

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第34卷 第11期 Vol.34 No.11 **2014**

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 34 卷 第 11 期 2014 年 6 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

土壤大孔隙流研究现状与发展趋势..... 高朝侠,徐学选,赵娇娜,等 (2801)

能源基地生态修复

我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述..... 吴 钢,魏 东,周政达,等 (2812)

国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例.....

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

基于 DPSIR 模型的国家大型煤电基地生态效应评估指标体系 周政达,王辰星,付 晓,等 (2830)

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

露天煤矿区生态风险受体分析——以内蒙古平庄西露天煤矿为例..... 高 雅,陆兆华,魏振宽,等 (2844)

草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响——以黑岱沟露天煤矿为例.....

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等 (2868)

某焦化场地土壤中多环芳烃分布的三维空间插值研究..... 刘 庚,毕如田,权 腾,等 (2876)

个体与基础生态

杉木人工混交林对土壤铝毒害的缓解作用 雷 波,刘 彬,罗承德,等 (2884)

基于 $\delta^{15}\text{N}$ 稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究 张淑花,张雪萍 (2892)

铅镉抗性菌株 JB11 强化植物对污染土壤中铅镉的吸收 金忠民,沙 伟,刘丽杰,等 (2900)

陕北地区石油污染土壤中不动杆菌属的筛选、鉴定及降解性能 王 虎,吴玲玲,周立辉,等 (2907)

祁连山高山植物根际土放线菌生物多样性..... 马爱爱,徐世健,敏玉霞,等 (2916)

新疆沙冬青 AM 和 DSE 真菌的空间分布 姜 桥,贺学礼,陈伟燕,等 (2929)

聚糠茶水剂对不同积温带玉米花后叶片氮同化的影响..... 高 娇,董志强,徐田军,等 (2938)

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度..... 王海梅,侯 琼,云文丽,等 (2948)

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响..... 吴红军,赵吕权,曾 杨,等 (2963)

颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响..... 杨小凡,马春森,范 凡,等 (2971)

缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响..... 林 健,刘文波,孟昭军,等 (2978)

种群、群落和生态系统

黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构 胡婵娟,郭 雷,刘国华 (2986)

刺参池塘底质微生物群落功能多样性的季节变化..... 闫法军,田相利,董双林,等 (2996)
基于 DGGE 技术的茯砖茶发花过程细菌群变化分析 刘石泉,胡治远,赵运林 (3007)

景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)
西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力 姚 平,陈先刚,周永锋,等 (3025)
青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征..... 李广泳,李小雁,赵国琴,等 (3038)
黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算..... 魏书精,罗碧珍,孙 龙,等 (3048)
三峡库区森林植被气候生产力模拟..... 潘 磊,肖文发,唐万鹏,等 (3064)
三峡水库支流拟多甲藻水华的形成机制..... 朱爱民,李嗣新,胡 俊,等 (3071)
流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区..... 李亦秋,鲁春霞,邓 欧,等 (3081)

城乡与社会生态

基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价..... 檀菲菲,张 萌,李浩然,等 (3090)
江西省自然保护区发展布局空缺分析 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)
鄱阳湖生态经济区生态经济指数评价 黄和平,彭小琳,孔凡斌,等 (3107)
基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价..... 刘心竹,米 锋,张 爽,等 (3115)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 328 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2014-06



封面图说: 三峡库区森林植被——三峡地区属亚热带区域,山高坡陡、地形复杂、物种丰富,森林是其最重要的自然资源之一,其面积占到库区总面积的 37%左右,库区内现有森林可初步分为 2 个植被型组,8 个植被型,18 个群系组,44 个群系,102 个群丛,主要树种有马尾松、杉树、柏树等,低海拔处多为落叶阔叶林、常绿阔叶林,较高海拔分布有针阔混交林、针叶混交林、灌木林等,人工林主要有经济林、竹林等。对三峡库区森林气候生产力进行模拟,分析库区森林植被的生产力并进行预测,可以为三峡库区的生态建设决策提供科学依据。

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/stxb201303270536

李亦秋, 鲁春霞, 邓欧, 刘艺. 流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区. 生态学报, 2014, 34(11): 3081-3089.

Li Y Q, Lu C X, Deng O, Liu Y. Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 3081-3089.

流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区

李亦秋^{1,2}, 鲁春霞^{1,*}, 邓 欧^{2,3}, 刘 艺³

(1. 绵阳师范学院生态安全与保护四川省重点实验室, 绵阳 621000; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

3. 清华大学工程物理系, 公共安全研究院, 北京 100084)

摘要:流域生态敏感性是流域生态系统遇到干扰时产生生态失衡与生态环境问题的难易程度和可能性大小,生物多样性是其影响最为重要的生态因子。主要考虑物种丰富度、珍稀程度、濒危程度、保护等级和生态系统类型等生物多样性敏感因子,借助GIS强大的空间数据采集和建模分析能力,在专家打分求取敏感因子权重基础上,通过空间模型计算生物多样性敏感度综合得分。基于二级流域综合得分最大值,采用ARCGIS自然间断点法实现敏感度分区,结果表明:极敏感区域主要分布在长江区的岷沱江、金沙江石鼓以下、金沙江石鼓以上、宜宾至宜昌、嘉陵江流域,珠江区的郁江、红柳河和西江流域,西南诸河区的澜沧江、红河和怒江及伊洛瓦底江流域,黄河区的龙羊峡以上流域等,这些区域水生生物特有种和受威胁物种丰度大,国家级自然保护区密集,是陆地生物多样性最丰富的地区。不敏感区域主要分布在松花江区除第二松花江以外流域,西北诸河区的塔里木盆地荒漠、古尔班通古特荒漠、中亚西亚内陆河、塔里木河干流等荒漠区,松花江区低温高寒,具有大森林、大草原、大湿地、大农田和大水域的特点,库坝工程对其生物多样性产生影响的可能性较小,西北诸河的荒漠区生境严酷,生物多样性贫乏,也不具备修建大型水库的条件,生物多样性敏感度也较低。其它区域介于二者之间,因其所处的生态系统类型、物种丰富度、珍稀程度、濒危程度和保护等级不一样,生物多样性敏感度各异。对流域库坝工程产生的生物多样性敏感度进行辨识,可为未来流域水资源合理和适度开发提供科学依据。

关键词:流域库坝工程;生物多样性;敏感度

Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development

LI Yiqiu^{1,2}, LU Chunxia^{1,*}, DENG Ou^{2,3}, LIU Yi³

1 Ecological Security and Protection Key Laboratory of Sichuan Province, Mianyang Normal University, Mianyang 621000, China

2 Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China

3 Institute of Public Safety Research, Department of Engineering Physics, Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract: Ecological sensitivity refers to the reflection degree of the ecosystem to human activities and natural environment's changes; it explains the accessibility and possibility of the effect of regional ecological environment. Watershed ecological sensitivity is the degree of difficulty and possibility of ecological imbalance and environmental problems when the ecosystem encountered interference. Biodiversity is the most important ecological factor that can be affected by the Watershed ecological sensitivity. By considering the main biodiversity sensitive factors such as ecosystem types, species richness, rarity, endangered and protected level, this paper identified the ecological effects possibility of watershed dam and reservoir projects. By means of GIS technology's powerful and spatial data acquisition, processing and modeling analysis capabilities,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41371486);国家自然科学基金资助项目(91024017);国家自然科学基金重点资助项目(91224004);贵州省重大专项(黔科合重大专项字[2012]6007号);生态安全与保护四川省重点实验室开放基金资助项目(ESP201304)

收稿日期:2013-03-27; **网络出版日期:**2014-03-07

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lux@ignrr.ac.cn

the biodiversity sensitivity index was calculated based on the weights of the expert's score. Sensitivity partition was achieved in accordance with the principle of ARCGIS natural breaks methodology based on the secondary basin area maximum integrated sensitivity index. The results show that the most sensitive areas are mainly located at Min Tuo Jiang, Jinsha river Shigu downstream, Jinsha river Shigu upstream, Yibin to Yichang and Jialing River of Yangtze River region; Yujiang, Hongliuhe and Xijiang of Pearl River region; Lancang River, Red River, Nujiang and Irrawaddy River of Southwestern rivers region; Longyangxia's upstream of Yellow River region. These areas which have rich kinds of endemic aquatic species, threatened species and intensive national nature reserve, are the most abundant biodiversity areas. Insensitive areas are mainly at Songhua river region except the second Songhua river area, Tarim basin desert, Gurbantunggut desert, central & western Asian inland river and Mainstream of the Tarim River in Northwestern rivers region. The characteristics of Songhua river region are low temperature, forestclimate steppe climate, wet, big farmland and waters climate, and the engineering reservoirs are less likely to affect biodiversity. The desert areas in the Northwestern rivers region have harsh ecological and poor biodiversity environment, also an insufficient condition of building a large reservoir with a low biodiversity sensitivity. The sensitivity of other areas is between the two areas that mentioned above, different sensitivity of biodiversity depends on its ecosystem types, species richness, rarity, endangered and protected level. The main area in Songhua river region is insensitive area, which occupies 91.92% of total area. Liaohe area is mainly less sensitive area and sensitive area, the percentages are 52.83% and 47.17% respectively. The main area of Yellow river region is sensitive area, and Longyangxia to Lanzhou is more sensitive area. The main area of Yangtze River region and Pearl River region is the most sensitive area, the proportion percentage is 50.47% and 50.46% respectively. The more sensitive area of southeastern rivers region is 70.70% of the whole area. The most sensitive area in Southwestern rivers has 46.57% of the Southwestern rivers area, and the sensitive area in Southwestern rivers is 53.43%. Qinghai Lake river system of the Northwestern rivers region is more sensitive area, the oasis on the edge of the desert and the piedmont area is sensitive area. It can be used to provide a scientific prove of reasonable and suitable development for the river water resource in the future by recognizing the biodiversity's susceptibility causing by reservoir engineering.

Key Words: river dam and reservoir engineering; biodiversity; sensitivity

生态敏感性是指生态系统对人类活动干扰和自然环境变化的反映程度,说明发生区域生态环境效应的难易程度和可能性大小^[1]。目前国内对于生态系统敏感性研究,主要针对某区域单一的生态环境问题进行研究,如西北地区荒漠化、岩溶地区石漠化等^[2-4]。对于区域生态环境敏感性研究的方法大部分采用主成分分析、层次分析法等数理统计方法进行分区的研究。随着 3S 技术引进,人们开始着眼于将 3S 技术强大的空间数据采集、空间数据分析和空间数据分析能力与数学统计方法结合起来,以期达到数学上和空间上的实践性^[5-7]。

流域生态敏感性是指流域生态系统对各种自然环境变化和人类活动干扰的反应程度,即流域生态环境在遇到干扰时产生生态失衡与生态环境问题的难易程度和可能性大小^[5]。随着社会经济的发展,人类在河流上大规模筑坝开发流域水利,目前全世

界有超过 36 000 座大中型水坝在运行,控制着全球 20%左右的径流量^[8]。流域水利开发在促进流域社会经济快速发展而造福人类的同时,也对流域生态系统产生各种影响,有的甚至是极敏感的、持续而深远的和不可逆的影响^[9-11]。其中影响的最为重要生态因子就是生物多样性,生物多样性作为生态效应敏感因子也一直是生态影响评价的核心内容之一。

本文运用生态学原理,对流域库坝工程开发建设及运行的生物多样性敏感度进行综合评估,评估过程中主要考虑生态系统类型、物种丰富度、珍稀程度、濒危程度和保护等级等生物多样性敏感因子,对流域库坝工程开发建设及运行过程中产生生态效应的可能性进行辨识,并借助于 3S 技术强大的空间数据处理和分析能力,研究流域库坝工程开发的生物多样性敏感度空间分布状况,实现流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区,为未来流域进行合理

和适度的库坝工程开发提供科学依据。

1 中国流域库坝工程开发概况

新中国成立以来兴建了大量的库坝工程。截至 2009 年底,已建成各类水库 87148 座,水库总库容 7060.67 亿 m^3 ;已建成各类水闸 43829 座,农田有效灌溉面积达到 $59231 \times 10^3 \text{hm}^2$,占耕地总面积的 48.62%,旱涝保收面积 $42358 \times 10^3 \text{hm}^2$,除涝面积 $18584 \times 10^3 \text{hm}^2$;已建成江河堤防 29.14 万 km,可保护人口 5.89 亿人,保护耕地 4.65×10^3 万 hm^2 ^[12]。流域库坝水利开发在带来巨大社会效益的同时,也造成了诸如水土流失加剧、环境污染加重、河流干枯断流、生物多样性缺失、库岸稳定和区域水热状况变化等一系列生态环境问题^[13-14]。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

本文的空间图谱数据主要包括中国土地覆盖数据(1 km×1 km),中国淡水龟鳖类动物、内陆水生爬行动物、鲤形目鱼类、内陆水生鱼类、田螺类动物特有种在各流域的丰富度分布图,中国淡水龟鳖类动物、内陆水生爬行动物、鲤形目鱼类、内陆水生鱼类、田螺类动物受威胁物种在各流域的丰富度分布图(据国际野生动物保护协会、大自然保护协会、中国科学院动物研究所编制的中国生物多样性地理分布图集),以及中国自然保护区分布图(据中国科学院地理科学与资源研究所提供的 1:100 万自然保护区边界数据)等。中国土地覆盖数据来源于全国生态环境十年变化土地覆盖遥感提取数据,影像源以国产环境卫星为主。其它图件均由扫描数字化方法获取,基本步骤包括纸质地图扫描转化、几何校正、屏幕跟踪矢量化、矢量图编辑和空间数据入库等。

2.2 研究方法

(1)评价指标的筛选原则

主要遵循科学性原则、突出重点原则和综合性原则。科学性原则是指立足于流域生态系统现状,指标概念明确,并具有一定的科学内涵,能反映评价目标与指标之间的支配关系;突出重点原则是筛选出能衡量流域库坝工程开发生物多样性敏感度的重要指标;综合性原则是筛选出能够全面地、综合地反应流域库坝工程开发生物多样性敏感度的综合性

指标。

(2)评价指标及其评价标准的确立

生物多样性通常包括遗传多样性、物种多样性和生态系统多样性三个组成部分。广义的遗传多样性是指地球上生物所携带的各种遗传信息的总和。特有种是指那些仅限于某些地区分布的物种^[15],负载着适应特殊环境的基因,对物种的进化、新种的产生和物种的绝灭都具有重要意义,分析研究其多样性已成为国际上“生物多样性热点”^[16-17]。受威胁物种是任何有可能在不久的将来灭绝的物种,也是世界自然保护联盟保护现状中对易危物种、濒危物种、极危物种的统称,被认定为对生物多样性状况最具权威的指标。自然保护区是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和有特殊意义的自然遗迹等保护对象所在的区域,也是生物多样性保护的重要基地。生态系统的多样性代表着生态系统组成、功能的多样性以及各种生态过程的多样性。据此,本文选取流域库坝工程开发影响最直接的水生动物丰富度、水生特有种丰富度、水生受威胁物种丰富度,流域库坝工程距离自然保护区远近,流域库坝工程所在的生态系统类型等作为生物多样性敏感度评价的指标,其生物多样性敏感度分级和不同级别赋值如表 1 所示。

(3)空间模型构建与分区

通过专家打分求取敏感因子权重,采用空间模型建模运算得到生物多样性敏感度综合得分值空间分布。为保证生物多样性敏感度评价的流域完整性,在计算全国各二级流域的生物多样性敏感度得分最大值(即采用该流域最高的敏感级别作为该流域的敏感级别)的基础上,按照 ARCGIS 自然间断点分类法(ARCGIS 自然间断点类别分区是基于从数据中继承的自然分组,识别出能够对类似的敏感值进行最恰当的分区,并使各类别分区之间的敏感值差异最大)对评价结果加以综合,实现分区。

3 数据处理及结果分析

3.1 水生特有种敏感度分级

水生特有种是各流域所独有、长期适应于其特殊水体生态条件而形成的。库坝工程往往会改变其特殊水体生态条件,如有些特有鱼类喜欢急流环境,建库后水流速度变慢,导致鱼卵沉入水底而影响其

表 1 生物多样性敏感因子及其敏感度分级

Table 1 Biodiversity-sensitive factor and its sensitivity grading

敏感因子 Sensitive factor	敏感度分级 Sensitivity classification				
	不敏感 (I) Insensitive	低度敏感 (II) Less sensitive	中度敏感 (III) Sensitive	高度敏感 (IV) More sensitive	极敏感 (V) The most sensitive
	1	2	3	4	5
水生特有种丰富度 Richness of endemic aquatic species	极低	低	中	高	极高
水生受威胁物种丰富度 Richness of threatened aquatic species	极低	低	中	高	极高
距离自然保护区 Distance to nature reserve/km	>100	50—100	10—50	0—10	保护区内
生态系统类型 Ecosystem types	裸地和人工表面	荒漠、高山等	灌丛、草地、草甸、耕地	针、阔叶林	水体、沼泽等湿地

极低 very low; 低 low; 中 normal; 高 high; 极高 very high; 保护区内 Within Nature Reserve; 裸地和人工表面 Bare land and artificial surface; 荒漠、高山等 Desert, mountains, etc.; 灌丛、草地、草甸、耕地 Shrub, grass, meadow, arable land; 针、阔叶林 Coniferous forest, broadleaf forest; 水体、沼泽等湿地 Water bodies, swamps and other wetlands

繁殖;梯级库坝造成洄游性鱼类生命通道阻隔,导致珍稀特有鱼类濒临灭绝等等。流域水生特有种的丰富度愈高,库坝工程造成的影响越大,其生物多样性敏感度愈高。在数字化中国淡水龟鳖类动物特有种、内陆水生爬行动物特有种、鲤形目鱼类特有种、内陆水生鱼类特有种、田螺类动物特有种等在各流域的丰富度分布图的基础上,将各图层进行叠加分析,根据丰富度的高低把水生特有种敏感度分成五个等级:极高丰富度为极敏感,高丰富度为高度敏感,中丰富度为中度敏感,低丰富度为低度敏感,无或极低丰富度为不敏感,并分别赋与相应的属性分值,得到水生特有种敏感度分级分布图(图 1)。

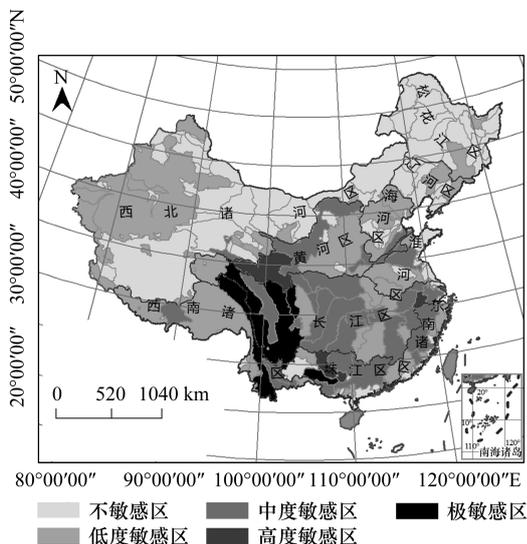


图 1 水生特有种敏感度分级分布 (审批号:GS(2013)2787 号)
Fig.1 Aquatic endemic species sensitivity classification distribution

3.2 水生受威胁物种敏感度分级

受威胁物种的濒危原因概括起来主要包括栖息地遭受破坏、外来物种入侵、环境污染、过度利用和疾病干扰等等。库坝工程的建设,尤其是布局密集再加上高坝大库,使自由奔腾的河流正在丧失活力,水生生物栖息地遭受破坏,水环境污染和过度利用并存,各流域均有受威胁物种分布。在数字化中国淡水龟鳖类动物受威胁物种、内陆水生爬行动物受威胁物种、鲤形目鱼类受威胁物种、内陆水生鱼类受威胁物种、田螺类动物受威胁物种等在各流域的丰富度分布图的基础上,将各图层进行叠加分析,根据受威胁物种丰富度的高低把水生受威胁物种敏感度分成五个等级:极高丰富度为极敏感,高丰富度为高度敏感,中丰富度为中度敏感,低丰富度为低度敏感,无或极低丰富度为不敏感,并分别赋与相应的属性分值,得到水生受威胁物种敏感度分级分布图(图 2)。

3.3 自然保护区敏感度分级

自然保护区往往是一些珍贵稀有动植物的集中分布区,候鸟繁殖、越冬或迁徙的停歇地,以及某些饲养动物和栽培植物野生近缘种的集中产地,是具有典型性或特殊性的生态系统。库坝工程距离自然保护区的距离愈近,对保护区产生影响的概率也愈大。在数字化自然保护区分布图的基础上,根据相关文献资料,结合自然保护区的实际分布,建立各自然保护区缓冲区域,将其对流域库坝工程的生物多样性敏感度分级为:保护区范围内为极敏感,距离保护区 0—10 km 为高度敏感,距离保护区 10—

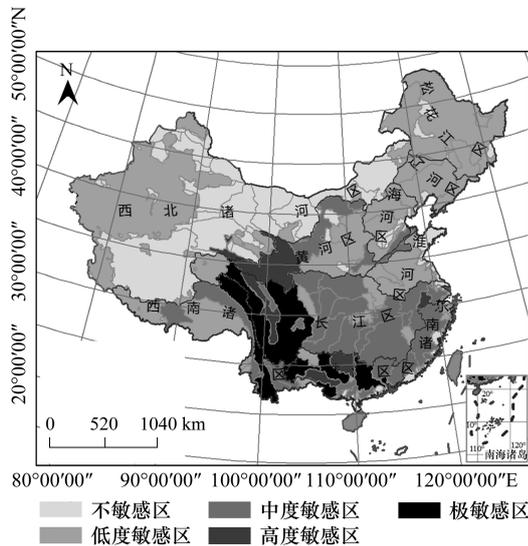


图2 水生受威胁物种敏感度分级分布

Fig.2 Aquatic threatened species sensitivity classification distribution

50 km为中度敏感,距离保护区 50—100 km 为低度敏感,距离保护区>100 km 为不敏感,并分别赋与相应的属性分值,得到自然保护区敏感度分级分布图(图3)。

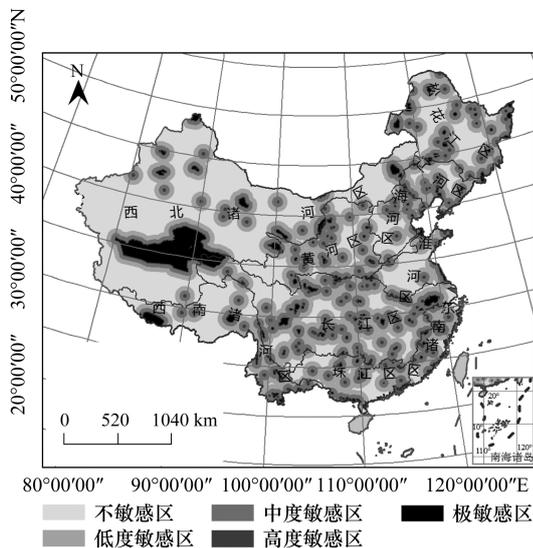


图3 自然保护区敏感度分级分布

Fig.3 Nature reserve sensitivity classification distribution

3.4 生态系统类型敏感度分级

库坝工程改变流域内河道及河水的天然状态,在对水域生态系统带来最直接影响的同时,水库还直接淹没陆地生态系统,民居迁建等对库周地表的扰动也使得库周陆地生态系统更加脆弱,水库还通过改变区域水热状况间接地对陆地生态系统产生影

响。不同生态系统类型对流域库坝工程开发的生态效应敏感性不同。由于陆地生态系统的面貌主要取决于植被类型,生态系统内植被类型的层次越多、结构越复杂,物种越丰富,流域库坝工程开发的影响就愈显著,生物多样性敏感度最高。基于全国生态环境十年变化土地覆盖遥感提取数据,结合相关文献资料,将不同生态系统类型对流域库坝工程的生态系统多样性敏感度分级为:水体、沼泽等湿地为极敏感,阔叶林、针叶林为高度敏感,灌丛、草地、草甸、耕地为中度敏感,荒漠、高山等植被类型为低度敏感,裸地和人工表面为不敏感,并分别赋予相应的属性分值,得到生态系统类型敏感度分级分布图(图4)。

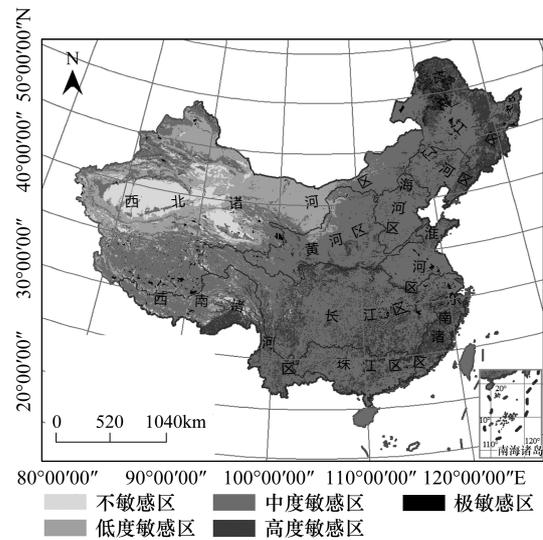


图4 生态系统类型敏感度分级分布

Fig.4 Ecological system type sensitivity classification distribution

3.5 生物多样性敏感度综合评价与分区

(1) 数据的导入及栅格化

前述水生特有种、水生受威胁物种、自然保护区各敏感因子图层均为矢量数据。与矢量数据相比,栅格数据更适合诸如空间叠加、空间相关和空间模拟等空间分析^[18-19]。在 ARCGIS 支持下,通过提取各敏感因子敏感度得分在 1 km×1 km 格网大小内所占的比值作为权值计算栅格单元 VALUE 值来生成 GRID,实现矢量数据属性信息无损栅格化,将各因子图层转换成具有统一栅格大小(1 km×1 km)和统一 Albers Conical Area/Krasovsky 投影的栅格图层。

(2) 求取评价因子权重

根据专家打分,将影响流域库坝工程生物多样性敏感度的各指标之间两两进行比较所得的相对重

要性程度,用具体的标度值表示出来,写成矩阵的形式,构造判断矩阵(表2)。

表2 判断矩阵

Table 2 Judgment matrix

生物多样性敏感度 Biodiversity sensitivity	水生特有种 Endemic aquatic species	水生受威胁物种 Threatened aquatic species	距自然保护区距离 Distance to Nature Reserve	生态系统类型 Ecosystem types
水生特有种 Endemic aquatic species	1	1/2	3	4
水生受威胁物种 Threatened aquatic species	2	1	4	5
距自然保护区距离 Distance to Nature Reserve	1/3	1/4	1	2
生态系统类型 Ecosystem types	1/4	1/5	1/2	1

按照层次单排序的方法和步骤,计算判断矩阵的特征根 $AW = \lambda_{max}W$ 的解 W ,经规范化后即为其相应指标对于生物学效应敏感性相对重要性的排序权值(表2)。在通常情况下,对于 $m \geq 3$ 阶的判断矩阵,当 $CR < 0.1$ 时,就认为判断矩阵具有可接受的一致性,经计算上述判断矩阵的 $CR = 0.0180$,认为该判断矩阵具有可接受的一致性。

计算得到的生物多样性敏感因子权重为:水生特有种权重 0.3059,水生受威胁物种权重 0.4915,距自然保护区距离权重 0.1249,生态系统类型权重 0.0777。

(3) 空间模型运算生成敏感度综合得分值分布图

将各敏感因子栅格数据和相对重要性权值导入空间模型,通过模型运算得到流域库坝工程开发生物多样性敏感度综合得分值空间分布图(图5)。

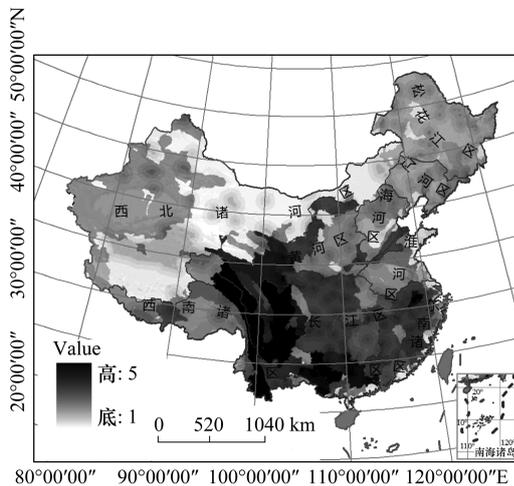


图5 生物多样性敏感度综合得分分布

Fig.5 Biodiversity sensitivity composite index distribution

(4) 敏感度分区

为保证生物多样性敏感度评价的流域完整性,以生物多样性敏感度综合得分值空间分布为基础,计算全国各二级流域的生物多样性敏感度得分最大值,根据各二级流域的得分最大值,按照 ARCGIS 的自然间断点分类法将各二级流域分为极敏感区、高度敏感区、中度敏感区、低度敏感区和不敏感区(图6)。

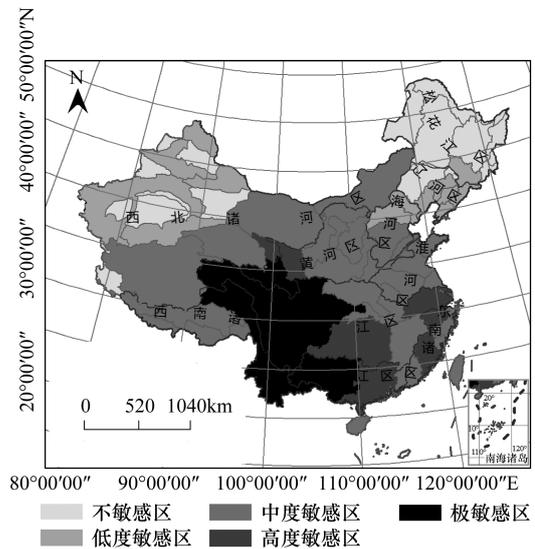


图6 生物多样性敏感度分区图

Fig.6 Biodiversity sensitivity zoning map

根据生物多样性敏感度分区属性统计,得到二级流域的敏感度分区表(表3)。据表可知,流域库坝工程生物多样性敏感区域分异明显:极敏感区域是长江区的岷沱江、金沙江石鼓上、金沙江石鼓下、宜宾至宜昌、嘉陵江流域,珠江区的郁江流域、红柳河流域、西江流域,西南诸河区的澜沧江流域、红河流域、怒江及伊洛瓦底江流域,黄河区的龙羊峡以上流域等,这些区域水生生物特有种和受威胁物种

丰度大,国家级自然保护区密集,也是陆地生物多样性最丰富的地区之一,是重要的“世界生物基因库”;不敏感区域为松花江区除第二松花江以外流域,西北诸河区的塔里木盆地荒漠、古尔班通古特荒漠、中亚西亚内陆河、塔里木河干流等荒漠区,松花江区地处北温带季风气候区,低温高寒,具有大森林、大草原、大湿地、大农田和大水域的特点,森林覆盖率达42%以上,在这样的大背景下,库坝工程产生生态效

应的可能性较小,西北诸河区的荒漠区具有强烈大陆性,降水十分稀少,气温变化极端,生境严酷,生物多样性贫乏,也不具备修建大型水库的条件,其产生生态效应的可能性也较小,生物多样性敏感度也较低。其它区域介于二者之间,因其所处的生态系统类型、物种丰富度、珍稀程度、濒危程度和保护等级不一样,生物多样性敏感度各异。

表 3 生物学效应敏感度分区
Table 3 Sensitivity of biological effects division

	极敏感 The most sensitive	高度敏感 More sensitive	中度敏感 Sensitive	低度敏感 Less sensitive	不敏感 Insensitive
松花江区 Songhua River region				第二松花江	松花江三岔口下、额尔古纳河、嫩江、图们江、黑龙江干流、绥芬河、乌苏里江
辽河区 Liaohe River region			东辽河、西辽河	浑太河、东北沿黄渤海、辽河干流、鸭绿江	
海河区 Haihe River region			徒骇马颊河、海河南系	海河北系、滦河及冀东沿海、	
黄河区 Yellow River region	龙羊峡以上	龙羊峡至兰州	兰州至河口镇、河口镇至龙门、龙门至三门峡、内流区、三门峡至花园口、花园口下		
淮河区 Huaihe River region			沂沭泗河、淮河下游、淮河中游、淮河上游、山东半岛沿海诸岛		
长江区 Yangtze River region	岷沱江、金沙江石鼓上、金沙江石鼓下、嘉陵江、宜宾至宜昌	乌江、湖口以下干流、太湖水系、洞庭湖水系	宜昌至湖口、鄱阳湖水系、汉江		
东南诸河区 Southeastern rivers region		钱塘江、闽南诸河、闽江	浙东诸河、浙南诸河、闽东诸河		
珠江区 Pearl River region	红柳河、西江、郁江	南北盘江、东江、北江、珠江三角洲			
西南诸河区 Southwestern rivers region	澜沧江、红河、怒江及伊洛瓦底		藏南诸河、雅鲁藏布江、藏西诸河		
西北诸河区 Northwestern rivers region		青海湖水系	内蒙古内陆河、羌塘高原内陆区、河西内陆河、柴达木盆地东部	昆仑山北麓诸河、阿尔泰山南麓诸河、天山北麓诸河、塔里木河源、吐哈盆地小河	塔里木盆地荒漠、古尔班通古特荒漠、中亚西亚内陆河、塔里木河干流

根据生物多样性敏感度分区属性统计,还可得到各级敏感区占所在流域的面积百分比(表4):松花江区以不敏感区为主,占其流域总面积的

91.92%;辽河区为低度敏感区和不敏感区,分别占其流域总面积的52.83%和47.17%;海河区为低度敏感区和中度敏感区,分别占其流域总面积的56.76%

和 43.24%；黄河区以中度敏感区为主，占流域总面积的 72.04%，高度敏感区和极敏感区分别占流域总面积的 11.45% 和 16.51%；整个淮河区都为中度敏感区；长江区和珠江区都以极敏感区为主，分别占其流域面积的 50.47% 和 50.46%；东南诸河区以高度敏感区为主，占流域总面积的 70.70%，中度敏感区占

29.30%；西南诸河区的极敏感区和中度敏感区分别占其流域面积的 46.57% 和 53.43%；西北诸河区的青海湖水系为高度敏感区，中度敏感区占其流域面积的 52.41%，主要分布于荒漠边缘的绿洲和山麓区，而塔里木盆地荒漠、古尔班通古特荒漠等荒漠区为不敏感区。

表 4 生物学效应敏感区占流域面积百分比

Table 4 Percentage of sensitive areas of the biological effects accounted for the watershed area

	极敏感/% The most sensitive	高度敏感/% More sensitive	中度敏感/% Sensitive	低度敏感/% Less sensitive	不敏感/% Insensitive
松花江区 Songhua River region				8.08	91.92
辽河区 Liaohe River region				52.83	47.17
海河区 Haihe River region			56.76	43.24	
黄河区 Yellow River region	16.51	11.45	72.04		
淮河区 Huaihe River region			100.00		
长江区 Yangtze River region	50.47	26.45	23.08		
东南诸河区 Southeastern rivers region		70.70	29.30		
珠江区 Pearl River region	50.46	36.05	13.49		
西南诸河区 Southwestern rivers region	46.57		53.43		
西北诸河区 Northwestern rivers region		1.41	52.41	29.65	16.53

4 结论与讨论

本文运用生态学原理，主要考虑物种丰富度、珍稀程度、濒危程度、保护等级和生态系统类型等生物多样性敏感因子，对流域库坝工程开发建设及运行过程中产生生态效应的可能性进行辨识，并借助于 3S 技术强大的空间数据采集和建模分析能力，以专家打分求取的敏感因子权重计算生物多样性敏感度综合得分值，并根据各二级流域的得分最大值，按照 ARCGIS 自然间断点分类法将各二级流域分为极敏感区、高度敏感区、中度敏感区、低度敏感区和不敏感区，结果表明：

(1) 流域库坝工程生物多样性敏感度区域分异明显，极敏感区主要分布在长江区、珠江区、西南诸河区，这些区域水生生物特有种和受威胁物种丰度大，国家级自然保护区密集，是陆地生物多样性最丰富的地区。不敏感区域主要分布在西北诸河区的荒漠区和松花江低温高寒区；其它区域介于二者之间，因其所处的生态系统类型、物种丰富度、珍稀程度、濒危程度和保护等级不一样，生物多样性敏感度各异。

(2) 松花江区以不敏感区为主，辽河区为低度敏

感区和不敏感区，黄河区以中度敏感区为主，龙羊峡以上流域为极敏感区，长江区和珠江区都以极敏感区为主，东南诸河区以高度敏感区为主，西南诸河区主要为极敏感区和中度敏感区，西北诸河区的青海湖水系为高度敏感区，荒漠边缘的绿洲和山麓区为中度敏感区，其荒漠区为不敏感区。

综上，生物多样性对生物圈生命维持系统的进化和保持具有极其重要的意义，是人类社会持续发展的基础，不同流域区对流域库坝开发的生物多样性敏感度是不一样的。目前我国北方相对缺水地区除了东北的松辽流域和新疆的内流水系外，黄河与海河两大流域的水资源综合开发强度均已超过 60%，黄河上游龙羊峡至青铜峡河段、黄河中游河口镇至龙门段是我国规划的大型水电基地，而黄河区龙羊峡以上流域却是生物多样性极敏感区，黄河中游河口镇至龙门段的生物多样性极敏感度也较高；南方水资源尽管相对富裕，目前长江和珠江两大流域的水资源综合开发强度为 30% 左右，作为今后我国水资源开发和利用最集中的区域，长江区的金沙江、雅砻江、大渡河、乌江和长江上游地区，珠江区的南盘江、红水河等都是我国水资源开发和利用的重点区域，近年来其水资源开发和利用越来越受到全

球气候变化的影响和挑战,同时作为生物多样性极敏感和高度敏感区,其水资源开发和利用越来越受到流域生物多样性保护的挑战。所以,流域开发应当综合考虑流域状况进行开发模式选择,针对不同流域要有因地制宜的开发和建坝方案,有选择、有限度地开发流域水资源,加强流域生物多样性保护,确保流域内社会、经济、环境的可持续发展。

References:

- [1] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. China's eco-environmental sensitivity and its spatial heterogeneity. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(1): 9-12.
- [2] Shu W C. Appraisal study on the sensitivity of eco environment in karst region. *Carsologica Sinica*, 1997, 16(1): 57-65.
- [3] Liu K, Ouyang Z Y, Wang X K, Xu W H, Miao H. Eco-environmental sensitivity and its spatial distribution in Gansu Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(12): 2711-2718.
- [4] Liu K, Xu W H, Ouyang Z Y, Wang X K. GIS-based assessment on sensitivity to land desertification in Gansu Province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2002, 22(5): 29-31, 35-35.
- [5] Liu Z, Xie Z R, Shen W T. A new method that can improve regional eco-environmental evaluation——combining GIS with AHP. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2003, 12(2): 163-168.
- [6] Lin J J, Pan W B. Study on watershed eco-sensitivity assessing and regional planning based on GIS. *Safety and Environmental Engineering*, 2005, 12(2): 23-26, 34-34.
- [7] Min J. Study on eco-environmental sensitivity evaluation based on GIS with AHP. *Journal of Chongqing Normal University: Natural Science Edition*, 2006, 23(4): 76-80.
- [8] Li H H, Liu C Q, Wang F S, Wu P, Wang B L, Zhang C P. Change characteristics of phosphorus in cascade reservoirs on Maotiao river system in summer. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2009, 18(4): 368-372.
- [9] Guo Q Y, Li C H, Cui B S, Yang Z F. The impacts of the Laxiwa Dam on regional eco-environment. *Journal of Natural Resources*, 2003, 18(1): 50-57.
- [10] Li Y Q, Lu C X, Deng O, Yang G B. regional response of ecological effects of cascade reservoirs development within the Maotiaohe River Watershed. *Resources Science*, 2011, 33(8): 1454-1461.
- [11] Qi J Y, Ruan X H. Dam construction-induced environmental impact on riverine ecosystem. *Journal of Hehai University: Natural Sciences*, 2005, 33(1): 37-40.
- [12] Ministry of Water Resources P. R. China. *Chinese Water Resources Statistical Yearbook*. Beijing: China Water Resources Press, 2010.
- [13] Bednarek A T. Undamming rivers: A review of the ecological impacts of dam removal. *Environmental Management*, 2001, 27(6): 803-814.
- [14] Gupta H K. The present status of reservoir induced seismicity investigations with special emphasis on Koyna earthquakes. *Tectonophysics*, 1985, 118(3/4): 287-279.
- [15] Anderson S. Area and endemism. *Quarterly Review of Biology*, 1994, 69(4): 451-471.
- [16] Myers N, Mittermeier R A, Mittermeier C G, da Fonseca Gustavo A B, Kent J. Biodiversity hotspots for conservation Priorities. *Nature*, 2000, 403(6772): 853-858.
- [17] Roberts C M, McClean C J, Veron J E N, Hawkins J P, Allen G R, Don McAllister E, Mittermeier C G, Schueler F W, Spalding F W, Spalding M, Wells F, Vynne C, Werner T B. Marine biodiversity hotspots and conservation Priorities for tropical reefs. *Science*, 2002, 295(5558): 1280-1284.
- [18] Bates P D, Deroo A P J. A simple raster-based model for flood inundation simulation. *Journal of Hydrology*, 2000, 236(1/2): 54-77.
- [19] Yang C J, Zhang C X. Models of accuracy loss during rasterizing landuse vector data with multi-scale grid size. *Geographical Research*, 2001, 20(4): 416-422.

参考文献:

- [1] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国生态环境敏感性及其区域差异规律研究. *生态学报*, 2000, 20(1): 9-12.
- [2] 苏维词. 岩溶地区生态环境敏感度评价研究——以乌江流域为例. *中国岩溶*, 1997, 16(1): 57-65.
- [3] 刘康,欧阳志云,王效科,徐卫华,苗鸿. 甘肃省生态环境敏感性评价及其空间分布. *生态学报*, 2003, 23(12): 2711-2718.
- [4] 刘康,徐卫华,欧阳志云,王效科. 基于 GIS 的甘肃省土地沙漠化敏感性评价. *水土保持通报*, 2002, 22(5): 29-31, 35-35.
- [5] 刘庄,谢志仁,沈渭寿. 提高区域生态环境质量综合评价水平的新思路——GIS 与层次分析法的结合. *长江流域资源与环境*, 2003, 12(2): 163-168.
- [6] 林涓涓,潘文斌. 基于 GIS 的流域生态敏感性评价及其区划方法研究. *安全与环境工程*, 2005, 12(2): 23-26, 34-34.
- [7] 闵婕. 基于 GIS 技术与 AHP 研究生态环境敏感度分区. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2006, 23(4): 76-80.
- [8] 黎慧卉,刘丛强,汪福顺,吴攀,王宝利,张翅鹏. 猫跳河流域梯级水库磷的夏季变化特征. *长江流域资源与环境*, 2009, 18(4): 368-372.
- [9] 郭乔羽,李春晖,崔保山,杨志峰. 拉西瓦水电工程对区域生态影响分析. *自然资源学报*, 2003, 18(1): 50-57.
- [10] 李亦秋,鲁春霞,邓欧,杨广斌. 猫跳河流域梯级开发的生态效应区域响应. *资源科学*, 2011, 33(8): 1454-1461.
- [11] 祁继英,阮晓红. 大坝对河流生态系统的环境影响分析. *河海大学学报: 自然科学版*, 2005, 33(1): 37-40.
- [12] 中国水利部. *中国水利年鉴*. 北京: 中国水利出版社, 2010.
- [19] 杨存建,张增祥. 矢量数据在多尺度栅格化中的精度损失模型探讨. *地理研究*, 2001, 20(4): 416-422.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.11 June, 2014 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

Review on macropore flow in soil GAO Zhaoxia, XU Xuexuan, ZHAO Jiaona, et al (2801)

Ecological Restoration

A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China
..... WU Gang, WEI Dong, ZHOU Zhengda, et al (2812)

The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol
League, Inner Mongolia WEI Dong, QUAN Yuan, WANG Chenxing, et al (2821)

Evaluation index system on ecological effect of national large-scale coal-fired power base based on the dpsir conceptual model
..... ZHOU Zhengda, WANG Chenxing, FU Xiao, et al (2830)

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China
..... LEI Shaogang, BIAN Zhengfu (2837)

Ecological risk receptors analysis of pingzhuang western open-cut coal mining area in inner mongolia
..... GAO Ya, LU Zhaohua, WEI Zhenkuan, et al (2844)

Impacts of mining on landscape pattern and primary productivity in the grassland of Inner Mongolia; a case study of Heidaigou
open pit coal mining KANG Sarula, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (2855)

Accumulation of soil Cd, Cr, Cu, Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk
..... LIN Longyong, YAN Xiulan, LIAO Xiaoyong, et al (2868)

3D interpolation of soil PAHs distribution in a coking contaminated site of China ... LIU Geng, BI Rutian, QUAN Teng, et al (2876)

Autecology & Fundamentals

Catabatic effect from artificial mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* on soil aluminum toxicity
..... LEI Bo, LIU Bin, LUO Chengde, et al (2884)

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes
..... ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping (2892)

Lead- and cadmium-resistant bacterial strain JB11 enhances lead and cadmium uptake in the phytoremediation of soils
..... JIN Zhongmin, SHA Wei, LIU Lijie, et al (2900)

Identification and oil-degrading performance of *Acinetobacter* sp. isolated from North Shaanxi oil-contaminated soil
..... WANG Hu, WU Lingling, ZHOU Lihui, et al (2907)

Phylogenetic and physiological diversity of actinomycetes isolated from plant rhizosphere soils in the Qilian Mountains
..... MA Aiai, XU Shijian, MIN Yuxia, et al (2916)

Spatial distribution of AM and DSE fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus nanus*
..... JIANG Qiao, HE Xueli, CHEN Weiyan, et al (2929)

Effects of PASP-KT-NAA on maize leaf nitrogen assimilation after florescence over different temperature gradients
..... GAO Jiao, DONG Zhiqiang, XU Tianjun, et al (2938)

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia
..... WANG Haimei, HOU Qiong, YUN Wenli, et al (2948)

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis* YIN Yining, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, et al (2954)

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus*
..... WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, et al (2963)

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)
- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)
- Population, Community and Ecosystem**
- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)
- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) cultural ponds YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)
- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- CO₂ emissions transfer embedded in inter-regional trade in China LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)
- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)
- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)
- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ... WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)
- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)
- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)
- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)
- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)
- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)
- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

《生态学报》2014 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,280 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 34 卷 第 11 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 11 (June, 2014)

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

主 编 王如松
主 管 中国科学技术协会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
发 行 科 学 出 版 社
地址:东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
电话:(010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

订 购 全国各地邮局
国外发行 中国国际图书贸易总公司
地址:北京 399 信箱
邮政编码:100044

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

Editor-in-chief WANG Rusong
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add: 16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel: (010)64034563
E-mail: journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add: P.O.Box 399 Beijing 100044, China



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