济开发价值,区域开发与生物保护矛盾非常突出^[28]。如何在同一时空条件下协调社会经济发展与湿地保护的矛盾,已成为该区域可持续发展面临的关键问题。结合该区域实际情况,利用系统保护规划方法空间决策评价系统,开展协调自然保护与区域开发的多预案研究可望提供有效的指导。

1 区域概况

黄淮海地区主体由黄河、淮河与海河及其支流冲积而成的黄淮海平原以及与其相毗连的鲁中南丘陵和山东半岛组成,共涉及北京、天津、河北、河南、山东、江苏和安徽等 7 个省,面积 48.4 万 km²。本研究采用流域单元而非行政单元来界定研究区范围,共涉及了海河区的 4 个二级流域单元,黄河区的 1 个二级流域单元,淮河区的全部流域单元。黄淮海地区湿地类型多样,以滨海湿地和内陆淡水沼泽为主要特征,各类型湿地生态系统相互关联、耦合,发挥着重要的生态功能,有世界上最年轻的滨海河口湿地——黄河三角洲,以及 2 块国际重要湿地(Ramsar Site)——大丰麋鹿自然保护区和盐城沿海滩涂湿地。该区域生物资源丰富,水鸟约 200 种,数量以百万计,其中被列为世界自然保护联盟(IUCN)极危(Cr)等级的有 2 种,濒危(En)等级的有 6 种,易危(Vu)等级的有 13 种等。截止到 2008 年底,黄淮海地区已建立 52 处各级湿地保护区,其中国家级保护区 12 处。但是由于该区是我国的政治、经济和文化中心,是典型的高强度开发区域,区内湿地承受着高强度人类活动的冲击和胁迫^[28-29]。随着 2008 年初和 2009 年底,国务院批复的《天津滨海新区综合配套改革试验总体方案》和《黄河三角洲高效生态经济区发展规划》的实施,该区域将成为我国新一轮社会经济开发热点区域,这将为黄淮海地区生态保护与社会经济可持续发展带来新的挑战。

2 研究方法

2.1 系统保护规划方法相关概念

系统保护规划方法综合考虑区域内的生物因素、社会经济因素以及保护区信息等因素,以生物多样性以及形成和维持生物多样性的生态过程作为保护对象,在特定保护目标驱动下,基于特定规划单元,利用空间模型(Marxan, C-Plan, Zonation 等)得出规划单元的不可替代性大小,识别出未受保护而且保护成本(Cost)低的重要生态功能区,将其纳入自然保护区体系中^[1-3,22]。该方法追求以最小代价最大程度地保护生物多样性,是生态网络保护和优先性保护思想的系统化和理论化发展。

2.1.1 规划模型

随着系统保护规划方法的发展,在计算机技术和地理信息系统的基础上,出现了一些专门用于生物多样性保护的规划模型,如 Marxan、C-plan、Zonation 等。这些规划模型把整个系统保护规划的思想、代数运算及地理信息系统的应用整合在一起,方便和规范了系统保护规划的过程。目前系统保护规划中应用比较广泛的模型是 Marxan,该模型由澳大利亚昆士兰大学的 Matt Watts 开发,它基于互补性的原则和模拟退火算法的原理,通过迭代运算,反复筛选,直至选出最优的规划单元,以满足保护目标^[2-3,30-31]。相比其他规划模型来说,Marxan 最大的特点就是考虑了连接性,以及通过 BLM 来调整保护格局的聚集性,使选出的规划单元相对集中,便于实际的操作管理^[3,31]。

2.1.2 连接性

连接性是系统保护规划考虑生态过程的重要表征,这一概念凸显了该方法的生态网络思想。连接性是一个多维概念,包括区域间的横向连接性、河流上下游之间的纵向连接性、地表和地下的垂向连接性,甚至还有随时间变化的连续性。也就是说不仅要考虑连接性,还要考虑多维连接性(2D→3D→4D),这样才更有意义^[3,10,15]。随着系统保护规划方法在湿地/水生生态系统领域的应用推广,连接性越显得重要。

2.1.3 聚集性

广义上来说,聚集性也是连接性,它是连接性的一种特殊表现形式。聚集性主要用于系统保护规划研究的保护格局调整,聚集性越大,保护格局越集中,越利于实际的管理操作。所以基于该思想,运用系统保护规

划方法时,可以得到一个布局相对集中的保护体系。保护格局的聚集性主要通过 Marxan 模型的 BLM 来调整^[2,30-31]。

2.2 数据来源及处理

本研究数据主要有:90 m 分辨率 DEM 数据,1:25 万数字水系图,物种分布图,湿地保护区分布图,湿地分布数据(2000 年),土地利用类型数据(2000 年),TM 遥感影像数据(2000 年),地貌数据,地下水数据,全国水资源分级分区图,1:25 万的公路、铁路、水坝、农村居民点和城镇分布等数据。其中 DEM 空间数据采用了由美国国家航空航天局(NASA)和国家空间信息情报局(NGA)共同合作完成,国际农业研究咨询顾问集团(CGIAR)空间信息协会(CSI)处理后的无“空洞”全球无缝 CGIAR-CSI SRTM 数据;物种分布和湿地保护区数据主要来源于当地相关管理部门,然后基于 GIS 技术矢量化成空间数据,并参考相关文献资料和专家知识适当修改,其中湿地保护区数据主要考虑了省级以上保护区(北京和天津除外);湿地分布数据来源于遥感科学国家重点实验室;土地利用类型数据和地貌数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所;TM 遥感影像数据来源于中国遥感卫星地面站;地下水数据来源于中国地质科学院水文地质环境地质研究所;全国水资源分级分区数据来源于水利部水利水电规划设计总院;而 1:25 万社会经济数据(公路、铁路、水坝、农村居民点和城镇分布)和 1:25 万水系数据来源于国家基础地理信息中心;基于以上基础数据建立地理信息系统数据库。

2.3 研究方法与技术

基于野外调研、遥感和地理信息系统等手段,以集水区为保护规划单元,综合考虑河流湿地生态系统、非河流湿地生态系统、保护物种分布、地下水等生物信息和路网、居民分布、水坝等社会经济信息,以及已有湿地保护区信息,以 2D 连接性和 3D 连接性为原则,运用系统保护规划方法,利用 Marxan 模型,进行湿地生态系统保护多预案对比分析^[1-3]。以期为黄淮海地区湿地保护体系的完善提供科学依据,为进一步构建全国层面湿地保护体系提供重要的理论和方法借鉴(图 1)。

2.3.1 研究区边界和规划单元确定

利用全国水资源分级分区提取出研究区范围。基于 90 m 分辨率 DEM 数据和 1:25 万数字水系图,利用 Arc Hydro 工具,通过敏感性分析提取了 3194 个集水区,平均面积为 152 km²,相应地也获得了 3194 条河流,总长度为 48951.33 km^[20,32]。

2.3.2 保护对象筛选

(1) 河流湿地生态系统类型划分

依据 TNC 开发的分类方案^[10,33],并综合考虑其他相关研究和实际情况而进行。首先将基于 DEM 提取的河网采用 Strahler 水系系统分级规则进行分级^[34],然后结合河网所处的第一级流域单元,最后再与地貌类型综合,最终得出了 23 种河流湿地生态系统类型。

(2) 非河流湿地生态系统类型划分

基于全国湿地数据,同时参考全国土地利用类型数据、相关 TM 遥感影像数,最后划分了滨海滩涂、滨海沼泽、其他滨海湿地、洪泛湿地、湖泊湿地、淡水沼泽、库塘、养殖/盐田 8 种非河流湿地生态系统类型。

(3) 保护物种确定

对于湿地生态系统来说,鱼类和水鸟是比较恰当的保护物种。但由于生物多样性的复杂性及现有资料数据的限制,很难获得所有生物信息,本研究只收集到了部分鸟类数据,没有鱼类数据。所以对于保护物种的确定,本研究结合专家意见,从当地被列为 IUCN 红色名录的水鸟中选取了 16 种特色种、珍稀濒危种作为指示保护物种。

(4) 地下水分布

基于中国地质科学院水文地质环境地质研究所的地下水数据,从地下水可利用角度,综合地下水资源分区、地下水资源量和地下水开采利用程度提取了 5 个有效地下水分布区。

2.3.3 保护目标设定

本研究对各个保护对象设定了一系列不同的保护目标(10%、15%、20%、25%、30%、35%、40%、45%、

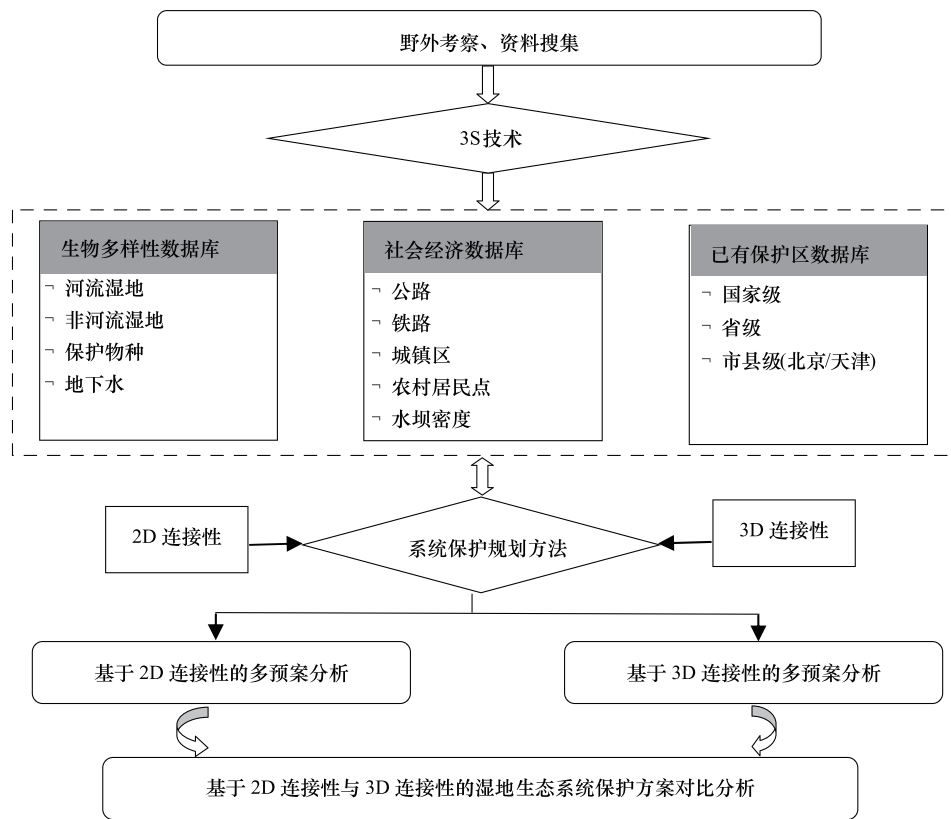


图 1 黄淮海地区湿地生态系统保护多预案分析技术路线图

Fig. 1 Sketch map of multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation in HHHR

50%、55%、60%、65%、70%)，以期得出不同目标下的保护预案进行对比分析。

2.3.4 保护代价分析

系统保护规划研究中,保护代价分析也可称生态完整性分析,或生境适宜性分析。其中代价指数与完整性指数是互为倒数的,保护代价越高就说明区域的生态完整性越差,受到的人为影响也越大,生物多样性的适宜程度就越低。由于直接度量黄淮海地区的保护代价难以实现,所以用人为干扰作为间接指标来代替。考虑到研究区的实际情况以及数据的可获得性,本研究选取公路、铁路、城镇、农村居民点和水坝作为计算保护代价的间接因子,并选取保护区作为保护代价指数的补充,用来对由人为干扰因子得出的保护代价进行调整的(表 1)。

表 1 各影响因子的度量和权重

Table 1 Metric and weight of each factor

因子 Factors	度量(每个集水区) Metric for each catchment	权重系数 Weight
公路 Roads	公路长度/河流长度	1
铁路 Railways	公路长度/河流长度	1
城镇 Towns	城镇面积/集水区面积	5
农村居民点 Villages	农村居民点个数/集水区面积	5
大坝 Dams	大坝个数/集水区面积	20
保护区 Reserves	保护区面积/集水区面积	

计算公式为:

$$C = \sum_{j=1}^n \left(\frac{V_i - V_{i,\min}}{V_{i,\max} - V_{i,\min}} W_i \right), C' = C(1 - 0.5R)$$

式中, V_i 为每个集水区内因子 i 的度量值, W_i 为因子 i 的权重, j 为每个集水区内因子的个数, C 为每个集水区调整前的代价值, C' 为每个集水区经过保护区调整后的代价值, R 为每个集水区内被保护区覆盖的面积比。

2.3.5 湿地生态系统保护多预案分析

(1) 基于 2D 连接性的湿地生态系统保护多预案分析

选取 23 种河流湿地生态系统类型、8 种非河流湿地生态系统类型和 16 种 IUCN 红色名录鸟类作为保护对象, 基于 2D 连接性原则, 设定一系列保护目标, 通过综合对比不同保护目标下的预案, 确定一个相对合理的保护目标, 然后对于该保护目标下的预案通过 BLM 来调整保护格局的聚集性, 最终得到一个优化的保护方案。

(2) 基于 3D 连接性的湿地生态系统保护多预案分析

研究方法与 2D 连接性研究相同, 只不过保护对象在 2D 连接性研究基础上添加了 5 个有效地下水分布区。

(3) 基于 2D 连接性和 3D 连接性的湿地生态系统保护方案对比分析

将分别基于 2D 连接性和 3D 连接性得出的湿地生态系统保护方案, 以单位保护代价所能保护的规划单元为准则综合对比两种方案的保护效率 (E)。

3 结果与分析

3.1 基于 2D 连接性的湿地生态系统保护多预案分析

3.1.1 湿地生态系统保护多目标预案分析

图 2 中基于保护目标选取的规划单元的边界长度, 用以表示选出的新保护区, 边界长度越大, 表示在同一保护代价下选出的新保护区越多。由图 2a 可得, 随着保护目标的增大, 保护代价以及选出的规划单元边界长度也在相应地增加, 但二者增加的趋势不同: 当保护目标从 10% 增加到 15%, 保护代价是呈上升趋势, 但边界长度基本上变化不大; 当保护目标从 15% 增加到 30%, 保护代价和边界长度都呈上升趋势, 且边界长度变化明显; 而保护目标在 30%—35% 区间的情况类似于 10%—15% 区间的情况; 随后 (35%—70%) 保护代价和边界长度都随着保护目标的增加呈上升趋势。根据图 2a, 可以得出 10% 和 30% 的保护目标设置相对合理, 参考国际上陆生生态系统研究中一般设置 10%—30% 的保护目标^[1-3], 同时考虑到湿地生态系统保护价值, 本研究

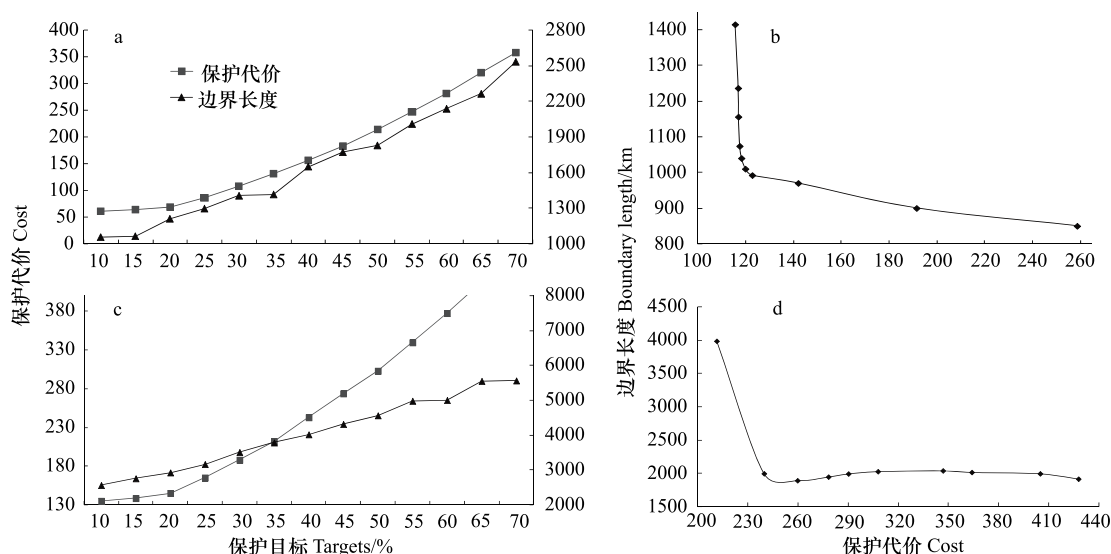


图 2 黄淮海地区湿地生态系统保护多预案分析

Fig. 2 Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation in HHHR

a) 2D 连接性, 保护代价/选出的规划单元与保护目标的关系; b) 2D 连接性, 基于不同 BLM 值的保护代价与选出的规划单元关系; c) 3D 连接性, 保护代价/选出的规划单元与保护目标的关系; d) 3D 连接性, 基于不同 BLM 值的保护代价与选出的规划单元关系

建议选择 30% 的目标设置。

3.1.2 湿地生态系统保护格局聚集性敏感性分析——BLM 调整

本研究基于确定的 30% 保护目标,通过 Marxan 设定不同的 BLM 值来调整保护格局的聚集性。通过敏感性分析,选取适当的 BLM 变化区间(0—0.55),在该区间内依次设定 BLM 值为 0、0.06、0.12、0.18、0.24、0.30、0.36、0.42、0.48 和 0.55。由图 2b 可得:在 0—0.55 的 BLM 值范围内,保护格局边界长度随着保护代价的增加而减少。刚开始,当保护代价值变化不大时,边界长度下降迅速;但是随着保护代价逐渐增大时,边界长度变化缓慢。由该图可以明显得出拐点,而该点就是研究所需的相对合理的 BLM 值(为 0.36)。

所以对基于 2D 连接性的湿地生态系统保护研究,建议对河流湿地、非河流湿地和保护物种设定 30% 的保护目标,选取 BLM 值为 0.36 的保护格局聚集性,以此得到相对合理的湿地生态系统保护方案。

3.2 基于 3D 连接性的湿地生态系统保护多预案分析

3.2.1 湿地生态系统保护多目标预案分析

同 2D 连接性的保护分析一样。根据图 2c,对于 3D 连接性研究,55% 和 65% 的保护目标设置是相对合理的。但是,若对所有保护对象都设置 55% 或 65% 保护目标,其保护代价非常大(图 2c),实际中可能难以实现。所以综合 2D 连接性分析,建议对河流湿地生态系统、非河流湿地生态系统和保护物种仍设定 30% 的保护目标(从图 2a 也可得出,此时保护代价相对较小),而对于地下水设置 55% 的保护目标^[14]。

3.2.2 湿地生态系统保护格局聚集性敏感性分析——BLM 调整

同 2D 连接性的保护分析一样。由图 2d 可得,建议 3D 连接性的 BLM 值设定为 0.06。

所以对基于 3D 连接性的湿地生态系统保护研究,建议对河流湿地、非河流湿地和保护物种设定 30% 的保护目标,对地下水设定 55% 的保护目标,而 BLM 值设定为 0.06,以此得到基于 3D 连接性的湿地生态系统保护方案。

3.3 基于 2D 连接性与 3D 连接性的湿地生态系统保护方案对比分析

由图 3 可得,基于 3D 连接性的保护代价要比基于 2D 连接性的保护代价高,且随着保护目标增加而增加,但是基于 3D 连接性选取的规划单元要远比基于 2D 连接性选取的规划单元多(图 3)。所以本研究以单位保护代价所能选取的规划单元为准则综合对比二者(图 3)。由图 3 可以看出,随着保护目标的增加,尽管单位保护代价所能保护的规划单元呈下降趋,但是基于 3D 连接性保护方案的效率要比基于 2D 连接性的高。

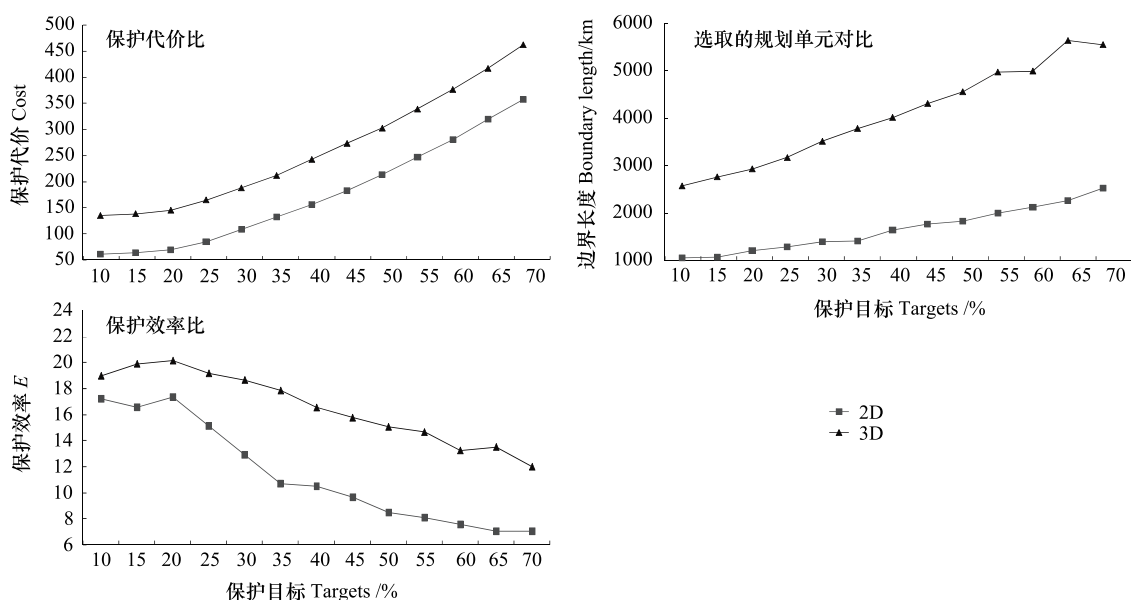


图 3 基于 2D 连接性与 3D 连接性的湿地生态系统保护方案对比分析

Fig. 3 Comparison of conservation planning based on 2D connectivity and 3D connectivity

再加之黄淮海地区的特殊性,3D 连接性的保护方案更具有现实意义。

通过对比 2D 连接性和 3D 连接性的湿地生态系统保护方案,本研究发现基于 3D 连接性构建湿地生态系统保护优化体系不仅必要,而且可行。尤其是对于严重缺水的黄淮海地区来说具有重要的现实意义。

4 讨论

4.1 同相关研究的比较

近十几年来,系统保护规划方法被广泛应用于区域生物多样性保护研究中,而有关区域生物多样性保护的方法还有热点地区优先性分析方法、保护空缺 GAP 分析方法、区域生态网络思想等,而系统保护规划方法正是综合了以上相关研究方法的系统化发展,其主要发展脉络体现为:热点地区优先性分析—保护空缺 GAP 分析—区域生态网络保护思想—系统保护规划方法^[3]。

李迪强等、吴波等运用热点地区优先性分析方法,通过考虑物种丰富度、濒危程度以及人为干扰程度等来识别生物多样性关键地区,并借此进行生态保护优先性的设定^[35-36]。该研究可以定量地表征生物多样性保护的优先顺序,但是其用来表明一个地区重要性的一些指标或指数,如物种丰富度指数、人为干扰指数等,主要是依据专家打分来确定,有很大的主观性。

李晓文等基于保护空缺 GAP 分析方法,通过生境外推原理来确定潜在生境和保护空缺,进行了长江中游生态区湿地保护空缺分析以及生态保护网络构建的研究^[23]。但是该研究主要考虑现有生物信息,没有考虑到形成并维持现有生物信息的生态过程的保护,也未涉及到生物保护的代价,只是对保护空缺进行定性的确定,却未对其保护优先性进行定量排序;此外,其研究中构建生态保护网络时对于连接性的考虑主要依赖于专家知识,即使作者本人也觉得研究中对于连接性考虑也有待于完善。而本研究就是在李晓文老师指导下基于其前期 GAP 分析研究基础上对系统保护规划方法的国内运用。

对于整合优先性保护和生态网络保护思想的系统保护规划方法,栾晓峰等对东北生物多样性热点地区的研究是对该方法在国内真正意义上的应用和探索^[22],对本研究具有重要的指导意义。但是其研究采用的是 C-plan 模型,C-plan 模型未有考虑连接性的功能^[4-6],近年来也较少应用于系统保护规划研究中。目前系统保护规划中应用比较广泛的模型是 Marxan,而其开发者 Matt Watts 也一直致力于 Marxan 模型的开发应用,Marxan 模型的新版本 *Zonae Cogito* (ZC) 不仅将模型操作同 GIS 界面融合成一个交互界面,便于使用者的操作,它还增加了边界长度调整 (BLM) 功能,使得研究者在考虑连接性的同时,还可以进行保护格局聚集性的调整^[30]。考虑到湿地生态系统保护规划中连接性以及保护格局聚集性的重要,本研究采用了 Marxan (ZC) 模型。

同之前作者本人的黄淮海地区湿地保护格局构建的研究^[3]相比较,本研究既是先前研究中某一部分的细化,又是在原有研究基础上的完善。相关方面主要有:

(1) 研究区界定和规划单元划分时考虑了连接性。系统保护规划方法是基于一定大小的规划单元进行的,比如网格、六边形和环境单元。网格和六边形常被用于陆生/海洋生态系统中,但是这种规则的区域划分方法有可能导致同一生境被分割成几块或更多;环境单元(比如集水区 Catchment)是基于物理环境因素划分的,便于区域或流域间连接性的考虑,更适于湿地/水生生态系统的保护规划和管理研究^[37]。所以不同于先前研究,本研究是基于流域单元而不是行政单元来界定研究区,采用集水区而不是网格作为规划单元进行分析。

(2) 保护对象和研究数据的考虑更加综合。相比之前研究,本研究在湿地、保护物种等保护对象考虑基础上,又将地下水因素纳入研究。这主要因为地表水系及其相关的生物多样性是由地表—地下间的水文联系所维持的^[38],随着系统保护规划方法的发展,相关研究也不仅限于地表水系,地下含水层的保护更有利于湿地生态系统的有效保护,垂向连接性的考虑更显的重要。再者,对于黄淮海地区来说,由于其大部分位于我国华北缺水地区,地下水的保护 also 具有重要的现实意义。所以本研究从地下水可利用角度,综合地下水资源分区、地下水资源量和地下水开采利用程度提取了 5 个有效的地下水分布区。

即使针对湿地这一类保护对象,本研究考虑的因素也较之前研究有所改善。之前研究中湿地数据主要是基于中国科学院地理科学与资源研究所的 1 km^2 的栅格土地利用数据而提取,由于该数据分类系统主要是从土地的社会经济角度考虑,对于湿地的考虑不全面,比如有些湿地被划分到了高覆盖度草地或盐碱地中,未能涵盖完全意义上的湿地类型。而本研究采用的湿地数据主要依据遥感科学国家重点实验室 2009 年编制完成的全国湿地矢量数据(2000 年),该数据是我国首个全国湿地分布图,其分类体系主要依据湿地公约中的湿地划分类型,更符合湿地保护的实际需要。

再者,本研究在考虑湿地这一类保护对象时,综合考虑了国际上相关研究^[7,9-10,13-15,20,33],将湿地生态系统划分为河流湿地生态系统和非河流湿地生态系统。国际上系统保护规划领域有关河流湿地生态系统分类方案的研究比较多,其中影响较大的就是 TNC 开发的一套分类体系^[12,33]。尽管如此,但目前尚未有统一的分类方案^[39]。本研究中河流湿地生态系统分类方案是在 TNC 分类方法基础上,综合考虑其他相关研究和现有的基础数据,以及研究区的实际情况制定的,并通过对相关性分析和聚类分析对初次分类结果进行修改,比如剔除数量少的类型,合并相关的类型等,以减少分类系统的复杂性,得到切实可行的分类方案,最终划分了 23 种河流湿地生态系统类型。本研究划分的 8 种非河流湿地生态系统类型,则综合考虑了该区域特色以及湿地的生态功能价值。比如,滨海湿地、淡水沼泽等湿地类型体现了该区域湿地特色;另一方面,尽管本研究主要考虑自然或半自然湿地,但对于养殖和盐田人工湿地来说,由于其也是鸟类的重要停歇地、觅食地,尤其是在鸟类迁徙季节,具有重要的生态功能,故也将其纳入研究。

(3)综合系统地考虑多方面因素进行保护代价分析。由于实际情况限制,之前研究中的保护代价分析仅考虑了人口和 GDP 这两个因素,而且是 1 km^2 栅格数据,分析方法也主要是栅格图层的权重叠加运算。本研究综合了 1:25 万的公路、铁路、水坝、农村居民点和城镇分布等社会经济因素,以及已有保护区信息来间接获取保护代价。其中路网和居民分布与经济发展紧密关联,可以很好地表征社会经济活动;水坝的考虑对于河流湿地生态系统类型的保护非常重要,因为水坝能够影响河流湿地上下游之间的纵向连接性;保护区是作为保护代价指数的补充,用来对由人为干扰因子得出的保护代价进行调整的,基于保护区覆盖面积比所作调整能减少保护代价,增加相对生态完整性指数,这是因为受到保护的区域有利于景观和生态过程的维持。本研究保护代价分析参考了 TNC 中国部“长江上游生物多样性远景规划试点项目”相关研究^[40],保护代价的计算具体到每个集水区,并且同集水区面积、集水区河网长度相关联。

(4)多目标预案分析和保护格局聚集性敏感性分析(BLM 调整)综合。本研究在之前研究的多目标预案分析基础上又进行了保护格局聚集性的调整,从而得到基于特定目标下的具有较高聚集程度的保护格局,便于实际保护体系的管理。对于用 BLM 敏感性分析来调整保护格局聚集性的研究,通常保护格局的聚集性随着 BLM 值增大而增大,而保护格局的聚集性越大也越利于保护体系的管理,所以在自然保护区体系设计时应尽可能增大保护格局的聚集性,但是增加聚集性会在一定程度上增加成本代价^[2,30],而现实中资金又是有限的,所以应确定一个相对合理的 BLM 值。研究中,一般用保护格局边界长度表示保护格局的聚集性,保护格局面积一定时,保护格局边界长度越低表示保护格局的聚集性越好;反之,保护格局就越分散。所以系统保护规划研究中往往采用保护代价与得出的保护格局边界长度之间关系来确定相对合理的 BLM 值^[30]。但是实际研究中,BLM 不同的取值范围,保护代价同保护格局边界长度的关系并不总是呈现出规律性变化。所以本研究首先通过敏感性分析确定 BLM 相对合理的取值范围,然后再在该范围内确定相对合理的 BLM 值。

4.2 研究意义

(1)各湿地类型整合的多维连接性考虑。本研究将湿地生态系统分为河流湿地生态系统和非河流湿地生态系统(滨海湿地、湖泊湿地、淡水沼泽等),将各类型湿地综合起来构建区域湿地生态系统保护格局,是真正意义上的湿地生态系统保护规划研究。不仅考虑到河流湿地上下游的纵向联系,各湿地类型的横向联系,还考虑到地表、地下间的垂向联系,将 3D 连接性纳入保护规划研究中。通过与基于 2D 连接性保护方案的对比分析,得出黄淮海地区考虑 3D 连接性进行湿地生态系统保护不仅必要,而且可行。

(2)系统保护规划与预案相结合的多预案情景分析。系统保护规划研究中对于保护目标的设置,一直都是比较主观的,至今还未有一个相对完善的方法。国外大多相关研究的保护目标设置主要是通过详细的实地调研和数据资料搜集,然后根据所能支付的保护费用,由研究者、各利益相关者和相关领域专家多次协商、讨论而确定一个相对合理的保护目标^[1-2]。但是本研究中,由于各方面实际因素限制,难以像国外那样经过反复协商论证得出保护目标。所以在确定保护目标时,通过综合对比不同目标下的保护预案而得出一个相对合理的目标值,在一定程度上克服了保护目标设定主观性的问题。目前国际上没有类似于多目标预案综合对比来确定保护目标的研究案例,本研究采用这种方法时,也没有直接的可参考依据,更多的是根据研究者自身实际情况。对于该方法的价值或者可引用性到底有多大,还值得以后继续探讨。但是相对于人为主观设定一个保护目标,采用该方法更具客观性。

致谢:感谢遥感科学国家重点实验室牛振国副研究员在湿地数据处理过程中给予的帮助。

References:

- [1] Margules C R, Pressey R L. Systematic conservation planning. *Nature*, 2000, 405(6783): 243-253.
- [2] Margules C R, Sarkar S. Systematic Conservation Planning. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [3] Song X L, Li X W, Zhang M X, Zhang L N, Li D L. Systematic conservation pattern for the wetland biodiversity in HuangHuaiHai Region, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 3953-3965.
- [4] Balmford A. Conservation planning in the real world: South Africa shows the way. *Trends in Ecology and Evolution*, 2003, 18(9): 435-438.
- [5] Cowling R M, Pressey R L, Sims-Castley R, le Roux A, Baard E, Burgers C J, Palmer G. The expert or the algorithm? —comparison of priority conservation areas in the Cape Floristic Region identified by park managers and reserve selection software. *Biological Conservation*, 2003, 112(1/2): 147-167.
- [6] Rouget M, Richardson D M, Cowling R M. The current configuration of protected areas in the Cape Floristic Region, South Africa-reservation bias and representation of biodiversity patterns and processes. *Biological Conservation*, 2003, 112(1/2): 129-145.
- [7] Amis M A, Rouget M, Lotter M, Day J. Integrating freshwater and terrestrial priorities in conservation planning. *Biological Conservation*, 2009, 142(10): 2217-2226.
- [8] Carwardine J, Rochester W A, Richardson K S, Williams K J, Pressey R L, Possingham H P. Conservation planning with irreplaceability: dose the method matter?. *Biodiversity and Conservation*, 2007, 16(1): 245-258.
- [9] Hermoso V, Linke S, Prenda J, Possingham H P. Addressing longitudinal connectivity in the systematic conservation planning of fresh waters. *Freshwater Biology*, 2011, 56(1): 57-70.
- [10] Higgins J V, Bryer M T, Khour M L, Fitzhugh T W. A freshwater classification approach for biodiversity conservation planning. *Conservation Biology*, 2005, 19(2): 432-445.
- [11] Klein C, Wilson K, Watts M, Stein J, Berry S, Carwardine J, Smith M S, Mackey B, Possingham H. Incorporating ecological and evolutionary processes into continental-scale conservation planning. *Ecological Applications*, 2009, 19(1): 206-217.
- [12] Knight A T, Cowling R M, Rouget M, Balmford A, Lombard A T, Campbell B M. Knowing but not doing: selecting priority conservation areas and the research-implementation gap. *Conservation Biology*, 2008, 22(3): 610-617.
- [13] Linke S, Norris R H, Pressey R L. Irreplaceability of river network: towards catchment-based conservation planning. *Journal of Applied Ecology*, 2008, 45(5): 1486-1495.
- [14] Linke S, Turak E, Possingham H P. Integrating river, wetland and groundwater conservation planning. Beijing: Society for Conservation Biology 23rd, 2009: 276-276.
- [15] Nel J L, Roux D J, Abell R, Ashton P J, Cowling R M, Higgins J V, Thieme M, Viers J H. Progress and challenges in freshwater conservation planning. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2008, 19(4): 474-485.
- [16] Polasky S. Why conservation planning needs socioeconomic data. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2008, 105(18): 6505-6506.
- [17] Pressey R L, Cabeza M, Watts M E, Cowling R M, Wilson K A. Conservation planning in a changing world. *Trends in Ecology and Evolution*, 2007, 22(11): 583-592.
- [18] Rodrigues A S L, Andelman S J, Bakarr M I, Boitani L, Brooks T M, Cowling R M, Fishpool L D C, Da Fonseca G A B, Gaston K J, Hoffmann M, Long J S, Marquet P A, Pilgrim J D, Pressey R L, Schipper J, Sechrest W, Stuart S N, Underhill L G, Waller R W, Watts M E J, Yan X. Effectiveness of the global protected area network in representing species diversity. *Nature*, 2004, 428(6983): 640-643.
- [19] Mittermeier R A, Gascon C, Rajaobelina L, Supriatna J, Cardoso da Silva J M, Rodríguez C M, Zhi L, Brandon K. Global and local conservation priorities. *Science*, 2007, 318(5855): 1377-1382.
- [20] Thieme M, Lehner B, Abell R, Hamilton S K, Kellendorfer J, Powell G, Riveros J C. Freshwater conservation planning in data-poor areas: an

- example from a remote Amazonian basin (Madre de Dios River, Peru and Bolivia). *Biological Conservation*, 2007, 135(4): 484-501.
- [21] Wilson K A, McBride M F, Bode M, Possingham H P. Prioritizing global conservation efforts. *Nature*, 2006, 440(7082): 337-340.
- [22] 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.
- [23] Li X W, Zheng Y, Zhao Z K, Li C. The Gap analysis of wetland conservation and its conservation network building in Central Yangtze Ecoregion. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 4979-4989.
- [24] Qu Y, Wang X L, Luan X F, Li D Q. Irreplaceability-based function zoning of nature reserves in the Three Rivers Headwater Region of Qinghai Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(13): 3609-3620.
- [25] Li X W, Xiao D N, Hu Y M. The landscape planning scenarios designing and the measures identification in the Liaohe River Delta wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(3): 353-364.
- [26] Liu M, Hu Y M, Chang Y, Bu R C, He H S, Chen H W, Han W Q. Effects of eco-protection policy on land use/cover in upper reaches of Minjiang River. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(6): 1351-1358.
- [27] van Apeldoorn R C, Knaapen J P, Schippers P, Verboom J, van Engen H, Meeuwsen H. Applying ecological knowledge in landscape planning: a simulation model as a tool to evaluate scenarios for the badger in the Netherlands. *Landscape and Urban Planning*, 1998, 41(1): 57-69.
- [28] Chen K L. A Study on Migratory Waterbirds and Wetlands in the Yellow Sea. Beijing: China Forestry Publishing House, 2006.
- [29] Li W. Measures for protection of riparian wetland surrounding Bohai. *Forest Inventory and Planning*, 2009, 34(2): 100-103.
- [30] Ardron J A, Possingham H P, Klein C J. *Marxan Good Practices Handbook (Version 2)*. Pacific Marine Analysis and Research Association, Victoria, BC, Canada, 2010. www.pacmara.org.
- [31] Watts M E, Ball I R, Stewart R S, Klein C J, Wilson K, Steinback C, Lourival R, Kircher L, Possingham H P. Marxan with Zones: software for optimal conservation based land- and sea-use zoning. *Environmental Modelling and Software*, 2009, 24(12): 1513-1521.
- [32] Yi W H. Establishment of Hydrologic Database in Wanchuan River Watershed Based on Arc Hydro Data Model [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2007.
- [33] Kingsford R T, Dunn H, Love D, Nevill J, Stein J, Tait J. Protecting Australia's Rivers, Wetlands and Estuaries of High Conservation Value: A Blueprint. Canberra: Department of the Environment and Heritage, 2005.
- [34] Strahler A N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, 1957, 38(6): 913-920.
- [35] Li D Q, Lin Y H, Lu J. Assessing biodiversity conservation priorities in Youxi County. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(8): 1315-1322.
- [36] 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.
- [37] Wishart M J, Davies B R. Beyond catchment considerations in the conservation of lotic biodiversity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2003, 13(5): 429-437.
- [38] Sophocleous M. Interactions between groundwater and surface water: the state of the science. *Hydrogeology Journal*, 2002, 10(1): 52-67.
- [39] Fausch K D, Torgersen C E, Baxter C V, Li H W. Landscapes to riverscapes: bridging the gap between research and conservation of stream fishes. *Bioscience*, 2002, 52(6): 483-498.
- [40] Wang L Z, Heiner M, Yu Q, Li X H, Wu R D, Zhao P, Bi J. A blueprint for biodiversity conservation in the Upper Yangtze River Basin. Beijing: Society for Conservation Biology 23rd, 2009: 347-347.

参考文献:

- [3] 宋晓龙, 李晓文, 张明祥, 张黎娜, 李东来. 黄淮海地区湿地系统生物多样性保护格局构建. *生态学报*, 2010, 30(15): 3953-3965.
- [22] 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.
- [23] 李晓文, 郑钰, 赵振坤, 黎聪. 长江中游生态区湿地保护空缺分析及其保护网络构建. *生态学报*, 2007, 27(12): 4979-4989.
- [24] 曲艺, 王秀磊, 栾晓峰, 李迪强. 基于不可替代性的青海省三江源地区保护区功能区划研究. *生态学报*, 2011, 31(13): 3609-3620.
- [25] 李晓文, 肖笃宁, 胡远满. 辽河三角洲滨海湿地景观规划预案设计及其实施措施的确定. *生态学报*, 2001, 21(3): 353-364.
- [26] 刘森, 胡远满, 常禹, 布仁仓, 贺红士, 陈宏伟, 韩文权. 生态保护政策对岷江上游地区土地利用/覆被的影响. *应用生态学报*, 2010, 21(6): 1351-1358.
- [28] 陈克林. 黄渤海湿地与迁徙水鸟研究. 北京: 中国林业出版社, 2006.
- [29] 黎伟. 环渤海沿岸湿地保护措施. *林业调查规划*, 2009, 34(2): 100-103.
- [32] 易卫华. 基于 Arc Hydro 数据模型构建宛川河流域水文数据库 [D]. 兰州: 兰州大学, 2007.
- [35] 李迪强, 林英华, 陆军. 尤溪县生物多样性保护优先地区分析. *生态学报*, 2002, 22(8): 1315-1322.
- [36] 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.

CONTENTS

The community structure of endophytic bacteria in different parts of huanglongbing-affected citrus plants	LIU Bo, ZHENG Xuefang, SUN Daguang, et al (7325)
A research on the response of the radial growth of <i>Pinus koraiensis</i> to future climate change in the XiaoXing'AnLing	YIN Hong, WANG Jing, LIU Hongbin, et al (7343)
Efficiency and kinetic process of nitrogen removal in a subsurface wastewater infiltration system (SWIS)	LI Haibo, LI Yinghua, SUN Tieheng, et al (7351)
Designing nature reserve systems based on ecosystem services in Hainan Island	XIAO Yi, CHEN Shengbin, ZHANG Lu, et al (7357)
Assessing ecological services value of herbivorous wild animals in Changtang grassland: a case study of Tibetan antelope	LU Chunxia, LIU Ming, FENG Yue, et al (7370)
Spatial characteristics analysis of ecological system service value in QianJiang City of Hubei Province	XU Beishen, ZHOU Yong, XU Li, et al (7379)
Landscape pattern change and its influence on soil carbon pool in Napahai wetland of Northwestern Yunnan	LI Ningyun, YUAN Hua, TIAN Kun, et al (7388)
Multi-scenarios analysis for wetlands ecosystem conservation based on connectivity: a case study on HuangHuaiHai Region, China ...	SONG Xiaolong, LI Xiaowen, ZHANG Mingxiang, et al (7397)
The potential of carbon sink in alpine meadow ecosystem on the Qinghai-Tibetan Plateau	HAN Daorui, CAO Guangmin, GUO Xiaowei, et al (7408)
The relations of spectrum reflectance with inhomogeneous factors and albedo parameterization ...	ZHANG Jie, ZHANG Qiang (7418)
Groundwater ecological sensitivity assessment in the lower Liaohe River Plain based on GIS technique	SUN Caizhi, YANG Lei, HU Dongling (7428)
Ecological sensitivity of Xiamen City to land use changes	HUANG Jing, CUI Shenghui, LI Fangyi, et al (7441)
Investigation and analysis on situation of ecotourism development in protected areas of China	ZHONG Linsheng, WANG Jing (7450)
Handicapping male-cheaters by stable mate relationship in yellow-bellied prinia, <i>Prinia flaviiventris</i>	CHU Fuyin, TANG Sixian, PAN Hujun, et al (7458)
Effects of dietary protein content and food restriction on the physiological characteristics of female <i>Microtus fortis</i>	ZHU Junxia, WANG Yong, ZHANG Meiwen, et al (7464)
Predator-prey system with positive effect for prey	QI Jun, SU Zhiyong (7471)
Volatile constituents of four moraceous host plants of <i>Apriona germari</i>	ZHANG Lin, WANG Baode, XU Zhichun (7479)
Relationship between adult emergence of <i>Massicus raddei</i> (Coleoptera: Cerambycidae) and temperature and relative humidity	YANG Zhongqi, WANG Xiaoyi, WANG Bao, et al (7486)
Nest site selection and reproductive success of <i>Parus varius</i> in man-made nest boxes	LI Le, WAN Dongmei, LIU He, et al (7492)
A study on bio-ecology of the stopover site of waders within China's Yalu River estuary wetlands	SONG Lun, YANG Guojun, LI Ai, et al (7500)
The spatial-temporal change variations of temperature in Xilinguole steppe zone	WANG Haimei, LI Zhenghai, WU Lan, et al (7511)
The growth and photosynthetic responses of <i>Cleyera japonica</i> Thunb. seedlings to UV-B radiation stress	LAN Chunjian, JIANG Hong, HUANG Meiling, et al (7516)
Photosynthesis-transpiration coupling mechanism of wheat and maize during daily variation	ZHAO Fenghua, WANG Qiufeng, WANG Jianlin, et al (7526)
Comparison of the methods using stable hydrogen and oxygen isotope to distinguish the water source of <i>Nitratia Tangutorum</i>	GONG Guoli, CHEN Hui, DUAN Deyu (7533)
Effects of cold weather on seedlings of three mangrove species planted in the Min River estuary during the 2010 winter	YONG Shiquan, TONG Chuan, ZHUANG Chenhui, et al (7542)
Correlation between ecological factors and ginsenosides	XIE Caixiang, SUO Fengmei, JIA Guanglin, et al (7551)
Effects of pyrene on low molecule weight organic compounds in the root exudates of ryegrass (<i>Lolium perenne</i> L.)	XIE Xiaomei, LIAO Min, YANG Jing (7564)
Isolation of phosphate solubilizing fungus (<i>Aspergillus niger</i>) from <i>Caragana</i> rhizosphere and its potential for phosphate solubilization	ZHANG Lizhen, FAN Jingjing, NIU Wei, et al (7571)
Effect of raindrop impact on nutrient losses under different near -surface soil hydraulic conditions on black soil slope	AN Juan, ZHENG Fenli, LI Guifang, et al (7579)
Emergy analysis of coal-fired power generation system and construction of new emergy indices	LOU Bo, XU Yi, LIN Zhenguan (7591)
Review and Monograph	
The impact of forest vegetation change on water yield in the subalpine region of southwestern China	ZHANG Yuandong, LIU Shirong, et al (7601)
Reviews on spatial pattern and sand-binding effect of patch vegetation in arid desert area	HU Guanglu, ZHAO Wenzhi, WANG Gang (7609)
Sustainable management on pests by agro-biodiversity	GAO Dong, HE Xiahong, ZHU Shusheng (7617)
Scientific Note	
Characteristics of organic carbon and nutrient content in five soil types in Honghu wetland ecosystems	LIU Gang, SHEN Shouyun, YAN Wende, et al (7625)
Effects of cypermethrin and deltamethrin on reproduction of <i>Brachionus calyciflorus</i>	HUANG Lin, LIU Changli, WEI Chuanbao, et al (7632)

《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 31 卷 第 24 期 (2011 年 12 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 24 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 70.00 元