

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 燧, 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

肖焱, 陈圣宾, 张路, 岳平, 欧阳志云, 刘贤词. 基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划. 生态学报, 2011, 31(24): 7357-7369.

Xiao Y, Chen S B, Zhang L, Yue P, Ouyang Z Y, Liu X C. Designing nature reserve systems in Hainan Island based on ecosystem services. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(24): 7357-7369.

基于生态系统服务的海南岛自然保护区体系规划

肖 焱¹, 陈圣宾¹, 张 路¹, 岳 平², 欧阳志云^{1,*}, 刘贤词²

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 海南省环境科学研究院, 海口 570102)

摘要:随着我国生物多样性保护与生态建设的发展, 区域尺度自然保护区体系规划得到广泛的关注。以海南岛为例, 探索了利用生态系统服务空间格局进行区域自然保护区规划的方法。研究中, 首先从生物多样性分布、水源涵养、水资源保护、土壤保持和海岸带防护等 5 个方面分析了海南岛生态系统服务的空间格局, 综合评价单元生态系统重要性; 然后基于生态系统服务综合评价结果, 并根据海南省保护自然过程与生物多样性并重的要求, 识别出生态重要性高但无保护区或保护面积不足的空间单元, 提出海南岛自然保护区体系规划。

根据本规划, 海南岛将共建成规范完善的自然保护区 42 个, 总面积 290.14 万 hm^2 。其中, 陆地自然保护区面积 41.26 万 hm^2 , 占海南岛陆地总面积的 11.79%。新建保护区 4 个 (面积 8.80 万 hm^2), 调整保护区 4 个 (扩大面积 8.01 万公顷), 优化整合原有保护区中的 17 个为 6 个, 升级保护区 4 个。结果表明, 基于生态系统服务的自然保护区体系规划有助于发挥自然保护区的综合效益, 并具有更强的可操作性。将生态系统服务纳入自然保护区体系规划应是今后的发展方向。

关键词:自然保护区体系; 生态系统服务; 生态规划; 海南岛; 生物多样性

Designing nature reserve systems based on ecosystem services in Hainan Island

XIAO Yi¹, CHEN Shengbin¹, ZHANG Lu¹, YUE Ping², OUYANG Zhiyun^{1,*}, LIU Xianci²

1 State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

2 Hainan Research Academy of Environmental Sciences, Haikou 570102, China

Abstract: With the development of biodiversity conservation and ecological construction in China, system planning of natural reserves at regional scale has received wide attention. Taking Hainan Island as an example, this study explores the regional natural reserves planning method according to the spatial pattern of ecosystem services.

Considering the five aspects of biodiversity distribution, water conservation, water resource protection, soil conservation, and coastal protection, we first analyzed the spatial pattern of ecosystem services in Hainan Island and evaluated the importance of unit ecosystem. Then, based on the results of ecosystem services evaluation and the dual requirements of protecting both natural processes and biodiversity in Hainan, we identified the spatial units of high ecological importance but with inadequate or no natural reserve protection. Finally, we proposed our system planning of natural reserves for Hainan Island.

According to the planning, Hainan Island will build up 42 improved natural reserves with a total area of 2901400 hm^2 . The terrestrial area of natural reserves is 412600 hm^2 , accounting for 11.79% of the total land area in Hainan. Of all the reserves, there are four newly-built ones (88000 hm^2), four adjusted ones (with an expansion 80100 hm^2), six integrated ones from previous 17 reserves and four upgraded ones. This study showed that the ecosystem-services-based system planning of natural reserves would optimize the overall functions and benefits of nature reserves, and enhance the feasibility

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2009CB421105); 国家科技支撑计划项目(2006BAC08B04)

收稿日期:2011-07-31; **修订日期:**2011-11-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyouyang@cees.ac.cn

for practices. We concluded that ecosystem services should be integrated into future system planning of natural reserves.

Key Words: nature reserve; ecosystem services; system planning; Hainan Island; biodiversity

自然保护区,是指对有代表性的自然生态系统、珍稀濒危野生动植物物种的天然集中分布区、有特殊意义的自然遗迹等保护对象所在的陆地、陆地水体或者海域,依法划出一定面积予以特殊保护和管理的区域^[1]。因此,我国当前的自然保护区规划,大多基于典型生态系统类型和生物多样性的空间信息,而较少考虑生态系统服务的空间格局^[2]。

生态系统服务是指生态系统与生态过程所形成及所维持的人类赖以生存的自然环境条件与效用^[3]。在过去的 10 年间,虽然有不少学者认为,生态系统服务同样是重要的保护目标和保护区规划的主要指标之一^[4-6],但相关的方法论进展缓慢^[5, 7]。研究表明,虽然在保护生物多样性和生态系统服务之间存在权衡,仍然可以通过系统规划达到二者的协调^[8];并且将生态系统服务纳入保护规划可能是最具成本效益的保护途径^[9]。在南非,基于生物多样性的保护规划同样能够保护一定的生态系统服务^[10],而对南北美洲 34 个生态系统保护项目和 26 个生物多样性保护项目的分析表明,基于生态系统服务的保护项目更容易吸引保护资金和包涵更多的景观类型^[11]。因此,根据生态系统服务的空间格局进行自然保护区体系的规划成为当前保护生物学和生态系统管理的热点问题^[9, 12-14]。

在全球尺度上,生物多样性热点地区与生态系统服务热点地区在空间上并不完全一致,一些生态系统服务高的地区并未被生物多样性热点地区所涵盖^[15];而且,生物多样性保护区并不比随机选择的保护区保护更多的生态系统服务^[12]。而在中国海河流域,生态系统服务与生物多样性之间存在很高的空间一致性^[16]。由此可见,生态系统服务和生物多样性在空间格局上的相关性是与分析尺度和研究区域有关的^[17]。

海南是我国生态环境可持续性最强的地区之一^[18],具有很高的水源涵养、水土保持、营养物质循环、固碳和防风固沙等方面的生态调节功能,生态安全整体状况良好^[19-21]。但受历史上人为和自然风险的累积影响,海南岛生态系统的损害与退化已较为严重,主要体现在土地退化和生物多样性的丧失等方面^[22]。

本研究以海南岛为例,深入探索在区域尺度上,如何利用生态系统服务的空间格局进行自然保护区规划。目的在于,(1)探索基于生态系统服务空间格局的自然保护区体系规划方法;(2)基于规划结果,对比现有保护区的分布格局,提出海南岛自然保护区体系优化方案。

1 材料与方法

1.1 研究区域

海南省位于中国的最南部,地处北纬 3°58′—20°10′,东经 108°37′—117°50′之间。海南岛是我国仅次于台湾岛的第二大岛,总面积约 3.39 万 km²,四周低平,中间高耸。作为热带岛屿,海南岛森林覆盖率较高,生物资源丰富,保存着我国最大面积的热带雨林,是我国最大的热带自然博物馆、最丰富的物种基因库,有“绿色宝库”之称。

根据生物多样性调查,海南岛约有野生维管束植物 3900 种,其中中国特有种 843 种,海南特有种 571 种,国家一级保护植物 5 种,二级保护植物 51 种。目前海南共记录了陆栖脊椎动物有 650 种(特有种 20 种),其中两栖类有 44 种,哺乳类 81 种,爬行类 98 种,硬骨鱼类 80 种,鸟类 347 种;无脊椎动物 8761 种,特有种 865 种^[23]。列入国家一、二级重点保护的野生动物有 79 种,其中一级保护动物 7 种,二级保护动物 72 种。

海南岛遗传资源多样性十分丰富,野生种和近缘野生种和农作物古老地方品种繁多。海南已发现普通野生稻、药用野生稻和疣粒野生稻 3 个野生稻种,是中国现有已发现野生稻的全部种类,也是世界公认的 21 个野生稻种的一部分。

自 1960 年海南岛筹建第一个自然保护区——尖峰岭热带森林自然保护区以来,海南省在各级政府部门的大力支持以及广大自然保护区工作者的共同努力下,初步形成了以生态系统保护、野生生物物种保护、自然

遗迹保护、海岸线保护等为保护目标的较齐全的自然保护区体系^[24]。至 2010 年底,海南省共有 50 个自然保护区,总面积为 273.36 万 hm^2 ,主要分布在中部山区及沿海岸带(图 1)。

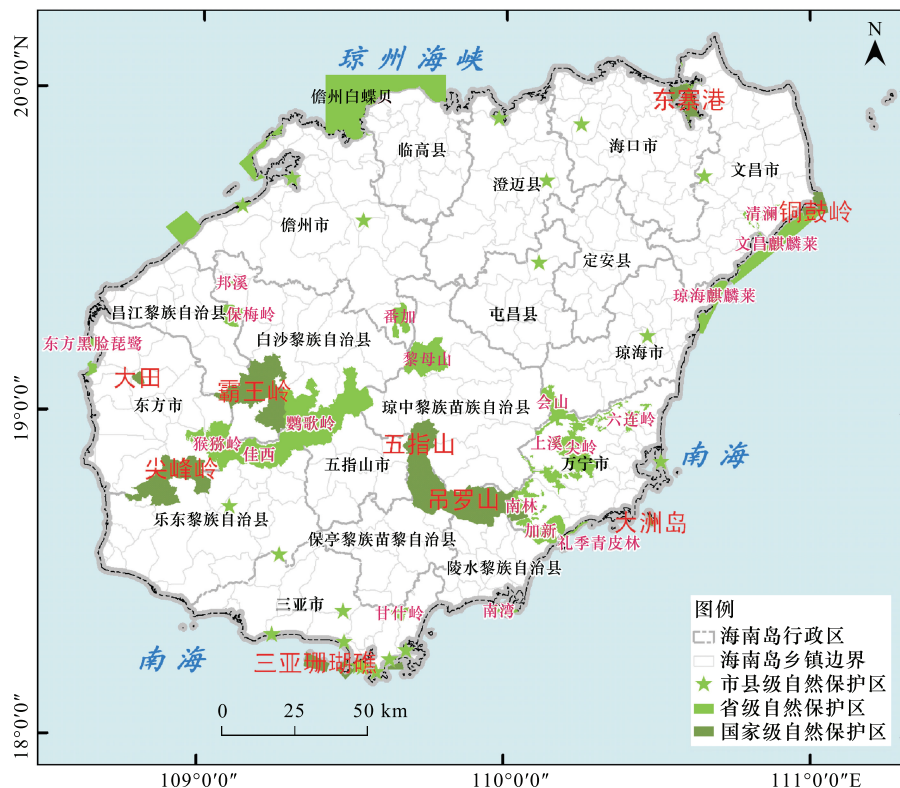


图 1 海南岛现有自然保护区空间分布

Fig. 1 Present spatial patterns of nature reserves in Hainan

但是,海南省在自然保护区的建设与管理方面还存在着许多问题,还不能满足海南生物多样性与生态功能保护的需要。主要问题有:(1)保护面积比例偏低,存在明显空缺。根据 2010 年数据统计,海南省陆地自然保护区面积仅占海南陆地面积的 7.1%,低于全国平均水平的 15.1%。海南还有一些重要生态系统、物种多样性丰富的地区没有建立自然保护区。(2)保护与发展的矛盾仍然很尖锐。(3)自然保护区面积小,分布相对孤立。据 2010 年数据统计,海南有陆地自然保护区 41 个,但平均面积仅为 5700.6 hm^2 ,最大的保护区也仅为 50464.0 hm^2 。各保护区分布相对孤立,自然保护区之间相互隔离,保护区孤岛现象普遍。(4)自然保护区建设管理不规范,管理能力低。(5)自然保护区经费严重不足。(6)科研工作相对落后,自然保护区资源本底不清。

1.2 生态系统服务评价

1.2.1 水源涵养服务评价

水源涵养服务主要表现在截留降水、增强土壤下渗、抑制蒸发、缓和地表径流和增加降水等方面。植被和土壤理化性质是其主要影响因子^[25]。根据国家环境保护总局 2003 年颁布的《生态功能区划暂行规程》,并结合评价地区不同生态系统对水源涵养能力的大小进行生态重要性(EI_{sy})评价(表 1)。

1.2.2 水资源保护服务评价

水资源保护服务是指区域生态系统对城市供水水源的贡献,是对区域复合生态系统的支持作用。在城市及城镇附近,尤其是南渡江和万泉河中下游沿岸地区,生活和工业用水基本大多取用地表水作水源,保护好水源对维持区域人口的正常生活和工农业生产是非常重要的。

本研究根据海南省主要水系及其支流汇水区域、流经区地表覆盖状况、土壤理化性质和主要城市供水取水口的位置和特点,以二级支流小流域为基本单元,对区域水资源维持的贡献率进行生态重要性(EI_{sy})评价

(表2)。

表1 水源涵养重要性分级
Table 1 Ranking of water conservation importance

分级标准 Criterion for ranking	重要性 Importance	重要性赋值 Scoring of importance
红树林、山地常绿阔叶林、山地雨林、山顶矮林、沟谷雨林、热带季雨林	极重要	100
针叶林、疏林地、灌丛	重要	75
经济林、用材林、防护林、草地、热作园	中等重要	50
农田生态系统、水域、城镇	一般重要	25

表2 水资源保护重要性分级
Table 2 Ranking of water resource protection importance

分级标准 Criterion for ranking	重要性 Importance	重要性赋值 Scoring of importance
江河源头区、重要城市饮用水源保护区	极重要	100
一般城市饮用水源上游保护地区	重要	75
以地表水为饮用水源的其他集水区	中等重要	50
地下水为饮用水源区域	一般重要	25

1.2.3 土壤保持服务评价

本研究采用 InVEST 模型^[26]对海南岛生态系统的土壤保持功能及其空间格局进行评估和分析。InVEST 模型中的土壤保持模块是以通用土壤流失方程为基础,综合考虑气候、土壤、地形和植被等各影响土壤侵蚀的因子,并综合考虑其自身的泥沙持留量^[26],计算土壤保持量:

$$A_c = R \times K \times LS \times (1 - C \times P) + S$$

式中, A_c 为土壤保持量($t \cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$); R 为降雨侵蚀力指标($F_t \cdot T \cdot In \cdot A^{-1} \cdot h^{-1}$); K 为土壤可蚀性因子; LS 为坡长坡度因子; C 为地表植被覆盖因子; P 为土壤保持措施因子, S 为泥沙持留量。根据表3进行土壤保持生态重要性(EI_{st})评价。

表3 土壤保持重要性分级
Table 3 Ranking of soil conservation importance

分级标准(土壤保持量/(t/hm^2)) Criterion for ranking (soil conservation capacity/(t/hm^2))	重要性 Importance	重要性赋值 Scoring of importance
>3000	极重要	100
1000—3000	重要	75
300—1000	中等重要	50
<300	一般重要	25

1.2.4 海岸带防护服务评价

分布于海岸带的红树林和珊瑚礁生态系统对台风、海浪和侵蚀等具有防护作用。根据海南岛海岸带特征,对近海生态系统的海岸带防护服务进行生态重要性(EI_{hd})评价(表4)。

1.2.5 生物多样性保护重要性评价

本研究选择重要保护物种作为生物多样性评价指标。这些重要保护物种均为受国家保护的濒危和受威胁物种,它们不仅体现了生物多样性的价值,也反映了人类活动和气候变化对物种的威胁^[27]。

(1) 重要保护物种筛选

参照《国家重点保护野生动物名录》^[28]和《国家重点保护野生植物名录(第一批)》^[29]选择国家一级保护植物和国家一、二级保护动物,根据世界自然保护联盟(IUCN)发布的濒危物种红色名录(<http://www.>

iucnredlist.org/)和《中国物种红色名录(第一卷)》^[30]筛选极危和濒危动植物。基于上述标准确定 208 种重要保护物种,包括动物 36 种和植物 172 种,并选出其中的 139 种栖息地信息充分的动植物进入下一步分析。

表 4 海岸带防护重要性分级

Table 4 Ranking of littoral zone protection importance

分级标准 Criterion for ranking	重要性 Importance	重要性赋值 Scoring of importance
海口、文昌、琼海、万宁沿海防护带的红树林、防护林、天然林	极重要	100
南部三亚、陵水、乐东、北部临高、澄迈沿海防护带的红树林、防护林、天然林	重要	75
其余所有林地	中等重要	50
农田、城镇、草地、水体、未利用	一般重要	25

(2) 重要保护物种生境评价

本研究采用机理模型对重要保护物种栖息地进行评价。机理模型(或称概念模型),基于不同物种对各种生境的选择性,模拟某一物种的分布区。主要包括生境因素识别、评价准则建立和空间模拟分析等步骤,具有可操作性强和易于解释等优点^[31]。物种分布和栖息地信息来自相关论文、专著和数据库。

(3) 重要保护物种保护优先区评价

本研究采用基于 Marxan 软件的系统保护规划方法确定保护优先区。Marxan 软件从全局角度出发,选择一些可以达到保护目标的最低成本地区,构建保护体系^[27, 32]。某一单元被迭代计算选中的次数越多,保护功能的不可替代性就越高,其保护价值也越高。进行了 100 次迭代计算,则每个单元被选中的次数在 0—100 之间。根据表 5 划分出 4 个保护优先级并进行生物多样性重要性(EI_{bd})评价。

表 5 生物多样性保护重要性分级

Table 5 Ranking of biodiversity protection importance

分级标准(不可替代次数) Criterion for ranking (times of irreplaceability)	重要性 Importance	重要性赋值 Scoring of importance
40—100	极重要	100
20—40	重要	75
1—20	中等重要	50
0	一般重要	25

1.2.6 生态系统服务重要性评价

生态系统服务重要性指示各生态单元的生态保护意义。本研究以海南生态系统服务及其空间特征评价为基础,对生态系统服务进行综合评价。每个评价单元的生态重要性(EI)是由生物多样性重要性(EI_{bd})、水源涵养(EI_{sy})、水资源保护(EI_{szy})、土壤保持(EI_{sl})与海岸带防护(EI_{hd})中的最高等级(即最大赋值)确定,即:

$$EI = \text{Max}\{EI_{bd}, EI_{sy}, EI_{szy}, EI_{sl}, EI_{hd}\}$$

1.5 保护空缺分析及自然保护区网络设计

根据海南省保护自然过程与生物多样性并重的要求,提出了以区域生态系统服务为特点的自然保护区体系规划方法,并通过运用 GAP 分析,将海南岛植被图、土地利用图、生态重要性空间分布图与保护区分布现状图进行叠加分析,识别出生态重要性高,尚无保护区或保护面积不足的空间单元,并遵循如下原则进行保护区规划:

- (1) 根据生态重要性分析的结果,凡是生态重要性为 100 的地理单元均为应建立自然保护区的地区;
- (2) 根据现有自然保护区与应建立保护区的区域进行叠加分析,凡是生态重要性为 100,但未建立自然保护区或是自然保护区面积较小不足以保护整个区域的地方,即为应新建或扩建的自然保护区的区域。

2 结果

2.1 水源涵养服务

水源涵养服务极重要地区为海南岛中南部的中山和高山地区,重要地区是中部低山和丘陵地区,面积分别为 6498.1km²和 4146.7km²(图 2),分别占全岛陆地面积的 19.1% 和 12.2%(表 6)。

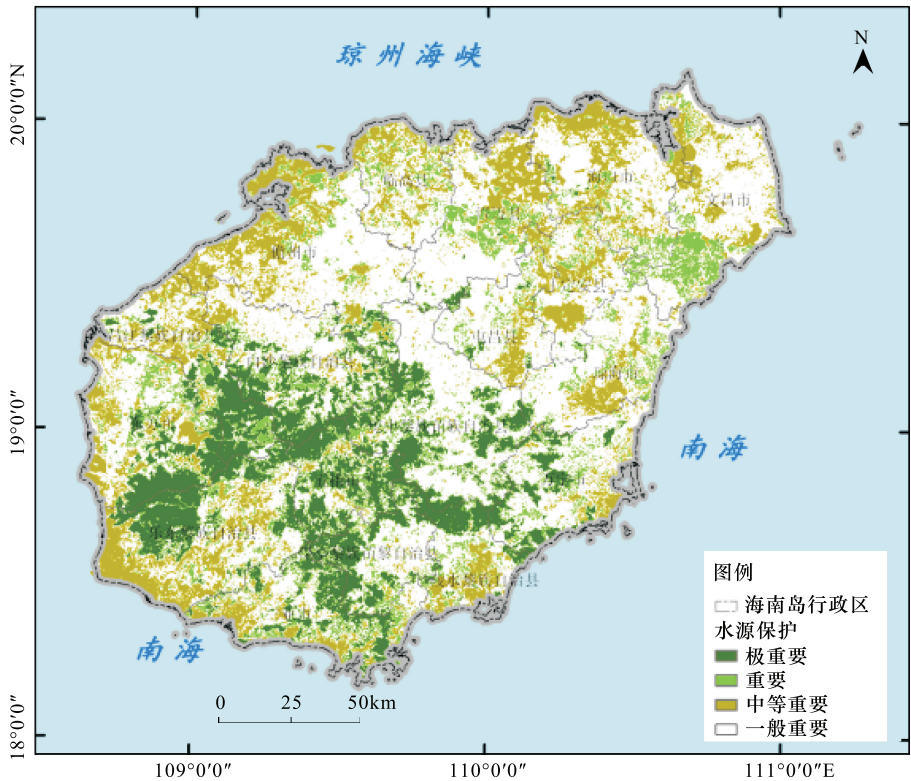


图 2 海南岛水源涵养服务重要性空间分布

Fig. 2 Spatial patterns of water conservation importance in Hainan Island

表 6 不同等级生态系统服务的面积及比例

Table 6 Area and proportion of ecosystem services in different importance ranks

生态系统服务类型 Types of ecosystem services	极重要 Extremely important		重要 Important		中等重要 Median important		一般重要 General important	
	面积 Area	比例 Proportion	面积 Area	比例 Proportion	面积 Area	比例 Proportion	面积 Area	比例 Proportion
	/km ²	/%	/km ²	/%	/km ²	/%	/km ²	/%
水源涵养 Water conservation	6498.1	19.1	4146.7	12.2	12606.4	37.1	10705.4	31.5
水资源保护 Water resource protection	861.2	2.5	344.6	1.0	0.0	0.0	32750.8	96.5
土壤保持 Soil conservation	1091.2	3.2	2394.6	7.1	11081.1	32.7	19333.2	57.0
海岸带防护 Littoral zone protection	20.9	0.1	14.7	0.0	44.4	0.1	33876.7	99.8
生物多样性 Biodiversity conservation	5441.4	16.0	1871.5	5.5	5064.8	14.9	21578.9	63.6
生态系统服务 Ecosystem services	9561.3	28.2	5799.9	17.1	11441.9	33.8	7097.0	79.1

2.2 水资源保护服务

水资源保护极重要地区是海口、三亚和洋浦等主要城市和开发区的供水水源地及其周边水源林,重要地区为中小城镇供水水源地,如三亚的赤田水库、海口市沙坡水库和永庄水库和儋州的春江水库等及其周边的水源涵养林等(图 3)。面积分别为 816.2km²和 344.6km²,一共仅占陆地面积的 3.5%(表 6)。

2.3 土壤保持服务

土壤保持极重要地区是中部山地,如五指山、黎母岭、坝王岭、马咀岭、吊罗山等,总面积 1091.2km²;重要



图3 海南岛水资源保护重要性空间分布

Fig. 3 Spatial patterns of water resource protection importance in Hainan Island

区是尖峰岭、琼中、五指山、乐东、陵水和三亚北部、昌江东部、东方东部和万宁西部等中西部县市的山区部分,总面积 2394.6km²(图4)。二者分别占陆地面积的 3.2% 和 7.1%(表6)。

2.4 海岸带防护服务

海岸防护极重要地区是海口、文昌、琼海、万宁沿海防护带的红树林、防护林、天然林,重要地区是对海水水质要求较高的游泳海岸,农业开发活动的海岸带,以及宜分布工业项目和建设城市的岸段(图5)。

2.5 生物多样性保护

生物多样性保护极重要区域主要为中南部山区,如黎母山、五指山、吊罗山、坝王岭、尖峰岭等天然林集中分布的中山和高山地区(图6),其面积占陆地面积的 10.6%,却包含了重要物种栖息地面积的 44.7%。

2.6 生态重要性评价

生态系统服务重要性最高的地区是中南部山区的森林生态系统分布区和海岸带的红树林生态系统,面积约 9561.3km²,占国土面积的 28.2%。而重要地区分布在极重要区的外围,面积为 5799.9km²,占国土面积的 17.1%(图7)。

2.7 自然保护区规划

基于生态系统服务重要性的评价结果,依据海南省自然保护区体系规划原则和方法,通过新建、扩建和整合,海南省将形成三大自然保护区群:尖峰岭保护区群、霸王岭-鹦哥岭-黎母山保护区群、五指山-吊罗山保护区群(图8,表7)。

(1) 尖峰岭保护区群

尖峰岭保护区群由扩建后的尖峰岭自然保护区和新建的千家自然保护区构成(表7)。这个保护区群的保护对象包括多种类型的热带森林(尤其是热带雨林)和野生动物生境。



图4 海南岛土壤保持重要性空间分布

Fig. 4 Spatial patterns of soil conservation importance in Hainan Island



图5 海南岛海岸带防护重要性空间分布

Fig. 5 Spatial patterns of littoral zone protection importance in Hainan Island

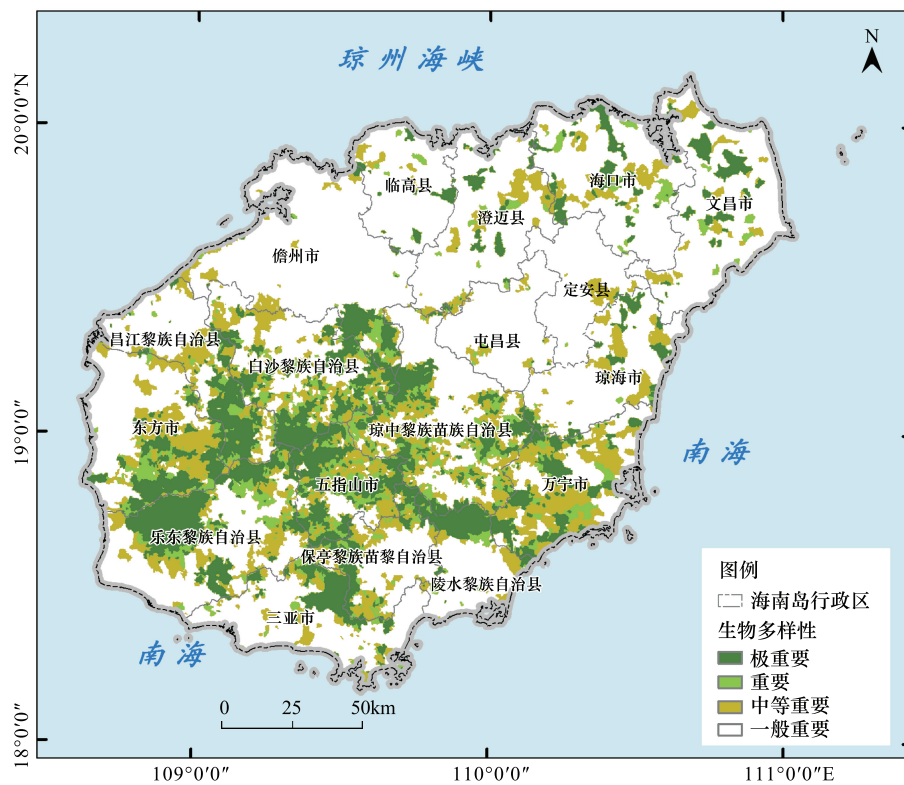


图 6 海南岛生物多样性重要性空间分布

Fig. 6 Spatial patterns of biodiversity importance in Hainan Island

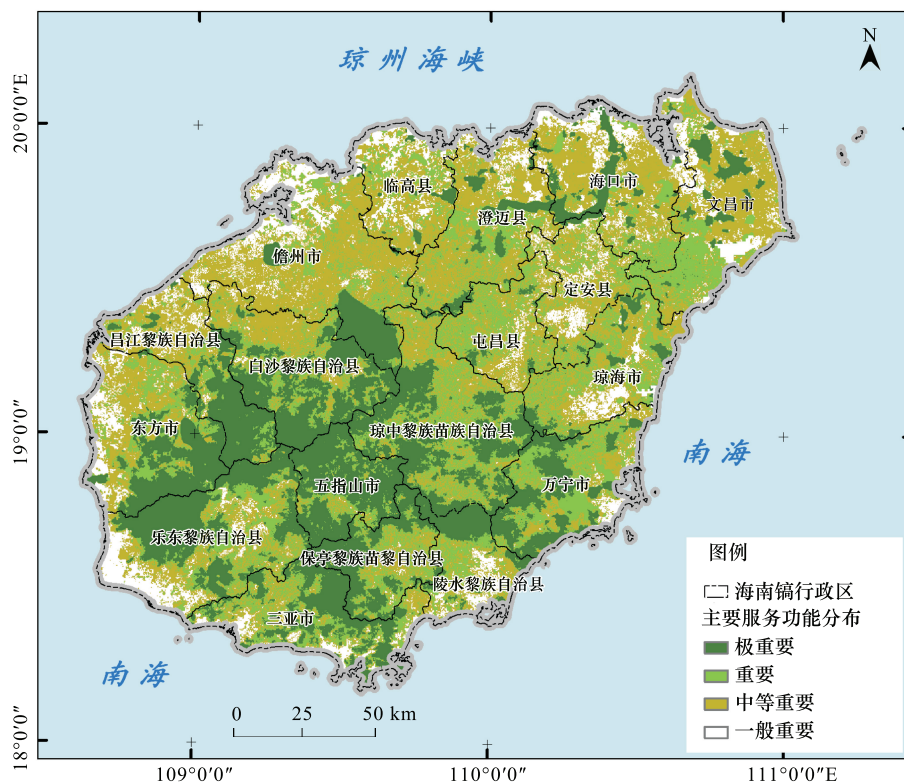


图 7 海南岛生态系统服务重要性空间分布

Fig. 7 Spatial patterns of ecosystem service importance in Hainan Island

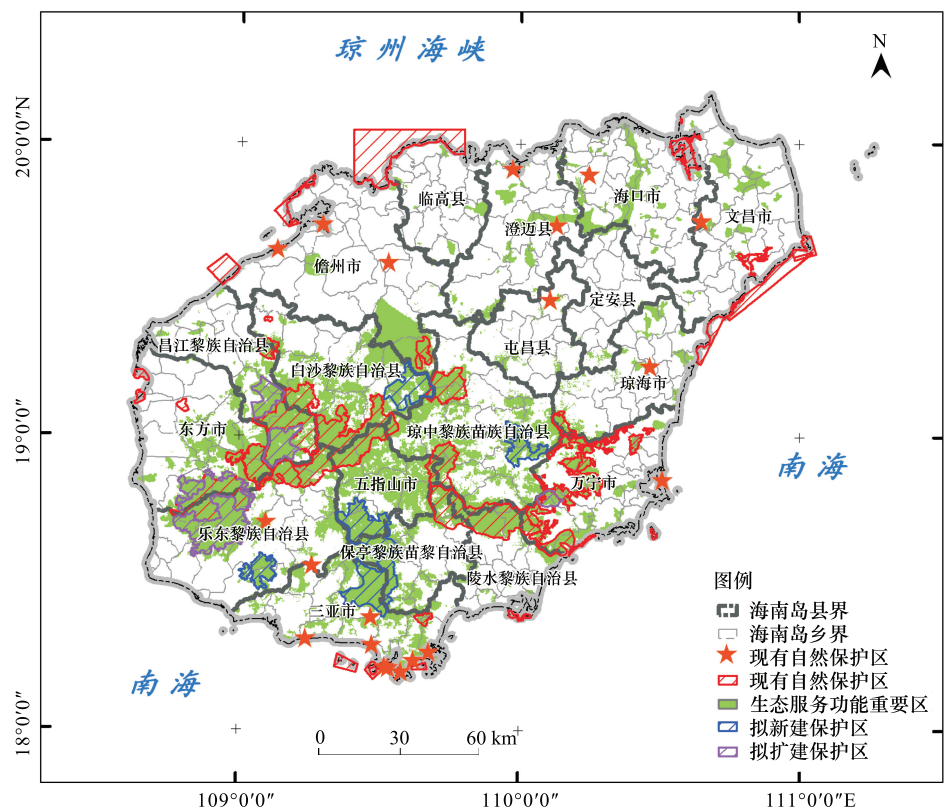


图 8 海南岛自然保护区体系规划

Fig. 8 Designation of nature reserves system in Hainan Island

表 7 海南岛自然保护区体系规划方案

Table 7 Details for designation of nature reserves systems in Hainan Island			
途径 Approach	所在市县 City or county	现有保护区 Present nature reserves	规划后保护区 Designed nature reserves
新建 New construction	乐东		木棉
	三亚、保亭、五指山		抱龙
	琼中		双平
	白沙		冲坡
调整 Adjustment	昌江	霸王岭	霸王岭
	东方、乐东	尖峰岭	尖峰岭
	琼海	会山	会山
	琼海、万宁	尖岭、茄新、南林、上溪	尖岭
整合 Integration	海口、文昌	东寨港、清澜	东寨港红树林
	临高、澄迈、儋州	彩桥、花场湾、新英湾	西北部沿海海岸红树林
	三亚	三亚河、铁炉港、亚龙湾青梅港	三亚红树林
	儋州、临高	儋州白蝶贝、临高白蝶贝、磷枪石岛	西北部珍稀海洋生物
	文昌、琼海	文昌麒麟菜、琼海麒麟菜	东部沿海麒麟菜
升级 Promotion	乐东、五指山、琼中、白沙	鹦哥岭	鹦哥岭
	乐东	佳西	佳西
	琼中	黎母山	黎母山
	万宁	尖岭	尖岭

(2) 霸王岭-鹦哥岭-黎母山保护区群

此保护区群由现有的番加自然保护区、黎母山自然保护区、鹦哥岭自然保护区、猕猴岭自然保护区、佳西自然保护区、扩建后的霸王岭保护区和规划新建的松涛和细水保护区所构成(表 7)。该保护区群主要保护对象包括生物多样性价值特殊的沟谷雨林、山地雨林、热带雨林、热带针叶林、黑冠长臂猿生境和松涛水库周边地区与集水区。根据该保护区群在全球及国内生物多样性与生态功能保护的重要性,建议建设成为一个国家级的保护区群。

(3) 五指山-吊罗山保护区群

此保护区群包括现有的物种数保护区、吊罗山保护区、尖岭保护区、会山保护区、茄新保护区、整合扩建的南林自然保护区和在和平镇规划新建的自然保护区所构成(表 7)。该保护区主要保护对象为各种类型的热带森林生态系统和野生动物生境。

根据本规划,海南共建成规范完善的自然保护区 42 个,面积为 290.14 万 hm^2 ,其中陆地自然保护区面积为 41.26 万 hm^2 ,占陆地面积的 11.79%。其中新建保护区 4 个(面积 8.80 万 hm^2),调整保护区 4 个(扩大面积 8.01 万 hm^2),将 17 个保护区优化整合为 6 个,升级 4 个保护区(表 7)。

3 讨论

通过基于生态系统服务的生态重要性综合评价,本研究初步建立了基于生态系统服务的区域自然保护区体系规划方法,并通过空缺分析,提出海南岛自然保护区网络体系。这一体系确定了未来海南岛自然保护区建设的主要方向,突出了未来海南岛自然保护区建设的紧迫性和生态系统服务保护的重要性。这为国家尺度和区域尺度的自然保护区体系规划提供了重要借鉴。

基于生态系统服务的自然保护区体系规划提高了保护效率。目前,处于自然保护区内的极重要生态区(EI 值为 100 的区域)为 2336.3 km^2 ,仅有 24.4% 的海南的极重要生态系统服务得到比较严格的保护。而本研究提出的自然保护区体系将受保护的极重要生态区比例提高到 39.4%,即海南 3763.4 km^2 的极重要生态系统服务将得到比较严格的保护。

基于生态系统服务的自然保护区体系规划有助于发挥自然保护区的综合效益,更易于为地方政府和居民所接受,从而有利于自然保护区的建设。同时,如果仅基于生物多样性进行自然保护区体系规划,则会忽略许多其它服务功能重要的区域。如生物多样性极重要区面积为 5441.4 km^2 ,而水源涵养服务极重要区面积达 6498.1 km^2 。本研究等对待各个生态系统服务,并将其叠加后得到生态服务功能重要区;然后,根据规划目标和实际状况进行综合分析,提出自然保护区体系规划方案。在这个自然保护区体系规划中同时包含了生物多样性极重要区和其他生态系统服务较高的区域。

将生态系统服务整合进入保护评价和规划是今后的发展方向^[5, 9, 12-14],特别适合中国自然保护区体系的规划。在国内,生物多样性和生态系统服务均在 20 世纪 90 年代初成为学术界的研究热点^[3, 33],而且早期的自然保护区建设同样重视珍稀濒危动植物保护和水源涵养等不同的生态系统服务。但长期以来,自然保护区的规划和设计主要基于生物多样性评价,直到最近 10a,才有学者将生态系统服务纳入自然保护区规划的标准^[4]。这可能与生态系统服务评价数据缺乏和方法不成熟有关。

References:

- [1] Decree No. 167 of the State Council of the People's Republic of China. Regulations of the People's Republic of China on nature reserves. 1994.
- [2] Xu W H, Ouyang Z Y, Huang H, Wang X K, Miao H, Zheng H. Priority analysis on conserving China's terrestrial ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(1): 271-280.
- [3] Ouyang Z Y, Wang R S, Zhao J Z. Ecosystem services and their economic valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(5): 635-640.
- [4] Balvanera P, Daily G C, Ehrlich P R, Ricketts T H, Bailey S A, Kark S, Kremen C, Pereira H. Conserving biodiversity and ecosystem services. *Science*, 2001, 291(5511): 2047-2047.

- [5] Ego B, Rouget M, Reyers B, Knight A T, Cowling R M, van Jaarsveld A S, Welz A. Integrating ecosystem services into conservation assessments: a review. *Ecological Economics*, 2007, 63(4): 714-721.
- [6] Ego B N, Reyers B, Carwardine J, Bode M, O'Farrell P J, Wilson K A, Possingham H P, Rouget M, de Lange W, Richardson D M, Cowling R M. Safeguarding biodiversity and ecosystem services in the Little Karoo, South Africa. *Conservation Biology*, 2010, 24(4): 1021-1030.
- [7] Rogers H M, Glew L, Honzák M, Hudson M D. Prioritizing key biodiversity areas in Madagascar by including data on human pressure and ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 2010, 96(1): 48-56.
- [8] Chan K M A, Shaw M R, Cameron D R, Underwood E C, Daily G C. Conservation planning for ecosystem services. *PLoS Biology*, 2006, 4(11): e379-e379.
- [9] Chan K M A, Hoshizaki L, Klinkenberg B. Ecosystem services in conservation planning: less costly as costs and side-benefits. *British Columbia Journal of Ecosystems and Management*, 2011, 12(1): 98-100.
- [10] Ego B, Reyers B, Rouget M, Bode M, Richardson D M. Spatial congruence between biodiversity and ecosystem services in South Africa. *Biological Conservation*, 2009, 142(3): 553-562.
- [11] Goldman R L, Tallis H, Kareiva P, Daily G C. Field evidence that ecosystem service projects support biodiversity and diversify options. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 2008, 105(27): 9495-9448.
- [12] Naidoo R, Balmford A, Costanza R, Fisher B, Green R E, Lehner B, Malcolm T R, Ricketts T H. Global mapping of ecosystem services and conservation priorities. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 2008, 105(28): 9495-9500.
- [13] Goldman R L, Tallis H. A critical analysis of ecosystem services as a tool in conservation projects: the possible perils, the promises, and the partnerships. *The Year in Ecology and Conservation Biology*, 2009; *Annals of the New York Academy of Sciences*, 2009, 1162: 63-78.
- [14] Sutherland W J, Adams W M, Aronson R B, Aveling R, Blackburn T M, Broad S, Ceballos G, Côté I M, Cowling R M, Da Fonseca G A B, Dinerstein E, Ferraro P J, Fleishman E, Gascon C, Hunter M Jr, Hutton J, Kareiva P, Kuria A, Macdonald D W, Mackinnon K, Madgwick F J, Mascia M B, McNeely J, Milner-Gulland E J, Moon S, Morley C G, Nelson S, Osborn D, Pai M, Parsons E C M, Peck L S, Possingham H, Prior S V, Pullin A S, Rands M R W, Ranganathan J, Redford K H, Rodriguez J P, Seymour F, Sobel J, Sodhi N S, Stott A, Vance-Borland K, Watkinson A R. One hundred questions of importance to the conservation of global biological diversity. *Conservation Biology*, 2009, 23(3): 557-567.
- [15] Turner W R, Brandon K, Brooks T M, Costanza R, da Fonseca G A B, Portela R. Global conservation of biodiversity and ecosystem services. *BioScience*, 2007, 57(10): 868-873.
- [16] Bai Y, Zhuang C W, Ouyang Z Y, Zheng H, Jiang B. Spatial characteristics between biodiversity and ecosystem services in a human-dominated watershed. *Ecological Complexity*, 2011, 8(2): 177-183.
- [17] Anderson B J, Armsworth P R, Eigenbrod F, Thomas C D, Gillings S, Heinemeyer A, Roy D B, Gaston K J. Spatial covariance between biodiversity and other ecosystem service priorities. *Journal of Applied Ecology*, 2009, 46(4): 888-896.
- [18] Huang B R, Ouyang Z Y, Zhang H, Zheng H, Xu W H, Wang X K. Eco-environmental sustainability assessment of each province in China. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(1): 327-337.
- [19] Xiao H, Ouyang Z Y, Zhao J Z, Wang X K, Han Y S. The spatial distribution characteristics and eco-economic value of soil conservation service of ecosystems in Hainan Island by GIS. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(4): 552-558.
- [20] Ouyang Z Y, Zhao T J, Zhao J Z, Xiao H, Wang X K. Ecological regulation services of Hainan Island ecosystem and their valuation. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2004, 15(8): 1395-1402.
- [21] Xiao R B, Ouyang Z Y, Han Y H, Wang X K, Li Z X, Zhao T J. Ecological security assessment of Hainan Island. *Journal of Natural Resources*, 2004, 19(6): 669-775.
- [22] Huang B R, Ouyang Z Y, Zhang H Z, Zhang L H, Zheng H. Assessment of eco-environmental vulnerability of Hainan Island, China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2009, 20(3): 639-646.
- [23] Huang F S. *Forest Insects of Hainan*. Beijing: Science Press, 2002.
- [24] Wang R S, Lin S K, Ouyang Z Y. *Theory and Practice of Hainan Eco-Province Development*. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [25] Zhang B, Li W H, Xie G D, Xiao Y. Water conservation function and its measurement methods of forest ecosystem. *Chinese Journal of Ecology*, 2009, 28(3): 529-534.
- [26] Tallis H T, Ricketts T, Nelson E, Ennaanay D, Wolny S, Olwero N, Vigerstol K, Pennington D, Mendoza G, Aukema J, Foster J, Forrest J, Cameron D, Arkema K, Lonsdorf E, Kennedy C. *INVEST 1.005 Beta User's Guide*. The Natural Capital Project. Stanford, 2010.
- [27] 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 Science*, 2010, 23(3): 312-319.
- [28] The Law of Wild Animal Protection of People's Republic of China. The List of Wild Animals under National Protection, 1989.

- [29] The list of Chinese National Protected Wild Plant (1 th). Plants, 1999, (5): 4-11.
- [30] Wang S, Xie Y. China Species Red List: vol. 1 Red List. Beijing: High Education Press, 2004: 300-468.
- [31] Ouyang Z Y, Liu J Q, Xiao H, Tan Y C, Zhang H M. An assessment of giant panda habitat in Wolong Nature Reserve. Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(11): 1869-1874.
- [32] Possingham H, Ball I, Andelman S. Mathematical methods for identifying representative reserve networks // Ferson S, Burgman M, eds. Quantitative Methods for Conservation Biology. New York: Springer, 2000: 291-306.
- [33] Su Z X, Chen S B. Developments in biodiversity and conservation biology // Ecological Society of China. Reports on Advances in Ecology. Beijing: China Science and Technology Press, 2010: 130-160.

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国务院令(第167号). 中华人民共和国自然保护区条例. 1994.
- [2] 徐卫华, 欧阳志云, 黄璜, 王效科, 苗鸿, 郑华. 中国陆地优先保护生态系统分析. 生态学报, 2006, 26(1): 271-280.
- [3] 欧阳志云, 王如松, 赵景柱. 生态系统服务功能及其生态经济价值评价. 应用生态学报, 1999, 10(5): 635-640.
- [18] 黄宝荣, 欧阳志云, 张慧智, 郑华, 徐卫华, 王效科. 中国省级行政区生态环境可持续性评价. 生态学报, 2008, 28(1): 327-337.
- [19] 肖寒, 欧阳志云, 赵景柱, 王效科, 韩艺师. 海南岛生态系统土壤保持空间分布特征及生态经济价值评估. 生态学报, 2000, 20(4): 552-558.
- [20] 欧阳志云, 赵同谦, 赵景柱, 肖寒, 王效科. 海南岛生态系统生态调节功能及其生态经济价值研究. 应用生态学报, 2004, 15(8): 1395-1402.
- [21] 肖荣波, 欧阳志云, 韩艺师, 王效科, 李振新, 赵同谦. 海南岛生态安全评价. 自然资源学报, 2004, 19(6): 669-775.
- [22] 黄宝荣, 欧阳志云, 张慧智, 张利华, 郑华. 海南岛生态环境脆弱性评价. 应用生态学报, 2009, 20(3): 639-646.
- [23] 黄复生. 海南森林昆虫. 北京: 科学出版社, 2002.
- [24] 王如松, 林顺坤, 欧阳志云. 海南生态省建设的理论与实践. 北京: 化学工业出版社, 2004.
- [25] 张彪, 李文华, 谢高地, 肖玉. 森林生态系统的水源涵养功能及其计量方法. 生态学杂志, 2009, 28(3): 529-534.
- [27] 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.
- [28] 中华人民共和国野生动物保护法. 国家重点保护野生动物名录, 1989.
- [29] 中华人民共和国国务院. 国家重点保护野生植物名录(第一批). 植物杂志, 1999, (5): 4-11.
- [30] 汪松, 解焱. 中国物种红色名录(第一卷: 红色名录). 北京: 高等教育出版社, 2004.
- [31] 欧阳志云, 刘建国, 肖寒, 谭迎春, 张和民. 卧龙自然保护区大熊猫生境评价. 生态学报, 2001, 21(11): 1869-1874.
- [33] 苏智先, 陈圣宾. 生物多样性与保护生物学发展 // 中国生态学会. 生态学学科发展报告. 北京: 中国科学技术出版社, 2010: 130-160.

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 solubili- zation	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