ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报
Acta Ecologica Sinica

中国生态学学会 2013 年学术年会专辑

第 33 卷 第 18 期 Vol.33 No.18 2013

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 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 18 期　　2013 年 9 月　（半月刊）

目　　次

中国生态学学会 2013 年学术年会专辑　卷首语

美国农业生态学发展综述 …… 黄国勤，Patrick E.McCullough（5449）
水足迹研究进展 …… 马　晶，彭　建（5458）
江西省主要作物（稻、棉、油）生态经济系统综合分析评价 …… 孙卫民，欧一智，黄国勤（5467）
植物干旱胁迫下水分代谢、碳饥饿与死亡机理 …… 董　蕾，李吉跃（5477）
生态化学计量学特征及其应用研究进展 …… 曾冬萍，蒋利玲，曾从盛，等（5484）
三峡库区紫色土植被恢复过程的土壤团粒组成及分形特征 …… 王轶浩，耿养会，黄仲华（5493）
城市不同地表覆盖类型对土壤呼吸的影响 …… 付芝红，呼延佼奇，李　锋，等（5500）
华南地区 3 种具有不同入侵性的近缘植物对低温胁迫的敏感性 …… 王宇涛，李春妹，李韶山（5509）
沙丘稀有种准噶尔无叶豆花部综合特征与传粉适应性 …… 施　翔，刘会良，张道远，等（5516）
水浮莲对水稻竞争效应、产量与土壤养分的影响 …… 申时才，徐高峰，张付斗，等（5523）
珍稀药用植物白及光合与蒸腾生理生态及抗旱特性 …… 吴明开，刘　海，沈志君，等（5531）
不同温度及二氧化碳浓度下培养的龙须菜光合生理特性对阳光紫外辐射的响应 ……
…… 杨雨玲，李　伟，陈伟洲，等（5538）
土壤氧气可获得性对双季稻田温室气体排放通量的影响 …… 秦晓波，李玉娥，万运帆，等（5546）
免耕稻田氮肥运筹对土壤 NH_3 挥发及氮肥利用率的影响 …… 马玉华，刘　兵，张枝盛，等（5556）
香梨两种树形净光合速率特征及影响因素 …… 孙桂丽，徐　敏，李　疆，等（5565）
沙埋对沙米幼苗生长、存活及光合蒸腾特性的影响 …… 赵哈林，曲　浩，周瑞莲，等（5574）
半干旱区旱地春小麦全膜覆土穴播对土壤水热效应及产量的影响 …… 王红丽，宋尚有，张绪成，等（5580）
基于 Le Bissonnais 法的石漠化区桑树地埂土壤团聚体稳定性研究 …… 汪三树，黄先智，史东梅，等（5589）
不同施肥对雷竹林径流及渗漏水中氮形态流失的影响 …… 陈裴裴，吴家森，郑小龙，等（5599）
黄土丘陵区不同植被土壤氮素转化微生物生理群特征及差异 …… 邢肖毅，黄懿梅，安韶山，等（5608）
黄土丘陵区植被类型对土壤微生物量碳氮磷的影响 …… 赵　彤，闫　浩，蒋跃利，等（5615）
林地覆盖对雷竹林土壤微生物特征及其与土壤养分制约性关系的影响 ……
…… 郭子武，俞文仙，陈双林，等（5623）
降雨对草地土壤呼吸季节变异性的影响 …… 王　旭，闫玉春，闫瑞瑞，等（5631）
基于土芯法的亚热带常绿阔叶林细根空间变异与取样数量估计 …… 黄超超，黄锦学，熊德成，等（5636）
4 种高大树木的叶片性状及 WUE 随树高的变化 …… 何春霞，李吉跃，孟　平，等（5644）
干旱荒漠区银白杨树干液流动态 …… 张　俊，李晓飞，李建贵，等（5655）
模拟增温和不同凋落物基质质量对凋落物分解速率的影响 …… 刘瑞鹏，毛子军，李兴欢，等（5661）
金沙江干热河谷植物叶片元素含量在地表凋落物周转中的作用 …… 闫帮国，纪中华，何光熊，等（5668）
温带 12 个树种新老树枝非结构性碳水化合物浓度比较 …… 张海燕，王传宽，王兴昌（5675）
断根结合生长素和钾肥施用对烤烟生长及糖碱比、有机钾指数的影响 … 吴彦辉，薛立新，许自成，等（5686）
光周期和高脂食物对雌性高山姬鼠能量代谢和产热的影响 …… 高文荣，朱万龙，孟丽华，等（5696）
绿原酸对凡纳滨对虾抗氧化系统及抗低盐度胁迫的影响 …… 王　芸，李　正，李　健，等（5704）

基于盐分梯度的荒漠植物多样性与群落、种间联接响应 …… 张雪妮,吕光辉,杨晓东,等 (5714)
广西马山岩溶植被年龄序列的群落特征…… 温远光,雷丽群,朱宏光,等 (5723)
戴云山黄山松群落与环境的关联…… 刘金福,朱德煌,兰思仁,等 (5731)
四川盆地亚热带常绿阔叶林不同物候期凋落物分解与土壤动物群落结构的关系……
…… 王文君,杨万勤,谭　波,等 (5737)
中亚热带常绿阔叶林不同演替阶段土壤活性有机碳含量及季节动态…… 范跃新,杨玉盛,杨智杰,等 (5751)
塔克拉玛干沙漠腹地人工植被及土壤 C N P 的化学计量特征 …… 李从娟,雷加强,徐新文,等 (5760)
鄱阳湖小天鹅越冬种群数量与行为学特征…… 戴年华,邵明勤,蒋丽红,等 (5768)
营养盐加富和鱼类添加对浮游植物群落演替和多样性的影响…… 陈　纯,李思嘉,肖利娟,等 (5777)
西藏达则错盐湖沉积背景与有机沉积结构…… 刘沙沙,贾沁贤,刘喜方,等 (5785)
西藏草地多项供给及调节服务相互作用的时空演变规律…… 潘　影,徐增让,余成群,等 (5794)
太湖水体溶解性氨基酸的空间分布特征…… 姚　昕,朱广伟,高　光,等 (5802)
基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究…… 王传辉,吴　立,王心源,等 (5808)
近 20 年来东北三省春玉米物候期变化趋势及其对温度的时空响应 …… 李正国,杨　鹏,唐华俊,等 (5818)
鄱阳湖湿地景观恢复的物种选择及其对环境因子的响应…… 谢冬明,金国花,周杨明,等 (5828)
珠三角河网浮游植物生物量的时空特征…… 王　超,李新辉,赖子尼,等 (5835)
南京市景观时空动态变化及其驱动力 …… 贾宝全,王　成,邱尔发 (5848)
川西亚高山-高山土壤表层有机碳及活性组分沿海拔梯度的变化 …… 秦纪洪　王　琴　孙　辉 (5858)
城市森林碳汇及其抵消能源碳排放效果——以广州为例…… 周　健,肖荣波,庄长伟,等 (5865)
基于机器学习模型的沙漠腹地地下水含盐量变化过程及模拟研究…… 范敬龙,刘海龙,雷加强,等 (5874)
干旱区典型绿洲城市发展与水资源潜力协调度分析 …… 夏富强,唐　宏,杨德刚,等 (5883)
海岸带区域综合承载力评估指标体系的构建与应用——以南通市为例……
…… 魏　超,叶属峰,过仲阳,等 (5893)
中街山列岛海洋保护区鱼类物种多样性 …… 梁　君,徐汉祥,王伟定 (5905)
丰水期长江感潮河口段网采浮游植物的分布与长期变化…… 江志兵,刘晶晶,李宏亮,等 (5917)
基于生态网络的城市代谢结构模拟研究——以大连市为例…… 刘耕源,杨志峰,陈　彬,等 (5926)
保护区及周边居民对野猪容忍性的影响因素——以黑龙江凤凰山国家级自然保护区为例……
…… 徐　飞,蔡体久,琚存勇,等 (5935)
三江源牧户参与草地生态保护的意愿…… 李惠梅,张安录,王　珊,等 (5943)
沈阳市降雨径流初期冲刷效应…… 李春林,刘　淼,胡远满,等 (5952)
期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 514 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 59 * 2013-09

封面图说:川西高山地带土壤及植被——青藏高原东缘川西的高山地带坡面上为草地,沟谷地带由于低平且水分较充足,生长有很多灌丛。川西地区大约在海拔 4000m 左右为林线,以下则分布有亚高山森林。亚高山森林是以冷、云杉属为建群种或优势种的暗针叶林为主体的森林植被。作为高海拔低温生态系统,高山-亚高山地带土壤碳被认为是我国重要的土壤碳库。有研究表明,易氧化有机碳含量与海拔高度呈显著正相关,显示高海拔有利于土壤碳的固存。因而,这里的表层土壤总有机碳含量随着海拔的升高而增加。

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

DOI: 10.5846/stxb201303280543
王传辉,吴立,王心源,王官勇,孙叶根,胡降临.基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究.生态学报,2013,33(18):5808-5817.
Wang C H, Wu L, Wang X Y, Wang G Y, Sun Y G, Hu J L.RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China.Acta Ecologica Sinica,2013,33(18):5808-5817.

基于遥感和 GIS 的巢湖流域生态功能分区研究

王传辉[1],吴　立[1,*],王心源[2],王官勇[3],孙叶根[1],胡降临[1]
(1. 安徽师范大学国土资源与旅游学院, 芜湖　241003; 2. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京　100094;
3. 滁州学院地理信息与旅游学系, 滁州　239000)

摘要:生态功能分区是区域自然资源科学管理及可持续发展利用的基础。基于生态功能分区原则,考虑流域——子流域完整性进行巢湖流域生态功能分区。在综合分析巢湖流域生态环境基本特征的基础上,确定生态功能分区原则、依据、方法及命名,基于遥感与 GIS 在数据采集方面及多层面叠加功能的优势,通过遥感数据对研究区土地利用信息的提取以及利用 DEM 空间分析进行子流域划分等技术手段,探讨了遥感和 GIS 技术支持下的研究区子流域生态功能划分方法,形成了巢湖流域生态功能分区方案,将全流域分为 5 个生态功能区和 12 个生态功能亚区,并阐明了不同生态功能区的生态保护重点与经济社会发展约束。对于新调整行政区划的巢湖流域生态环境综合治理具有重要的现实意义,可为流域产业布局、生态防灾减灾、环境保护与建设规划等提供科学依据。

关键词:遥感和 GIS;巢湖流域;生态与环境;生态功能分区

RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China

WANG Chuanhui[1], WU Li[1,*], WANG Xinyuan[2], WANG Guanyong[3], SUN Yegen[1], HU Jianglin[1]
1 *College of Territorial Resources and Tourism, Anhui Normal University, Wuhu* 241003, *China*
2 *Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100094, *China*
3 *Department of Land Information Engineering, Chuzhou University, Chuzhou* 239000, *China*

Abstract: Ecological function regionalization, one of the important methods for conducting geographic spatial division, is based on environmental resource, ecological sensitivity, and spatial differentiation of ecological service functions.By using this method, an entire area can be divided into several different ecological function regions.Based on an analysis of the basic features of the ecological environment of the Chaohu Lake Basin of Anhui Province, China, the principles, basis, methodology and nomenclature of ecological function regionalization have been determined. The purpose is to clarify ecological environmental problems and fragile areas, and to provide scientific grounds for environmental protection and the planning of construction, ecological security, rational use of resources, and industrial distribution of the studied area.

As the sub-valley is an independent geographic unit within the entire basin, its ecosystem has ecological integrity from upstream to downstream. Thus, conducting monitoring and management of regional ecological environments in sub-valley units is of great importance to the conservation and ecological restoration of regional ecosystems.However, most sub-valleys cover multiple economic or administrative units, and thus it is difficult to obtain the thematic information of the ecological environment for each sub-valley.The superiority of RS and GIS is embodied fully here.The advantages of data collection and multilayer superstition are made full use of for solving the difficult problems of ecological information extraction.The data for the research include: 1∶50000 basic digital geographical data of the Chaohu Lake Basin, such as data layers of river systems, residential areas, railways, administrative divisions, and contour lines; digital data layers for resources and

基金项目:国家自然科学基金项目(41271427);安徽省高等学校省级自然科学研究重大项目(ZD200908)
收稿日期:2013-03-27;　　**修订日期**:2013-07-01
* 通讯作者 Corresponding author.E-mail: jedi-wuli@ 163.com

environments derived from the vectorization of 1:250000 soil type, land type, and land use maps; and 1:100000 land use maps interpreted from Landsat TM images from January 11, 2009.The above data layers are tested and updated from Landsat TM images.

Through extraction of land use information from remote sensing data and sub-valley divisions from DEM analysis, this research discusses the methodology of sub-valley ecological function regionalization in the study area, based on the application of RS and GIS technology.The ecological function regionalization of the Chaohu Lake Basin was established and five ecological function regions and 12 sub-regions determined.The dominant factor of the first-level ecological function region is the boundary of the sub-valley, reflecting the general pattern of ecological function with the sub-valley as a unit. The dominant factor of the second-level ecological function region is the land use type.However, characteristics of landform or climate, ecosystem type, and ecosystem service function should also be embodied.The second-level ecological function region is the basic unit of ecological function type, reflecting the differentiation of ecological function inside the first-level division.The focus of ecological protection and the economic-social development constraints of each ecological function region were also clarified.

The above technique reduces costs greatly and improves the accuracy and efficiency of the graphics, realizing the classic graphical principles (e.g., principles of the dominant factor and superposition) excellently.This study has important realistic meaning for integrated management of the ecological environment of the Chaohu Lake Basin, and provides scientific grounds for comprehensive control of the ecological environment, industrial distribution, ecological hazard prevention and reduction, environment protection, and the planning of construction in this area.

Key Words: RS and GIS; Chaohu Lake Basin; ecology and environment; ecological function regionalization

以区划思想为代表的空间分区研究一直是地理学的传统和永恒主题,其起源可以追溯到 19 世纪初德国地理学家 Humboldt Alexander 提出的区域分异理论[1],而后 Merriam 于 1898 年提出了对美国农作物带进行的农业区划方案[2]。然而,真正意义上的生态区划方案是 1976 年由 Bailey 提出并编制的美国生态区域图[3],进入 21 世纪以来,随着人地矛盾不断加剧和可持续发展观念逐步成为世界的主流思潮,学术界开始注重生态功能分区、生态分区、生态经济区划、生态系统生产力区划以及水生态功能分区等研究[4-8]。中国以政府为主导的有关生态功能分区也从“十五”开始,并于 2001 年以甘肃省为试点完成了生态功能分区[9]。国务院西部地区领导小组办公室和国家环保总局组织中国科学院生态环境研究中心 2002 年编制了《生态功能区划暂行规程》[10],由此揭开了指导规范各省开展生态功能分区的序幕。

生态功能分区的概念有别于生态分区、水生态功能分区等,其中,生态分区主要侧重从生态系统和生物地理分布的角度构建一种多尺度生态区域分级嵌套区划和评价系统[11];而生态功能分区是根据资源环境要素、区域生态系统类型、生态系统受胁迫过程与效应、生态敏感性与生态服务功能空间分异规律而进行的地理空间分区,从而将某区域划分成不同的生态功能区[10]。水生态功能分区则是近些年来基于对流域内不同类型区域生物区系、群落结构和水体理化环境的异同比较以及流域水生态系统空间格局和尺度效应的分析提出的一种分区方法,其侧重点关注水生环境系统在地带和区域等不同尺度上的空间分异特征[12-13]。由上述比较可以看出,生态功能分区的主要目的是明确区域存在的生态环境问题和脆弱区,为制定区域环境保护与建设规划、维护区域生态安全以及资源合理开发利用与工农业生产布局等提供科学依据,为环境管理和决策部门提供管理信息和管理手段[14]。它是实施区域生态环境分区管理的基础和前提[15],在参与政府管理、指导生态环境保护和规范生态建设中将发挥重要作用。2012 年巢湖市行政区划被重新调整,本研究对于新调整行政区划的巢湖流域具有重要的科学研究与实践参考意义。

1　巢湖流域生态环境特征与存在的主要问题

1.1　流域生态环境的基本特征

巢湖流域位于安徽省江淮地区中部,东以浮槎山、黄山、凤凰山、银屏山、冶父山等与长江下游安徽段沿江平原为界,西以大别山-江淮分水岭与淮河流域为界。地理坐标为 116°24′30″—118°00′00″E,30°58′00″— 32°06′00″N,在行政区划上包括合肥市区全部,合肥市肥东县、肥西县、庐江县以及长丰县的一部分,还有巢湖市区、六安市舒城县的部分区域,以及安庆市岳西县的小部分,总面积约为 9131 km^2[16]。

巢湖流域地形西南高东北低,总体渐向巢湖倾斜,高海拔区主要分布在西南部,最高峰海拔高度近 1500 m;最低处为巢湖湖盆,海拔仅 5 m 左右。从东到西大体可以分为东部构造剥蚀低山、北部剥蚀丘陵、西部剥蚀壑丘、西南部大别山地、中部巢湖盆地等五个地貌单元,NNE 向横断裂-郯庐断裂带穿过巢湖[17]。流域气候属北亚热带和暖温带过渡性湿润季风气候,控制本区的大气环流以西风环流和亚热带环流为主[18]。流域内降水时空分布不均,主导风向夏季为东南风,冬季为东北风。

巢湖流域属长江下游左岸水系,沿湖共有河流 33 条,呈向心状分布汇入巢湖,其中,杭埠-丰乐河、白石山河、派河、南淝河等主流主要发源于流域西部的丘陵山地,4 条河流占流域径流量 90%以上[19]。巢湖水系的河流从北、南、西三面汇入湖内,然后在巢湖市区出湖,经裕溪河东南流至裕溪口注入长江[20]。流域土壤与植被受气候、地貌类型和成土母质的影响。本区地带性土壤为黄棕壤,主要土壤类型有水稻土、黄褐土、紫色土、棕壤、黄壤、石灰土等[21]。流域地带性植被类型为北亚热带混交林夹少数耐寒常绿阔叶林,但原生植被基本已不存在,现存植被主要为人工栽培林、次生林、灌木丛和草类,以及大范围分布的种植农作物[22]。其中,森林植被较单调,分布于巢湖、肥东、舒城、庐江等市县,主要包括针叶林、阔叶林、经济林以及杂树灌丛等;农业种植作物主要以水稻、蔬菜类为主,水生植物群落主要是蓝藻和原生动物[21]。

1.2 流域生态环境存在的主要问题

(1)水资源与水环境问题突出。水资源时空分布不均、水体污染严重以及巢湖水体严重富营养化,全湖的综合水质劣于Ⅲ类水质标准,73.3%水域处于富营养化的状态,湖区主要污染物 TP、TN 分别超过Ⅲ类标准 4 倍和 3 倍[23],西湖区尤为严重,已经对流域社会经济发展和生态环境造成胁迫,一定程度上制约了流域可持续发展[24];(2)矿产资源赋存及利用不当。特别是巢湖周边山地石炭-二叠系地层中磷矿和石灰岩等开采较乱,因管理不善造成资源浪费和环境污染,暴雨降水径流和水土流失使大量含磷物质进入湖泊水体,加速了湖泊营养化过程[25];(3)土地资源紧张,土地退化严重。为解决人口迅速增长对粮食和经济发展需求而进行的山地毁林开荒和围湖造田,已造成较大范围的生态破坏和严重水土流失[26],流域森林覆盖率仅为 15.2%,低于全省平均水平 28.9%[23],而水土流失导致的湖岸崩塌年损失农田超过 16 hm^2[27],人口与土地资源的矛盾日益尖锐;(4)自然生态系统损毁严重,并引发一系列灾害。由于自然生态系统受损,生态多样性破坏严重,引发生态灾害,流域过去一直注重耕地的利用,忽视了对草山草坡的开发,草地资源日益退化,流域上游(尤其是杭埠-丰乐河流域)植被破坏加重了地表面状侵蚀,入湖泥沙量增多,湖盆淤积变浅严重,使得湖面扩大、水位升高,对湖岸构成威胁,同时减弱了水体对污染物的自净能力[27]。

巢湖流域环境的恶化有区域气候环境变化的影响[28],但最主要的是不合理的人类活动影响的结果。巢湖流域生态安全问题不仅关系到流域近 700 万人民的生产与生活,而且影响到省会合肥市及以合肥城市发展为核心区域的省会经济圈的生态安全,这已成为制约该区域自然-社会-经济协调发展的主要因素。为了遏制巢湖流域生态环境恶化趋势,进行生态功能分区,因地制宜,并对各生态功能区进行生态恢复与重建,旨在为流域生态功能区划、生态保护与建设提供科学借鉴,具有重要的理论和现实意义。

2 巢湖流域生态功能分区

2.1 流域生态功能分区现状及存在的主要问题

巢湖流域独特的区域环境背景和地理位置,使它一直是学者研究关注的焦点[29-30]。巢湖是国家重点治理的“三湖一库”之一[31],国家和安徽省投入大量资金和人力着重治理巢湖水体污染、富营养化、湖岸崩塌、湖盆淤积等问题。作为安徽省生态环境保护与建设的重大基础性工作,巢湖流域生态功能分区是实施区域生态环境分区管理的基础,明确了流域生态安全重要区和保护关键区,辨析其存在的生态环境问题与脆弱区,为流域内生态保护和规划提供科学依据[32]。2003 年 9 月,作为国家环境保护总局批准试点建设生态省之一的安徽省提出了《安徽生态省建设总体规划纲要》[15],将安徽省分为 5 个生态区、16 个生态亚区和 47 个生态功能区。其中,巢湖流域属于江淮丘陵岗地生态区中的巢湖盆地农业与城镇生态亚区,包括环巢湖东部丘陵与圩畈农业生态功能区、巢湖西部平原圩畈农业与面源污染控制生态功能区、合肥城市及城郊农业生态功能区以及巢湖湖泊生态功能区[15]。

然而,从对国家以及各省区提出的不同指标体系看,巢湖流域生态功能分区工作仍存在着若干问题有待研究。第一,近年来由于人口膨胀和经济活动加强,使资源开发和环境保护的矛盾日益尖锐,引起一系列严重的生态环境恶化问题;而流域内目前的生态功能分区主要是从自然生态因素出发,几乎没有考虑到作为主体的人类在生态系统中起的作用,存在很大局限性。第二,生态功能分区工作也面临着落实难的问题,区划工作的可操作性不高,特别是在面积有 9131 km^2的巢湖流域,行政区划上包括合肥市、县级巢湖市,还有庐江、肥东、舒城、无为、肥西等县,区域内地形复杂水系众多,将如此大的一个区域分成五个功能区,并且这些功能区的边界和行政区的边界不同,区划工作的难落实性可想而知。第三,安徽省生态功能区划方案是从宏观上参考全国尺度生态区划的三级区,结合安徽省气候、地理特点,划分省域尺度的生态区,并作为中国生态功能区划分区单位,这是基于省域并考虑行政区划划分的生态功能区;本研究针对完整的流域,而巢湖正是具备一个完整的流域。

2.2 流域生态功能分区的原则和依据

生态功能分区以景观生态学理论、自然-社会-经济复合系统理论为指导,遵循以下原则[10, 33-38]:①可持续发展原则。生态功能分区的目的是促进资源的合理利用与开发,增强区域社会经济发展的生态环境支撑能力,促进区域的可持续发展。②整体性原则。按照系统论中“结构-功能”原理,一定的系统结构决定其功能,功能的完整性必须由结构的完整性作保证;同时,区划单元应是个体的、不重复出现的和在空间上连续的。生态功能分区应遵循景观生态单元以及景观生态单元组合结构的完整性原则;③相似性与差异性原则。主要体现在一定范围内区域间环境要素的相似性及区域环境分区间的差异性;④发生学原则。决定生态功能区域分异的因素中,有些是起主导作用,在划分生态功能区时应根据区域生态环境问题与生态系统结构、过程、格局、功能的关系,确定区划的主导因子及区划依据。⑤综合性原则。巢湖流域开发历史悠久,人类社会经济活动对自然本底打

上了深刻的铭印。因此,在进行生态功能分区时,应在自然分区的基础上,结合考虑社会经济因素;⑥可调整性原则。生态功能区是不断发展变化的,生态功能分区具有时效性,结合历史演变过程随时间调整分区以适应生态与环境的变化。

流域生态功能分区的原则和依据,则是在上述生态功能分区基础上,考虑流域-子流域完整性为背景进行。因此,本区划依据子流域划分进行全流域内的生态功能分区。由于子流域是一个独立的地理单元,流域内的生态系统具有从上游至下游的生态完整性,以子流域为单元进行区域生态环境监测和管理,对于生态系统保护与恢复具有重要意义[39-40]。但是由于绝大多数子流域是跨经济单元或行政单元的,很难获取子流域的生态环境专题信息。传统方法进行人工策划和人工统计的数据,大多数是以行政区为单元进行汇总的,如果重新采用传统方法以小流域为单元进行统计,所投入的人力、物力、财力较多,所耗时间较长,难以实现实时更新,而且统计时人为干扰因素较多,统计数据的精度有限,实施起来困难很大。遥感与 GIS 技术的运用,解决了流域生态信息提取难的问题[41]。遥感能提供区域全面综合的观测资料,为流域生态系统研究提供大量数据,GIS 则对这些数据进行存贮、分析、统计、建立评价模型和管理策略,将零散的、不断更新的数据和图象资料(如各类图表、记录)加以综合并存贮在一起。因此,通过遥感数据对研究区土地利用信息的提取以及利用 DEM 空间分析进行子流域划分等技术手段,流域生态专题信息提取问题得以解决。在综合分析巢湖流域生态环境特征的基础上,主要考虑子流域气候-地理特点、生态系统类型、生态系统服务功能重要性的区域分异规律以及生态环境问题等,利用 GIS 技术对多源数据进行叠加,作为其进一步分区的主要依据。同时,结合流域内社会经济发展特点和安徽省生态功能区划[15],提出细化的生态功能分区方案,并指出各功能区的保护措施和发展方向。

2.3　数据来源和制图方法

本文所采用的数据有 3 个来源:①巢湖流域 1:5 万的数字化基础地理数据,包括水系、居民点、铁路、行政区划界限、等高线等 8 个数据图层;②对已有的巢湖流域 1:25 万土壤图、土地类型图、土地利用现状图和土地利用分区图进行矢量化,得到的流域相关资源环境要素数字化数据图层;③根据 2009 年 1 月 11 日的美国陆地卫星 Landsat TM 影像解译得到的流域 1:10 万土地利用图,并根据 Landsat TM 影像对上述数据进行必要的校核和更新得到的数据图层。对已有的矢量数据在 ArcGIS 9 软件平台下进行编辑修改,并建立统一的坐标系统;利用高程数据构建不规则三角网(TIN),再内插生成 25 m 分辨率的数字高程模型 DEM;基于高程数据信息和 DEM 对研究区一级子流域进行提取划分,提取的具体方法详见文献[42],其中较大的子流域包括杭埠河-丰乐河-白石山河流域、南淝河-店埠河流域、派河流域、柘皋河流域等,其它还有一些沿湖平原上发育的短促沟谷小流域(图 1)。

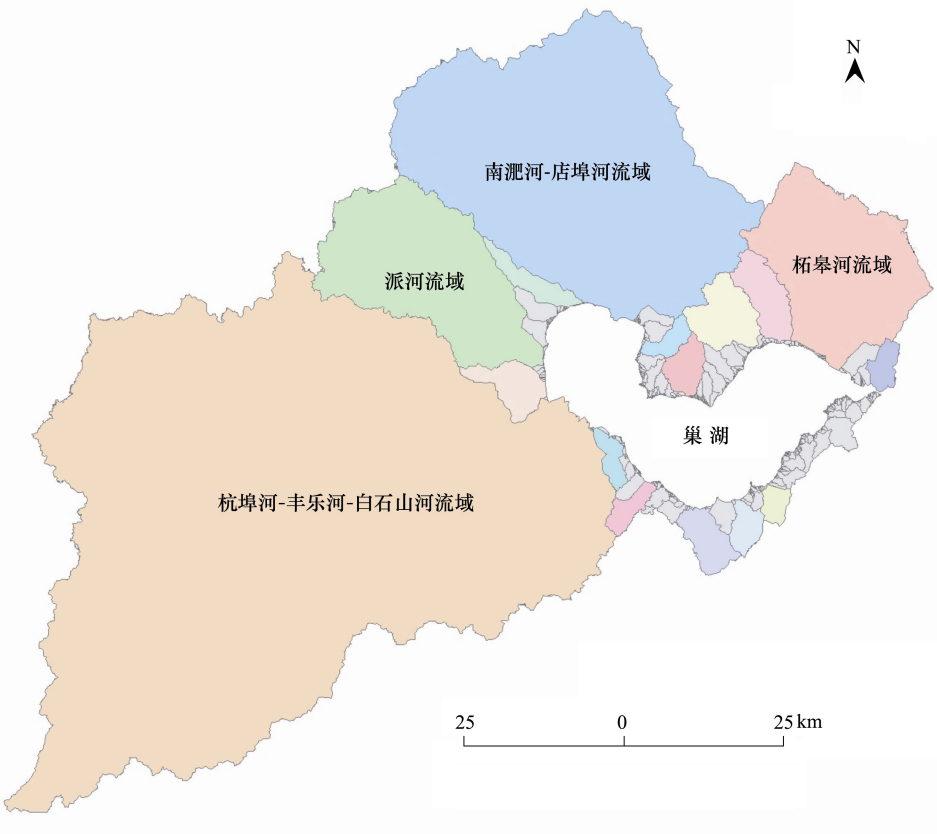

图 1　基于 DEM 提取的研究区一级子流域

Fig.1　Sub-valley extraction for the study area based on DEM

生态功能分区采用以子流域划分为基础的叠置法[43-46]。首先,利用地形信息和 DEM 并基于 D8 算法在 ArcGIS 中提取区域沟谷系统,自动进行子流域区域划分,作为一级分区界线的主要参考。在此基础上,叠置土地利用一级类型图层,利用 ArcGIS 9 软件的多层叠加功能,进行资源环境要素及行政分区界线等的叠置,取重合最多处为界线,对重合较少处按主导生态要素划分界线,然后进行必要的修正,确定生态功能二级分区界线。最后通过实地调研,综合考虑一级功能分区和二级功能分区的合理性及区划原则,结合安徽省生态功能区划[15],进行必要的修正,从而确定最终的全流域生态功能分区方案,具体流程见图 2。

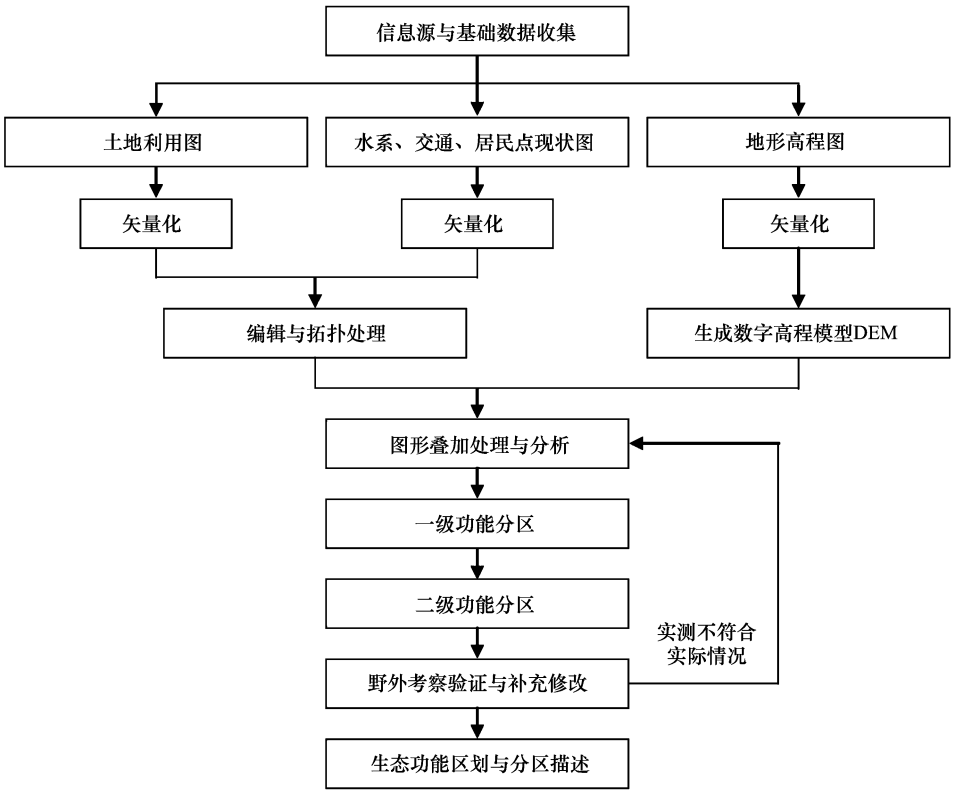

图 2 巢湖流域生态功能区划流程图

Fig.2 Follow chart of ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin

2.4 流域生态功能分区及命名

巢湖流域生态功能区划分为二级,一级生态功能区以子流域范围为主导因素,反映以子流域为单元的生态功能总体格局。其命名采用子流域名称+生态功能区两名法。子流域主要包括杭埠河-丰乐河-白石山河流域、南淝河-店埠河流域、派河流域、柘皋河-烱炀河流域等。二级生态功能区以土地利用类型为主导因素,同时体现地貌或气候特征、生态系统类型与生态系统服务功能等特点,反映一级分区内生态功能的差异性,是基本的生态功能类型单位,采用地名+地貌特征或生态系统类型+生态功能特点+生态功能亚区四名法。

2.5 流域生态功能分区方案及各生态功能区特征分析

遵循上述子流域生态功能分区原则和处理流程,可以将巢湖流域划分为 5 个生态功能区及 12 个生态功能亚区(表 1 和图 3)。

(1)南淝河-店埠河流域生态功能区包括合肥城市及城郊农业、东部丘陵平原农业和江淮分水岭南部丘陵农业与水土保持 3 个生态功能亚区。该区受人类活动影响较强、城镇化区域面积较大,特别是省会合肥市也位于该区域内。因此,本区的生态保护重点主要是从流域协调发展的角度出发,平衡城市扩张与农业生态系统的关系,防止基本农田被城市扩张侵占。此外,在江淮分水岭南部丘陵区还要防止水土流失,使丘陵农业发展与水土保持措施相配套。但是,本区的经济社会发展约束也显而易见,主要表现在大量外来人口涌入合肥市,使得以合肥为中心的周边地区都承受了巨大的生态环境压力,抵消了原本经济社会发展带来的效益与财富,同时也带来了河流水质污染、垃圾废弃物堆积、雾霾天气增多等生态破坏现象。该区今后在生态环境保护和经济社会协调发展的同时还应适当控制人口的过快增长,保证其不超过该区的生态环境承载力。

(2)柘皋河-烱炀河流域生态功能区包括柘皋河流域丘陵与圩畈农业和烱炀河流域丘陵岗地农业两个生态功能亚区。该区位于巢湖的东北部,历史上一直以农业生产为主,多丘陵岗地,城镇化区域面积很小。本区的生态保护重点主要是基本农田和

丘陵山体。该区以基本农田为基础的丘陵与圩畈农业和丘陵岗地农业不仅担负着该区域内人民生产生活必备的粮食供给,同时还要大量供给周边的合肥市和巢湖市周边地区。由于本区东西部边缘都有一些富含磷矿和石灰岩的丘陵山体,过去的滥采滥挖不仅破坏了丘陵山体本身,还造成了水土流失和大量含磷水土随径流进入巢湖,加剧了湖泊的富营养化。因此,加强对开矿采掘的管理势在必行。本区域内由于没有中心城市,工业基础很薄弱,居民生活水平和收入提高很慢,需要在合肥市和巢湖市的共同支持下发展区域内的次级中心城市以带动周边地区的发展。

表 1　巢湖流域生态功能区特征

Table 1　Features of the ecological function regions in the Chaohu Lake Basin

一级区名称 Name of the first-level ecological function region	二级区名称 Name of the second-level ecological function sub-region	面积及所占比例 Area and its proportion
Ⅰ南淝河-店埠河流域生态功能区	$Ⅰ_1$合肥城市及城郊农业生态功能亚区	约 366 km^2, 4.0%
	$Ⅰ_2$东部丘陵平原农业生态功能亚区	约 919 km^2, 10.1%
	$Ⅰ_3$江淮分水岭南部丘陵农业与水土保持生态功能亚区	约 390 km^2, 4.3%
Ⅱ 柘皋河-炯炀河流域生态功能区	$Ⅱ_1$柘皋河流域丘陵与圩畈农业生态功能亚区	约 530 km^2, 5.8%
	$Ⅱ_2$炯炀河流域丘陵岗地农业生态功能亚区	约 178 km^2, 1.9%
Ⅲ 派河流域生态功能区	$Ⅲ_1$北部城镇与城郊农业生态功能亚区	约 158 km^2, 1.7%
	$Ⅲ_2$南部岗地平原灌溉农业与土壤侵蚀控制生态功能亚区	约 478 km^2, 5.2%
Ⅳ 杭埠河-丰乐河-白石山河流域生态功能区	$Ⅳ_1$巢湖西部平原圩畈农业与面源污染控制生态功能亚区	约 2664 km^2, 29.2%
	$Ⅳ_2$大别山北麓中低山森林水源涵养、水土保持与生物多样性保护生态功能亚区	约 2138 km^2, 23.4%
Ⅴ 巢湖湖泊与滨湖生态功能区	$Ⅴ_1$巢湖湖泊湿地洪水调蓄与农业生态功能亚区	约 760 km^2, 8.3%
	$Ⅴ_2$沿湖东部丘陵岗地石料开采、塌陷恢复与生态保护生态功能亚区	约 329 km^2, 3.6%
	$Ⅴ_3$沿湖西部平原圩畈水网湿地与农业生态功能亚区	约 220 km^2, 2.4%

(3)派河流域生态功能区包括北部城镇与城郊农业和南部岗地平原灌溉农业与土壤侵蚀控制两个生态功能亚区。该区北部主要与合肥市接壤,城镇化水平较高,交通路网发达,主要发展城郊农业。城市扩张占地与基本农田保护依然是该区的主要矛盾之一,需要处理好二者之间协调发展的关系。南部岗地平原地区主要是要协调好灌溉农业发展与土壤侵蚀控制的关系,防止因土壤侵蚀导致的含化肥农药等水土物质流失进入巢湖,加剧湖泊淤积和水体污染等。由于该区域基本属于派河子流域,区域自西北向东南延伸较狭长,平原地区主要沿派河两岸展开分布,大多已开垦成农田,能够用于城市和工业发展的用地不多,所以其近期发展主要还是得益和依附于合肥市西南的高新技术开发区,且合肥市城市化地区向肥西扩张最为明显,使得肥西县城在经济社会发展方面的联系主要位于北面,而对南部地区的带动和辐射作用较弱,影响了本区内经济社会的平衡发展。

(4)杭埠河-丰乐河-白石山河流域生态功能区包括巢湖西部平原圩畈农业与面源污染控制和大别山北麓中低山森林水源涵养、水土保持与生物多样性保护两个生态功能亚区。由于多丘陵山地,本区经济社会发展受到自然地理条件限制明显,发展较为落后,生活水平不高。本区生态保护重点在北部主要是巢湖西部平原圩畈地区农业面源污染的控制,而在南部主要是对大别山北麓中低山地区进行森林水源涵养、水土保持与生物多样性保护。巢湖西部平原圩畈发展始于近代以来,虽然增加了可耕地面积,但是加剧了巢湖湖泊的淤积以及水体面源污染,近些年已陆续开始退田还湖以维持巢湖本身的生态承载能力和水体自净能力。大别山北麓的中低山地区生物多样性丰富,森林植被覆盖面积大,是巢湖最大的入湖河流——杭埠-丰乐河的源头区和水源涵养区,具有非常重要的生物多样性保护和水源涵养功能,也是土壤侵蚀敏感区和省水土流失重点监督预防区[26],目前已建有龙河口水库等自然保护区。今后应以大别山生物多样性保护为核心,严格控制旅游规模,在源头区实施封山育林以涵养森林水源和保持水土,并对各类水利水电工程项目严格审批,做好环境影响评价和施工环境监管,避免造成新的生态破坏。

⑤巢湖湖泊与滨湖生态功能区包括有巢湖湖泊湿地洪水调蓄与农业、沿湖东部丘陵岗地石料开采、塌陷恢复与生态保护以及沿湖西部平原圩畈水网湿地与农业 3 个生态功能亚区。该区具有非常重要的湿地生态保护、洪水调蓄、水源涵养等功能,也是水体富营养化敏感区、国家水污染重点监督预防和治理区。目前本区是巢湖国家重点风景名胜区的重要组成部分。今后应重点加强巢湖周边丘陵岗地的水土流失防治,从严审批区内新建矿山开采项目,关闭沿湖东部禁采区内的全部矿山,限期关闭限采区或开采区内规模小、技术水平低的矿山;禁止 25 度以上坡地开荒,对湖泊及沿湖湿地制定实施严格的保护措施;禁止在区内地质灾害高易发区布局重要建设项目;严格监控巢湖湖泊水体、平原水网湿地和入湖支流水质,禁止高密度水产养殖、湖区围垦和占用破坏沿湖湿地的行为。

3　结语

通过巢湖流域生态功能分区的研究以及生态功能分区图的编制可以看出,与传统的区划制图方法相比,以遥感和 GIS 技术

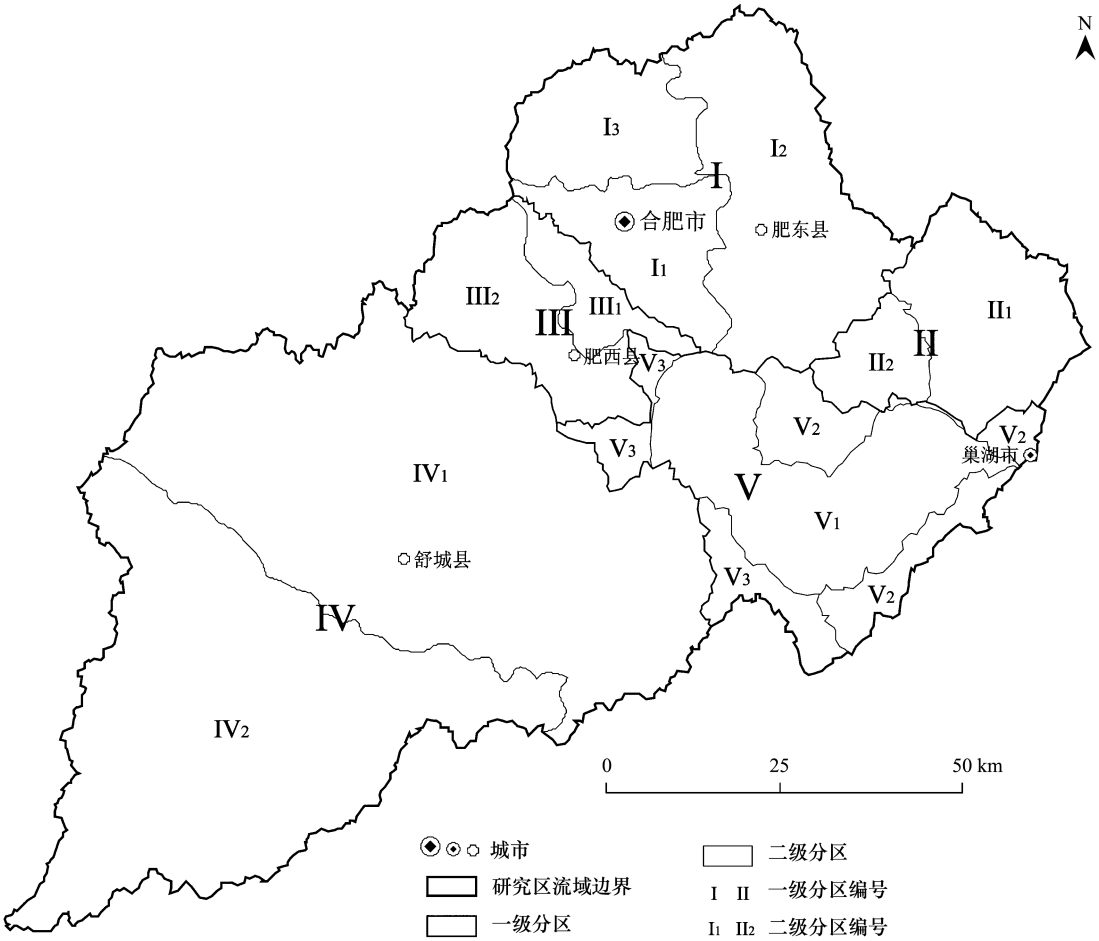

图 3 巢湖流域生态功能分区图

Fig.3 Ecological function regionalization of the Chaohu Lake Basin, Anhui Province

为基础进行生态功能分区,可以充分利用其在数据采集方面的优势及多层面叠加功能,解决了流域生态信息提取难的问题。在进行生态功能分区的过程中,考虑流域-子流域完整性为背景是一个新的探索,为实施和改进生态系统管理、促进宏观生态学发展提供了一定的帮助。以主导因素的流域-子流域划分界线为基础,作为独立地理单元的子流域上游至下游生态系统完整性得到体现;生态区域的重要特征之一就是其层次结构,再利用遥感和 GIS 技术叠置其它资源环境要素以及行政区划等的单要素分区界线,多要素图层叠加,最后依据区划原则进行手工修正,可以更好地贯彻传统区划制图中"主导因素法"和"叠置法"的技术路线,并极大地节约成本,提高制图精度和更新效率。

本研究综合考虑了自然因素与人类活动对巢湖流域生态系统叠加影响的特点,将全流域分为 5 个生态功能区和 12 个生态功能亚区。巢湖流域生态功能分区指明了区域生态系统的脆弱地区、保护关键区以及不同生态功能区的生态保护重点与经济社会发展约束等,对流域生态环境综合治理以及遏制生态系统服务功能的继续破坏和丧失具有重要的现实意义,为实现区域社会经济与生态环境的可持续协调发展提供了基础,也为实施流域生态保护与生态建设的分区管理、区域产业布局、生态防灾减灾、环境保护与建设规划等提供科学依据。

致谢:自然灾害过程与防控研究安徽省重点实验室主任程先富教授、陶月赞教授、张平究副教授、高超副教授、程静静和蒋玲老师等对野外考察给予帮助,特此致谢。

References:

[1] Martin G J.All Possible Worlds: A History of Geographical Ideas.4th ed//Cheng Y N, Wang X M, Trans.Shanghai: Shanghai People's Publishing House, 2008.

[2] Merriam C H.Life Zones and Crop Zones of the United States (1989).Montana, Whitefish: Kessinger Publishing LLC, 2010.

[3] Bailey R G.Ecoregions of the United States.Utah, Ogden: U.S.Forest Service, 1976.

[4] Wang J H, Qiao Z, Liu G.Brief analysis on the division of ecological function areas in the small towns.Journal of Agricultural University of Hebei,

2002, 25(4): 122-125.

[5] Zhu Z Y, Liang C Z, Wang W, Liu Z L. The landscape ecological division of desert region in Alashan. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2000, 14(4): 37-48.

[6] Hu B Q, Zhou X, Yin J Z. Applied study on "grey constellation" cluster analysis in the agri-ecological economic regionalization of mountain area —— Taking Rongshui Miaozu Autonomous County of Guangxi Zhuangzu Autonomous Region as an example. Journal of Mountain Science, 1999, 17(4): 380-384.

[7] Xu J T, Chen B M, Zhang X Q. Ecosystem productivity regionalization of China. Acta Geographica Sinica, 2001, 56(4): 401-408.

[8] Huang Y, Cai J L, Zheng W S, Zhou F, Guo H C. Research progress in aquatic ecological function regionalization and its approach at watershed scale. Chinese Journal of Ecology, 2009, 28(3): 542-548.

[9] Zhao J J. "Tentative Specification of Ecological Function Regionalization" has been published by Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. China Economic and Trade Herald, 2002, (19): 41.

[10] Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China. Tentative Specification of Ecological Function Regionalization. Beijing: Information Center of Ministry of Environmental Protection of the People's Republic of China, 2003.

[11] Sun X Y, Zhou Q X, Yu H B, Meng W. Comparative study on ecoregion and its classification systems between China and USA. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(11): 3010-3017.

[12] Tang T, Cai Q H. The essential issues in aquatic ecological function regionalization. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(22): 6255-6263.

[13] Li Y M, Zeng W L, Zhou Q X. Research progress in water eco-functional regionalization. Chinese Journal of Applied Ecology, 2009, 20(12): 3101-3108.

[14] Xu X B, Zhang J M, Qi Y A, Nian Y Y. 3S-based study on the ecological-function regionalization in the Shiyang River Basin, Gansu Province. Arid Zone Research, 2005, 22(1): 41-44.

[15] Jia L Q, Ouyang Z Y, Zhao T Q, Wang X K, Xiao Y, Xiao R B, Zheng H. The ecological function regionalization of Anhui Province. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(2): 254-260.

[16] Liu J J, Li C L. Population information extraction in Chaohu watershed based on RS and GIS. Chinese Science Bulletin, 2003, 48(2): 181-183.

[17] Hou M J, Zhu G, Mercier J, Vergély P, Wang Y M. Analyzing on geodynamics and regional tectonic evolution of the Tan-Lu fault zone (Anhui segment) and its environs. Chinese Journal of Geology, 2007, 42(2): 362-381.

[18] Wang X Y. Geological Investigation and Regional Geological Tourism in the North Mountain of Chaohu. Hefei: University of Science and Technology of China Press, 2007.

[19] Wu L, Wang X Y, Zhu C, Li F, Li S Y. Estimation on emission of nonpoint source pollution of nitrogen and phosphorus in different catchments of the Chaohu Lake Basin, China. Advanced Materials Research, 518-523: 1530-1535.

[20] Wu L, Wang X Y, Zhu C, Zhang G S, Li F, Li L, Li S Y. Ancient culture decline after the Han Dynasty in the Chaohu Lake basin, East China: A geoarchaeological perspective. Quaternary International, 2012, 275: 23-29.

[21] Chorography Compiling Commission of Anhui Province. Anhui Chorography: Natural Environment. Beijing: Chronicles Press, 1999.

[22] Wu L, Wang X Y, Zhang G S, Xiao X Y. Vegetation evolution and climate change since the Holocene recorded by pollen-charcoal assemblages from lacustrine sediments of Chaohu Lake in Anhui Province. Journal of Palaeogeography, 2008, 10(2): 183-192.

[23] Hu J L, Wang X Y. The physical geographical perspective of coordinated development in Chaohu Lake Basin. Environment and Sustainable Development, 2009, 34(1): 32-35.

[24] Fang F M, Jin G J, Gao C. Spatiotemporal characteristics of water environment and their causes in Chaohu Lake. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2010, 30(5): 178-181, 220-220.

[25] Wang X W, Wang X Y, Feng Y, Liu H L. Distribution of total phosphorus in the sediments in Chaohu Lake and its geological origin. Journal of Anhui Normal University: Natural Science, 2007, 30(4): 496-499.

[26] Xia L Y, Wang X Y, Zhang G S. Research on soil erosion and prevention and controling measures for Fengle River Valley in west of Anhui. Research of Soil and Water Conservation, 2006, 13(3): 162-164, 168-168.

[27] Gao C, Wang X Y, Yang Z D, Lu Y C. Analysis on cause and countermeasure of lakeshore's collapsing in the Chaohu Lake. Research of Soil and Water Conservation, 2005, 12(2): 49-51, 56-56.

[28] Wu L, Wang C H, Wang X Y, Li F, Zhu C. Formation mechanism of disaster chain and countermeasures of disaster deduction in the Chaohu Lake Basin, East China. Journal of Catastrophology, 2012, 27(4): 85-91.

[29] Wu L, Wang X Y, Zhou K S, Mo D W, Zhu C, Gao C, Zhang G S, Li L, Liu L, Han W G. Transmutation of ancient settlements and environmental changes between 6000—2000 aBP in the Chaohu Lake Basin, East China. Journal of Geographical Sciences, 2010, 20(5): 687-700.

[30] Wu L, Li F, Zhu C, Li L, Li B. Holocene environmental change and archaeology, Yangtze River Valley, China: Review and prospects. Geoscience Frontiers, 2012, 3(6): 875-892.

[31] Tan J, Li Y M, Lü H, Guo Y L, Zhou L, Liu G, Huang C C. Retrieval of total suspended matter concentration of three lakes and one reservoir

using CCD images from the HJ-1 satellite.China Environmental Science, 2012, 32(S1): 32-43.

[32] Hu J L, Wang X Y.Preliminary study on the establishment of ecological function regionalization model in Chaohu Lake Basin.Anhui Agricultural Science Bulletin, 2008, 14(11): 48-50.

[33] Liu G H, Fu B J.The principle and characteristics of ecological regionalization.Advances in Environmental Science, 1998, 6(6): 67-72.

[34] Fu B J, Chen L D, Liu G H.The objectives, tasks and characteristics of China ecological regionalization.Acta Ecologica Sinica, 1999, 19(5): 591-595.

[35] Fu B J, Liu G H, Chen L D, Ma K M, Li J R.Scheme of ecological regionalization in China.Acta Ecologica Sinica, 2001, 21(1): 1-6.

[36] Wang Z J, Li P J, Wang Y S, Hu T, Gong Z Q, Sun T H, Wan Z C, Chen D G.Ecological function zoning in Liaoning Province.Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(11): 1339-1342.

[37] Research Team of "Hebei Ecology and Disaster".Research on ecological regionalization in Hebei Province.Geography and Geo-Information Science, 2003, 19(5): 82-85.

[38] Hu M C, Ma R H.Cartographic method with RS for Eco-functional regionalization in Heihe River Basin.Journal of Arid Land Resources and Environment, 2003, 17(1): 49-53.

[39] Hu L W, Wang X J, Luo D G, Jiang Y.Effect of sub-watershed partitioning on flow, sediment and nutrient predictions: Case study in Fengle river watershed.Advances in Water Science, 2007, 18(2): 235-240.

[40] Tian F, Han S M, Hu Y K.Variance tendency of precipitation and runoff in mountain watershed of Hai River Basin in recent 34 years.Chinese Journal of Agrometeorology, 2009, 30(1): 60-65.

[41] Wang W.Study on Ecological Function Regionalization in Qingdao Based on RS and GIS Technology [D].Shijiazhuang: Hebei Normal University, 2003.

[42] Wang G Y.Chaohu Lake Basin Gully Auto-extract and Gully Spatial Characteristics Study [D].Wuhu: Anhui Normal University, 2009.

[43] Huang X Y, Ma J S.Introduction to Geographic Information System.3rd ed.Beijing: Higher Education Press, 2008.

[44] Yu H Y, Yu J, Chen Y X, Hu Z Y, Han M C, Wang F E.Eco-functional regionalization of Qiantangjiang River Basin.Environmental Pollution & Control, 2008, 30(4): 86-89.

[45] Cao X J, Zeng G M, Zhang S F, Zhou J F, Zhu H, Shi L.Ecological functional regionalization of Changsha City based on RS and GIS.Chinese Journal of Applied Ecology, 2006, 17(7): 1269-1273.

[46] Chen L, Xie G D, Zhang C S, Liu C L, Chen C C, Wang H H.Ecosystem function and regionalization in the Lancang River Basin.Resources Science, 2013, 35(4): 816-823.

参考文献:

[1] [美]杰佛里·马丁.所有可能的世界: 地理学思想史 (第四版)//成一农, 王雪梅, 译.上海: 上海人民出版社, 2008.

[4] 王敬华, 乔忠, 刘革.小城镇镇域生态功能分区规划浅析——以鹿泉市大河镇为例.河北农业大学学报, 2002, 25(4): 122-125.

[5] 朱宗元, 梁存柱, 王炜, 刘钟龄.阿拉善荒漠区的景观生态分区.干旱区资源与环境, 2000, 14(4): 37-48.

[6] 胡宝清, 周兴, 尹家政."星座"聚类法在山区农业生态经济区划中的应用——以广西融水苗族自治县为例.山地学报, 1999, 17(4): 380-384.

[7] 徐继填, 陈百明, 张雪芹.中国生态系统生产力区划.地理学报, 2001, 56(4): 401-408.

[8] 黄艺, 蔡佳亮, 郑维爽, 周丰, 郭怀成.流域水生态功能分区以及区划方法的研究进展.生态学杂志, 2009, 28(3): 542-548.

[9] 赵俊杰.国家环保总局发布《生态功能区划暂行规程》.中国经贸导刊, 2002, (19): 41.

[10] 中华人民共和国环境保护部.生态功能区划暂行规程.北京: 中华人民共和国环境保护部信息中心, 2003.

[11] 孙小银, 周启星, 于宏兵, 孟伟.中美生态分区及其分级体系比较研究.生态学报, 2010, 30(11): 3010-3017.

[12] 唐涛, 蔡庆华.水生态功能分区研究中的基本问题.生态学报, 2010, 30(22): 6255-6263.

[13] 李艳梅, 曾文炉, 周启星.水生态功能分区的研究进展.应用生态学报, 2009, 20(12): 3101-3108.

[14] 徐昔保, 张建明, 祁永安, 年雁云.基于3S的石羊河流域生态功能区划研究.干旱区研究, 2005, 22(1): 41-44.

[15] 贾良清, 欧阳志云, 赵同谦, 王效科, 肖燚, 肖荣波, 郑华.安徽省生态功能区划研究.生态学报, 2005, 25(2): 254-260.

[16] 刘建军, 李春来.基于遥感和GIS的巢湖流域人口信息提取.科学通报, 2002, 47(23): 1835-1837.

[17] 侯明金, 朱光, Mercier J, Vergély P, 王永敏.郯庐断裂带(安徽段)及邻区的动力学分析与区域构造演化.地质科学, 2007, 42(2): 362-381.

[18] 王心源.巢湖北山地质考察与区域地质旅游教程.合肥: 中国科学技术大学出版社, 2007.

[21] 安徽省地方志编纂委员会.安徽省志·自然环境志.北京: 方志出版社, 1999.

[22] 吴立, 王心源, 张广胜, 肖霞云.安徽巢湖湖泊沉积物孢粉-炭屑组合记录的全新世以来植被与气候演变.古地理学报, 2008, 10(2): 183-192.

[23] 胡降临, 王心源.巢湖流域协调发展的自然地理学透视.环境与可持续发展, 2009, 34(1): 32-35.

[24] 方凤满, 金高洁, 高超.巢湖水环境质量时空演变特征及成因分析.水土保持通报, 2010, 30(5): 178-181, 220-220.

[25] 王绪伟, 王心源, 封毅, 刘慧兰.巢湖沉积物总磷分布及其地质成因.安徽师范大学学报: 自然科学版, 2007, 30(4): 496-499.
[26] 夏林益, 王心源, 张广胜.皖西丰乐河流域水土流失及防治对策.水土保持研究, 2006, 13(3): 162-164, 168-168.
[27] 高超, 王心源, 杨则东, 陆应诚.巢湖崩塌岸成因初步研究.水土保持研究, 2005, 12(2): 49-51, 56-56.
[28] 吴立, 王传辉, 王心源, 李枫, 朱诚.巢湖流域灾害链成因机制与减灾对策.灾害学, 2012, 27(4): 85-91.
[31] 檀静, 李云梅, 吕恒, 郭宇龙, 周莉, 刘阁, 黄昌春.基于环境一号卫星多光谱影像数据的三湖一库总悬浮物浓度反演.中国环境科学, 2012, 32(S1): 32-43.
[32] 胡降临, 王心源.建立巢湖流域生态功能区划模型的初步研究.安徽农学通报, 2008, 14(11): 48-50.
[33] 刘国华, 傅伯杰.生态区划的原则及其特征.环境科学进展, 1998, 6(6): 67-72.
[34] 傅伯杰, 陈利顶, 刘国华.中国生态区划的目的、任务及特点.生态学报, 1999, 19(5): 591-595.
[35] 傅伯杰, 刘国华, 陈利顶, 马克明, 李俊然.中国生态区划方案.生态学报, 2001, 21(1): 1-6.
[36] 王治江, 李培军, 王延松, 胡涛, 巩宗强, 孙铁珩, 万忠成, 陈大光.辽宁省生态功能分区研究.生态学杂志, 2005, 24(11): 1339-1342.
[37] “河北省生态与灾害研究”课题组.河北省生态区划研究.地理与地理信息科学, 2003, 19(5): 82-85.
[38] 胡孟春, 马荣华.黑河流域生态功能区划遥感制图方法.干旱区资源与环境, 2003, 17(1): 49-53.
[39] 胡连伍, 王学军, 罗定贵, 蒋颖.不同子流域划分对流域径流、泥沙、营养物模拟的影响——丰乐河流域个例研究.水科学进展, 2007, 18(2): 235-240.
[40] 田菲, 韩淑敏, 胡玉昆.海河流域典型山区子流域近 34 年气候及径流变化趋势.中国农业气象, 2009, 30(1): 60-65.
[41] 王维.基于遥感、GIS 技术的青岛生态功能区划研究 [D].石家庄: 河北师范大学, 2003.
[42] 王官勇.巢湖流域沟谷自动提取与空间特征研究 [D].芜湖: 安徽师范大学, 2009.
[43] 黄杏元, 马劲松 编著.地理信息系统概论 (第三版).北京: 高等教育出版社, 2008.
[44] 于海燕, 俞洁, 陈英旭, 胡尊英, 韩明春, 王飞儿.钱塘江流域生态功能区划研究.环境污染与防治, 2008, 30(4): 86-89.
[45] 曹小娟, 曾光明, 张硕辅, 周建飞, 朱华, 石林.基于 RS 和 GIS 的长沙市生态功能分区.应用生态学报, 2006, 17(7): 1269-1273.
[46] 陈龙, 谢高地, 张昌顺, 刘春兰, 陈操操, 王海华.澜沧江流域典型生态功能及其分区.资源科学, 2013, 35(4): 816-823.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.18 Sep., 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Development of agroecology in USA ····· HUANG Guoqin, McCullough Patrick E. (5449)
Research progress on water footprint ····· MA Jing, PENG Jian (5458)
Analysis and evaluation of the eco-economic systems of the main crops (rice, cotton and rapeseed) in Jiangxi Province, China ····· SUN Weimin, OU Yizhi, HUANG Guoqin (5467)
Relationship among drought, hydraulic metabolic, carbon starvation and vegetation mortality ····· DONG Lei, LI Jiyue (5477)
Reviews on the ecological stoichiometry characteristics and its applications ····· ZENG Dongping, JIANG Liling, ZENG Congsheng, et al (5484)
Composition and fractal features of purple soil aggregates during the vegetation restoration processes in the Three Gorges Reservoir Region ····· WANG Yihao, GENG Yanghui, HUANG Zhonghua (5493)
Impacts of different surface covers on soil respiration in urban areas ····· FU Zhihong, HUYAN Jiaoqi, LI Feng, et al (5500)
Chilling sensitivities of three closely related plants with different invasiveness in South China ····· WANG Yutao, LI Chunmei, LI Shaoshan (5509)
The flower sydrome and pollination adaptation of desert rare species *Eremosparton songoricum* (litv.) Vass.(Fabaceae) ····· SHI Xiang, LIU Huiliang, ZHANG Daoyuan, et al (5516)
Competitive effect of *Pistia stratiotes* to rice and its impacts on rice yield and soil nutrients ····· SHEN Shicai, XU Gaofeng, ZHANG Fudou, et al (5523)
Photosynthetic physiological ecology characteristics of rare medicinal plants *Bletilla striata* ····· WU Mingkai, LIU Hai, SHEN Zhijun, et al (5531)
Photosynthetic responses to Solar UV radiation of *Gracilaria lemaneiformis* cultured under different temperatures and CO_2 concentrations ····· YANG Yuling, LI Wei, CHEN Weizhou, et al (5538)
The effect of soil oxygen availability on greenhouse gases emission in a double rice field ····· QIN Xiaobo, LI Yu'e, WAN Yunfan, et al (5546)
Effects of nitrogen management on NH_3 volatilization and nitrogen use efficiency under no-tillage paddy fields ····· MA Yuhua, LIU Bing, ZHANG Zhisheng, et al (5556)
Study on characteristics of net photosynthetic rate of two kinds of tree shape and Impact Factors in Korla fragrant pear ····· SUN Guili, XU Min, LI Jiang, et al (5565)
Effects of sand burial on growth, survival, photosynthetic and transpiration properties of *Agriophyllum squarrosum* seedlings ····· ZHAO Halin, QU Hao, ZHOU Ruilian, et al (5574)
Effects of using plastic film as mulch combined with bunch planting on soil temperature, moisture and yield of spring wheat in a semi-arid area in drylands of Gansu, China ····· WANG Hongli, SONG Shangyou, ZHANG Xucheng, et al (5580)
Study on soil aggregates stability of mulberry ridge in Rocky Desertification based on Le Bissonnais method ····· WANG Sanshu, HUANG Xianzhi, SHI Dongmei, et al (5589)
Effects of fertilization on nitrogen loss with different forms via runoff and seepage under *Phyllostachy praecox* stands ····· CHEN Peipei, WU Jiasen, ZHENG Xiaolong, et al (5599)
Characteristics of physiological groups of soil nitrogen-transforming microbes in different vegetation types in the Loess Gully region, China ····· XING Xiaoyi, HUANG Yimei, AN Shaoshan, et al (5608)
Effects of vegetation types on soil microbial biomass C, N, P on the Loess Hilly Area ····· ZHAO Tong, YAN Hao, JIANG Yueli, et al (5615)
Influence of mulching management on soil microbe and its relationship with soil nutrient in *Phyllostachys praecox* stand ····· GUO Ziwu, YU Wenxian, CHEN Shuanglin, et al (5623)
Effect of rainfall on the seasonal variation of soil respiration in Hulunber Meadow Steppe ····· WANG Xu, YAN Yuchun, YAN Ruirui, et al (5631)
Spatial heterogeneity of fine roots in a subtropical evergreen broad-leaved forest and their sampling strategy based on soil coring method ····· HUANG Chaochao, HUANG Jinxue, XIONG Decheng, et al (5636)
Changes of leaf traits and WUE with crown height of four tall tree species ····· HE Chunxia, LI Jiyue, MENG Ping, et al (5644)
Sap flow dynamics of *Populus alba* L.×*P.talassica* plantation in arid desert area ··· ZHANG Jun, LI Xiaofei, LI Jiangui, et al (5655)
Effects of simulated temperature increase and vary little quality on litter decomposition ····· LIU Ruipeng, MAO Zijun, LI Xinghuan, et al (5661)
The effects of leaf stoichiochemistric characters on litter turnover in an arid-hot valley of Jinsha River, China ····· YAN Bangguo, JI Zhonghua, HE Guangxiong, et al (5668)
Comparison of concentrations of non-structural carbohydrates between new twigs and old branches for 12 temperate species ····· ZHANG Haiyan, WANG Chuankuan, WANG Xingchang (5675)
Combined effects of root cutting, auxin application, and potassium fertilizer on growth, sugar:nicotine ratio, and organic potassium index of flue-cured tobacco ····· WU Yanhui, XUE Lixin, XU Zicheng, et al (5686)
Effects of photoperiod and high fat diet on energy intake and thermogenesis in female *Apodemus chevrieri* ····· GAO Wenrong, ZHU Wanlong, MENG Lihua, et al (5696)
Effects of dietary chlorogenic acid supplementation on antioxidant system and anti-low salinity of *Litopenaeus vannamei* ····· WANG Yun, LI Zheng, LI Jian, et al (5704)

Responses of desert plant diversity, community and interspecific association to soil salinity gradient ····· ZHANG Xueni, LÜ Guanghui, YANG Xiaodong, et al (5714)
Community characteristics in a chronosequence of karst vegetation in Mashan county, Guangxi ····· WEN Yuanguang, LEI Liqun, ZHU Hongguang, et al (5723)
Association between environment and community of *Pinus taiwanensis* in Daiyun Mountain ····· LIU Jinfu, ZHU Dehuang, LAN Siren, et al (5731)
The dynamics of soil fauna community during litter decomposition at different phenological stages in the subtropical evergreen broad-leaved forests in Sichuan basin ····· WANG Wenjun, YANG Wanqin, TAN Bo, et al (5737)
Seasonal dynamics and content of soil labile organic carbon of mid-subtropical evergreen broadleaved forest during natural succession ····· FAN Yuexin, YANG Yusheng, YANG Zhijie, et al (5751)
The stoichiometric characteristics of C, N, P for artificial plants and soil in the hinterland of Taklimakan Desert ····· LI Congjuan, LEI Jiaqiang, XU Xinwen, et al (5760)
A preliminary investigation on the population and behavior of the Tundra Swan (*Cygnus columbianus*) in Poyang Lake ····· DAI Nianhua, SHAO Mingqin, JIANG Lihong, et al (5768)
Effects of nutrient enrichment and fish stocking on succession and diversity of phytoplankton community ····· CHEN Chun, LI Sijia, XIAO Lijuan, HAN Boping (5777)
The depositional environment and organic sediment component of Dagze Co, a saline lake in Tibet, China ····· LIU Shasha, JIA Qinxian, LIU Xifang, et al (5785)
Spatiotemporal variation of interacting relationships among multiple provisioning and regulating services of Tibet grassland ecosystem ····· PAN Ying, XU Zengrang, YU Chengqun, et al (5794)
Spatial distribution of dissloved amino acids in Lake Taihu, China ····· YAO Xin, ZHU Guangwei, GAO Guang, et al (5802)
RS- and GIS-based study on ecological function regionalization in the Chaohu Lake Basin, Anhui Province, China ····· WANG Chuanhui, WU Li, WANG Xinyuan, et al (5808)
Trends of spring maize phenophases and spatio-temporal responses to temperature in three provinces of Northeast China during the past 20 years ····· LI Zhengguo, YANG Peng, TANG Huajun, et al (5818)
Species selection for landscape rehabilitation and their response to environmental factors in Poyang Lake wetlands ····· XIE Dongming, JIN Guohua, ZHOU Yangming, et al (5828)
Temporal and spatial pattern of the phytoplankton biomass in the Pearl River Delta ····· WANG Chao, LI Xinhui, LAI Zini, et al (5835)
Spatio-temporal dynamics of land use/land cover and its driving forces in Nanjing from 1995 to 2008 ····· JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa (5848)
Changes of organic carbon and its labile fractions in topsoil with altitude in subalpine-alpine area of southwestern China ····· QIN Jihong, WANG Qin, SUN Hui (5858)
The carbon sink of urban forests and efficacy on offsetting energy carbon emissions from city in Guangzhou ····· ZHOU Jian, XIAO Rongbo, ZHUANG Changwei, et al (5865)
Groundwater salt content change and its simulation based on machine learning model in hinterlands of Taklimakan Desert ····· FAN Jinglong, LIU Hailong, LEI Jiaqiang, et al (5874)
Analysis of coordination degree between urban development and water resources potentials in arid oasis city ····· XIA Fuqiang, TANG Hong, YANG Degang, et al (5883)
Constructing an assessment indices system to analyze integrated regional carrying capacity in the coastal zones: a case in Nantong ····· WEI Chao, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (5893)
Fish species diversity in Zhongjieshan Islands Marine Protected Area (MPA) ····· LIANG Jun, XU Hanxiang, WANG Weiding (5905)
Distribution and long-term changes of net-phytoplankton in the tidal freshwater estuary of Changjiang during wet season ····· JIANG Zhibing, LIU Jingjing, LI Hongliang, et al (5917)
Study of urban metabolic structure based on ecological network: a case study of Dalian ····· LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin, et al (5926)
Factors influencing of residents' tolerance towards wild boar in and near nature reserve: Taking the Heilongjiang Fenghuangshan Nature Reserve as the example ····· XU Fei, CAI Tijiu, JU Cunyong, et al (5935)
Herdsmen's willingness to participate in ecological protection in Sanjiangyuan Region, China ····· LI Huimei, ZHANG Anlu, WANG Shan, et al (5943)
Analysis of first flush in rainfall runoff in Shenyang urban city ····· LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (5952)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科研工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科研人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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

本期责任副主编 陈利顶　**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 18 期　(2013 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 33　No. 18 (September, 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

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