

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 22 期 Vol.31 No.22 **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 22 期

2011 年 11 月 (半月刊)

## 目 次

|                                              |                         |
|----------------------------------------------|-------------------------|
| 叶冠尺度野鸭湖湿地植物群落含水量的高光谱估算模型 .....               | 林 川, 宫兆宁, 赵文吉 (6645)    |
| 中国水稻潜在分布及其气候特征 .....                         | 段居琦, 周广胜 (6659)         |
| 大豆异黄酮浸种对盐胁迫大豆幼苗的生理效应 .....                   | 武玉妹, 周 强, 於丙军 (6669)    |
| 黑河中游荒漠绿洲过渡带多枝桧柳对地下水位变化的生理生态响应与适应 .....       | 张 佩, 袁国富, 庄 伟, 等 (6677) |
| 高寒退化草地甘肃臭草种群分布格局及其对土壤水分的响应 .....             | 赵成章, 高福元, 石福习, 等 (6688) |
| 基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究 .....              | 肖建红, 陈绍金, 于庆东, 等 (6696) |
| 基于 MODIS 黄河三角洲湿地 NPP 与 NDVI 相关性的时空变化特征 ..... | 蒋蕊竹, 李秀启, 朱永安, 等 (6708) |
| 高分辨率影像支持的群落尺度沼泽湿地分类制图 .....                  | 李 娜, 周德民, 赵魁义 (6717)    |
| 土壤食细菌线虫对拟南芥根系生长的影响及机理 .....                  | 成艳红, 陈小云, 刘满强, 等 (6727) |
| 基于网络 K 函数的西双版纳人工林空间格局及动态 .....               | 杨珏婕, 刘世梁, 赵清贺, 等 (6734) |
| 树轮灰度与树轮密度的对比分析及其对气候要素的响应 .....               | 张同文, 袁玉江, 喻树龙, 等 (6743) |
| 冀北山地阴坡优势树种的树体分维结构 .....                      | 田 超, 刘 阳, 杨新兵, 等 (6753) |
| 帽峰山常绿阔叶林辐射通量特征 .....                         | 陈 进, 陈步峰, 潘勇军, 等 (6766) |
| 不同类型拌种剂对花生及其根际微生物的影响 .....                   | 刘登望, 周 山, 刘升锐, 等 (6777) |
| 一种自优化 RBF 神经网络的叶绿素 a 浓度时序预测模型 .....          | 仝玉华, 周洪亮, 黄浙丰, 等 (6788) |
| 不同种源麻栎种子和苗木性状地理变异趋势面分析 .....                 | 刘志龙, 虞木奎, 马 跃, 等 (6796) |
| 黄土丘陵区植物叶片与细根功能性状关系及其变化 .....                 | 施 宇, 温仲明, 龚时慧 (6805)    |
| 干旱区五种木本植物枝叶水分状况与其抗旱性能 .....                  | 谭永芹, 柏新富, 朱建军, 等 (6815) |
| 火灾对马尾松林地土壤特性的影响 .....                        | 薛 立, 陈红跃, 杨振意, 等 (6824) |
| 江苏省太湖流域产业结构的水环境污染效应 .....                    | 王 磊, 张 磊, 段学军, 等 (6832) |
| 高温对两种卡帕藻的酶活性、色素含量与叶绿素荧光的影响 .....             | 赵素芬, 何培民 (6845)         |
| 江苏省典型干旱过程特征 .....                            | 包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等 (6853) |
| 黄土高原半干旱草地地表能量通量及闭合率 .....                    | 岳 平, 张 强, 杨金虎, 等 (6866) |
| 光质对烟叶光合特性、类胡萝卜素和表面提取物含量的影响 .....             | 陈 伟, 蒋 卫, 邱雪柏, 等 (6877) |
| 铜陵铜尾矿废弃地生物土壤结皮中的蓝藻多样性 .....                  | 刘 梅, 赵秀侠, 詹 婧, 等 (6886) |
| 圈养马麝刻板行为表达频次及影响因素 .....                      | 孟秀祥, 贡保草, 薛达元, 等 (6896) |
| 田湾核电站海域浮游动物生态特征 .....                        | 吴建新, 阎斌伦, 冯志华, 等 (6902) |
| 马鞍列岛多种生境中鱼类群聚的昼夜变化 .....                     | 汪振华, 王 凯, 章守宇 (6912)    |
| 基于认知水平的非使用价值支付动机研究 .....                     | 钟满秀, 许丽忠, 杨 净 (6926)    |
| <b>综述</b>                                    |                         |
| 植物盐胁迫应答蛋白质组学分析 .....                         | 张 恒, 郑宝江, 宋保华, 等 (6936) |
| 沉积物氮形态与测定方法研究进展 .....                        | 刘 波, 周 锋, 王国祥, 等 (6947) |
| 野生鸟类传染性疾病预防研究进展 .....                        | 刘冬平, 肖文发, 陆 军, 等 (6959) |
| 鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法 .....                   | 石小涛, 陈求稳, 黄应平, 等 (6967) |
| <b>专论</b>                                    |                         |
| IPBES 的建立、前景及应对策略 .....                      | 吴 军, 徐海根, 丁 晖 (6973)    |
| <b>研究简报</b>                                  |                         |
| 柠条人工林幼林与成林细根动态比较研究 .....                     | 陈建文, 王孟本, 史建伟 (6978)    |

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 344 \* zh \* P \* ¥ 70.00 \* 1510 \* 35 \* 2011-11



**封面图说:** 滩涂芦苇及野鸭群——中国的海岸湿地, 尤其是长江入海口以北的海岸线, 多为泥质性海滩, 地势宽阔低洼, 动植物资源丰富, 生态类型独特, 为迁徙的鸟提供了丰富的食物和休息、庇护的良好环境, 成为东北亚内陆和环西太平洋鸟类迁徙的重要中转站和越冬、繁殖地。一到迁徙季节, 成千上万的各种鸟类飞临这里, 尤其是雁鸭类数量庞大, 十分壮观。

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

肖建红, 陈绍金, 于庆东, 陈东景, 刘华平. 基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程生态补偿标准研究. 生态学报, 2011, 31(22): 6696-6707.

Xiao J H, Chen S J, Yu Q D, Chen D J, Liu H P. A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(22): 6696-6707.

## 基于生态足迹思想的皂市水利枢纽工程 生态补偿标准研究

肖建红<sup>1,\*</sup>, 陈绍金<sup>2</sup>, 于庆东<sup>1</sup>, 陈东景<sup>1</sup>, 刘华平<sup>2</sup>

(1. 青岛大学国际商学院, 青岛 266071; 2. 湖南水利水电职业技术学院, 长沙 410131)

**摘要:** 如何确定生态补偿标准是生态补偿研究的重点和难点问题。基于生态足迹思想方法, 以皂市水利枢纽工程为例, 构建了 5 个生态补偿主体受益评估模型(生态供给足迹评估模型)和 8 个生态补偿对象受损评估模型(生态需求足迹评估模型), 对皂市工程生态补偿标准进行了定量评估。结果表明: ①皂市工程生态补偿主体受益值为 88482.2974 hm<sup>2</sup>/a, 货币化转换结果为 6.2353×10<sup>8</sup> 元/a; 生态补偿对象受损值为 14946.4861 hm<sup>2</sup>/a, 货币化转换结果为 1.0533×10<sup>8</sup> 元/a; 生态补偿主体受益值是生态补偿对象受损值的 5.92 倍。②以明确生态补偿主体和生态补偿对象为前提, 提出了 3 种生态补偿标准方案, 目前推荐第 2 种生态补偿标准方案。③第 2 种生态补偿标准方案的生态补偿额为 0.5238×10<sup>8</sup> 元/a, 政府和水电开发业主是主要的生态补偿主体, 其承担的生态补偿额分别占总生态补偿额的 52.50% 和 35.77%; 移民和河流生态系统本身是主要的生态补偿对象, 其获得的生态补偿额分别占总生态补偿额的 72.16% 和 15.68%。

**关键词:** 生态补偿标准; 生态补偿主体; 生态补偿对象; 生态供给足迹; 生态需求足迹; 皂市水利枢纽工程

## A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint

XIAO Jianhong<sup>1,\*</sup>, CHEN Shaojin<sup>2</sup>, YU Qingdong<sup>1</sup>, CHEN Dongjing<sup>1</sup>, LIU Huaping<sup>2</sup>

1 International Business College, Qingdao University, Qingdao 266071, China

2 Hunan Technical College of Water Resources and Hydropower, Changsha 410131, China

**Abstract:** Ecological compensation has been adopted in many countries and proved a good approach to protect environment. The focus of ecological compensation study was how to set ecological compensation standard. The ecological compensation standard was assessed mainly based on the methods of market value approach, opportunity cost approach, willingness to pay approach and cost analysis approach. Thus, the ecological footprint (EF) was applied rarely. The EF was defined as the biologically productive land and water a population requires to produce the resources it consumes and to absorb part of the waste generated by fossil and nuclear fuel consumption. The EF provides an aggregate estimate of demands upon the biophysical productivity and waste assimilation capacity of nature imposed by human lifestyles. This aggregate indicator permits the estimation of the equivalent land/sea area, or biosphere, required to support productive activities. Its unique attribute is that it accounts for the demand upon natural resources, in terms of an equivalent land/sea area, or global hectares. The EF method has been proposed as a standard methodology to evaluate the environmental implications of alternative development models. The EF analysis becomes widely adopted as a key environmental indicator of sustainable development.

River ecosystem services imply the natural environmental conditions and their effectiveness formed and sustained by

基金项目: 国家水利公益性行业科研专项资助项目(200901075)

收稿日期: 2011-02-26; 修订日期: 2011-06-13

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: Xiaojian\_hong@163.com

river ecosystem and its ecological processes, on which, human life relies of existence. Ecological supply footprint was defined as the enhanced river ecological services' supply ability caused by the project construction. The enhanced ability was converted to the total biologically productive land/water area. Ecological demand footprint was defined as the weakened river ecological services' supply ability caused by the project construction. The weakened ability was converted to the total biologically productive land/water area. Five value models ( ecological supply footprint models of flooding control, hydropower, reservoir irrigation, improve waterway and reservoir breeding. ) of ecological compensation subject and eight loss models ( ecological demand footprint models of reservoir sedimentation, reservoir inundation, construction of resettlement area, soil and water erosion, river ecosystem occupied by project, energy consumption of project construction, sewage discharge of project construction, and produce cement and steel. ) of ecological compensation object were established based on the idea of ecological footprint on Zaoshi Water Conservancy Project ( ZWCP ). And the ecological compensation standard of ZWCP was evaluated by the models. The results show that: ① Five ecological supply footprints were  $88482.2974 \text{ hm}^2/\text{a}$  in total, which was converted to  $6.2353 \times 10^8$  Yuan RMB annually. Eight ecological demand footprints were  $14946.4861 \text{ hm}^2/\text{a}$  in total, which was converted to  $1.0533 \times 10^8$  Yuan RMB annually. The values were the losses' 5.92 times. ② Three schemes of ecological compensation standard were proposed, on the premise of identifying the ecological compensation subject and the ecological compensation object. The second scheme was recommended. ③ The second scheme of Ecological compensation standard on ZWCP was  $0.5238 \times 10^8$  Yuan RMB annually. The central-local government and hydropower development owner were the main ecological compensation subjects, which undertook 52.50% and 35.77% of ecological compensation standard respectively. The resettlements and the river ecosystem were the main ecological compensation object, which obtained 72.16% and 15.68% of ecological compensation standard respectively.

**Key Words:** ecological compensation standard; ecological compensation subject; ecological compensation object; ecological supply footprint; ecological demand footprint; Zaoshi Water Conservancy Project

生态补偿是当前生态学与生态经济学界广泛关注的热点问题<sup>[1-2]</sup>,它是通过对损害(或保护)资源环境的行为进行收费(或补偿),提高该行为的成本(或收益),从而激励损害(或保护)行为的主体减少(或增加)因其行为带来的外部不经济性(或外部经济性),达到保护资源的目的<sup>[3]</sup>;生态补偿还包括因环境保护而丧失发展机会的区域内的居民资金、技术、实物上的补偿、政策上的优惠,以及为增进环境保护意识,提高环境水平而进行的教育科研费用的支出<sup>[4]</sup>。20世纪80年代以来,国外许多国家开展了大量的生态补偿实践,与中国生态补偿涵义接近的有生态/环境服务付费(Payment for Ecological/Environmental Services, PES)、生态/环境服务市场(Market for Ecological/Environmental Services, MES)和生态/环境服务补偿(Compensation for Ecological/Environmental Services, CES)<sup>[5]</sup>,其中PES运用的较多。国外生态补偿主要涉及流域、森林、农业、生物多样性、自然保护区等领域;国内生态补偿的实践最早是在矿区和公益林领域,尤其是公益林的生态补偿占绝对比例,并逐渐扩展到了流域、区域、自然保护区、生态工程等领域<sup>[6-10]</sup>。生态补偿标准核算是生态补偿研究的核心问题,国内外运用的方法主要有生态系统服务价值法、机会成本法、意愿调查法、市场法、经济计量方法等<sup>[11]</sup>,其中机会成本法是应用较广泛、可行性较高的确定生态补偿标准的方法<sup>[12-18]</sup>。目前,从国内外生态补偿相关研究来看,有关人类大型工程建设(特别是水电开发、水库大坝建设等)生态补偿的成果较少见,以构建生态足迹模型为基础确定生态补偿标准的成果更为少见。生态足迹法是度量可持续发展的重要方法,其具有计算简便、可操作性强、全球可比、易与其他指标结合、结论易懂等优点。将生态足迹思想引入生态补偿标准核算中,可以扩大生态补偿标准的核算范围,提高核算结果的准确性。

皂市水利枢纽工程(以下简称皂市工程)位于洞庭湖水系澧水流域一级支流溇水的下游,是溇水梯级开发的最下一级,坝址距石门县皂市镇2 km,距石门县城19 km,控制流域面积3 000 km<sup>2</sup>,占溇水总流域面积的93.7%。皂市工程正常蓄水位140 m,总库容 $14.4 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,防洪库容 $7.8 \times 10^8 \text{ m}^3$ ;电站保证出力18.4 MW,装

机容量为  $2 \times 50 \text{ MW}$ , 多年平均发电量为  $3.18 \times 10^8 \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。皂市工程属国家大 I 型防洪控制性工程, 兼有发电、灌溉、航运、水库养殖等功能。皂市工程建设生态补偿主体是正面影响的受益者, 主要包括防洪保护的松澧地区居民、水力发电业主、水库灌溉受益者、水库养殖受益者、改善航道受益者、地方政府和中央政府等; 皂市工程建设生态补偿对象是负面影响的受损者, 主要包括移民、受损的河流生态系统本身、受修建工程影响的居民等。

皂市工程生态供给足迹是因修建工程而增强的河流生态系统服务功能供给能力能够折算的世界生物生产性土地或水域的总面积; 皂市工程生态需求足迹是因修建工程而削弱的河流生态系统服务功能供给能力能够折算的世界生物生产性土地或水域的总面积<sup>[19]</sup>。本文运用生态足迹思想, 构建了 5 个生态补偿主体受益评估模型(生态供给足迹模型)和 8 个生态补偿对象受损评估模型(生态需求足迹模型), 对皂市工程建设生态补偿标准进行了评估, 以期对生态补偿研究领域和生态补偿标准核算方法的拓展提供参考。

## 1 皂市工程生态补偿标准评估模型

### 1.1 生态补偿主体受益评估模型

#### 1.1.1 调蓄洪水生态供给足迹评估模型

皂市水库是以补偿江垭水库的方式进行防洪调度, 水库防洪效益根据两库总效益按防洪库容大小进行分摊。调蓄洪水生态供给足迹评估模型为:

$$EF_{fc} = r_1 [Q_{zs} / (Q_{zs} + Q_{jy})] \times [S_{fc} (\sum_{i=1}^3 P_i S_i / S_{sl}) / v_{sm} + (\sum_{j=1}^n N_{fc}^j / t) (N_{ct} / N) P_{ct} / v_{sm}] y_1 \quad (1)$$

式中,  $EF_{fc}$  为水库调蓄洪水生态供给足迹 ( $\text{hm}^2$ );  $r_1$  和  $y_1$  分别为耕地的均衡因子和产量因子;  $Q_{zs}$  和  $Q_{jy}$  分别为皂市水库和江垭水库的防洪库容 ( $\text{m}^3$ );  $S_{fc}$  为皂市水库和江垭水库联合防洪多年平均减少淹没耕地的面积 ( $\text{hm}^2$ );  $P_1$ 、 $P_2$  和  $P_3$  分别为松澧地区重点垸、蓄洪垸和一般垸的单位综合受灾损失值 (元/ $\text{hm}^2$ );  $S_1$ 、 $S_2$  和  $S_3$  分别为松澧地区重点垸、蓄洪垸和一般垸的耕地面积 ( $\text{hm}^2$ );  $S_{sl}$  为松澧地区堤垸总的耕地面积 ( $\text{hm}^2$ );  $N_{fc}^i$ 、 $N_{ct}$  和  $N$  分别为松澧流域历年洪灾受灾人口、松澧地区城镇人口和松澧地区总人口 (人);  $t$  为统计历年洪灾的时间跨度 (a);  $P_{ct}$  为松澧地区综合城镇人均受灾损失值 (元/人);  $v_{sm}$  为湖南省石门县单位面积农业产值 (元/ $\text{hm}^2$ )。

#### 1.1.2 水力发电生态供给足迹评估模型

皂市水库属调节水库, 工程任务以防洪为主, 发电服从防洪。水力发电效益包括发电经济效益和发电环境效益两部分。水力发电生态供给足迹评估模型为:

$$EF_{he} = EF_{he}^{hv} + EF_{he}^{ev} = r_2 (Q_{he} t_e / q_{be}) + r_5 (Q_{he} t_e / f_c) \quad (2)$$

式中,  $EF_{he}$  为水力发电生态供给足迹 ( $\text{hm}^2$ );  $EF_{he}^{hv}$  和  $EF_{he}^{ev}$  分别为发电经济效益生态供给足迹和发电环境效益生态供给足迹 ( $\text{hm}^2$ );  $r_2$  和  $r_5$  分别为林地和化石燃料用地的均衡因子;  $Q_{he}$  为多年平均发电量 ( $\text{kW} \cdot \text{h}$ );  $t_e$  为电力能源的折算系数 ( $\text{J} \cdot \text{kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $q_{be}$  为每公顷森林每年累积可更新的生物质能源量 ( $\text{J}/\text{hm}^2$ );  $f_c$  为煤炭的全球平均足迹 ( $\text{GJ}/\text{hm}^2$ )。

#### 1.1.3 水库灌溉生态供给足迹评估模型

皂市水库在满足防洪和发电的要求下, 可灌溉下游左右两岸石门县皂市、新关、城关、白云桥、易家渡良种场等乡镇场的农田, 缓解当地干旱问题。用减少受旱灾损失来核算水库灌溉收益 (面积)。水库灌溉生态供给足迹评估模型为:

$$EF_{ri} = r_1 (a_1 S_{ri} b_1 + a_2 S_{ri} b_2 + a_3 S_{ri} b_3) y_1 \quad (3)$$

式中,  $EF_{ri}$  为水库灌溉生态供给足迹 ( $\text{hm}^2$ );  $r_1$  和  $y_1$  分别为耕地的均衡因子和产量因子;  $a_1$ 、 $a_2$  和  $a_3$  分别为干旱引起的湖南省作物受灾面积 (不含成灾面积)、作物成灾面积 (不含绝收面积) 和作物绝收面积所占比例 (%);  $S_{ri}$  为皂市水库提供农田灌溉面积 ( $\text{hm}^2$ );  $b_1$ 、 $b_2$  和  $b_3$  分别为作物受灾、成灾和绝收后产量比正常年份收益减少的比例 (%)。

### 1.1.4 改善航道生态供给足迹评估模型

皂市工程兴建将使渌水的水运事业有较大的发展,通过水路运输替代部分公路运输(当地以公路运输为主)。改善航道效益包括改善航道经济效益和改善航道环境效益两部分。改善航道生态供给足迹评估模型为:

$$EF_m = EF_m^{mv} + EF_m^{ev} = r_2 [(\Delta Q_m \Delta L_m \Delta a_m) t_{do} / q_{be}] + r_5 [(\Delta Q_m \Delta L_m \Delta a_m) t_{do} / f_{do}] \quad (4)$$

式中, $EF_m$ 为改善航道生态供给足迹( $\text{hm}^2$ ); $EF_m^{mv}$ 和 $EF_m^{ev}$ 分别为改善航道经济效益生态供给足迹和改善航道环境效益生态供给足迹( $\text{hm}^2$ ); $r_2$ 和 $r_5$ 分别为林地和化石燃料用地的均衡因子; $\Delta Q_m$ 为因修建工程改善航道而增加的年货运量(t); $\Delta L_m$ 为改善航道的里程(km); $\Delta a_m$ 为内河航运比公路运输每吨公里节省的燃油量(t); $q_{be}$ 为每公顷森林每年累积可更新的生物质能源量( $\text{J}/\text{hm}^2$ ); $t_{do}$ 为柴油的折算系数( $\text{GJ}/\text{t}$ ); $f_{do}$ 为柴油的全球平均足迹( $\text{GJ}/\text{hm}^2$ )。

### 1.1.5 水库养殖生态供给足迹评估模型

皂市水库正常蓄水位水库面积的70%可以发展水产养殖,增加了水产品供给能力。水库养殖生态供给足迹评估模型为:

$$EF_{rf} = r_4 (S_{rf} y_{rf} / y) \quad (5)$$

式中, $EF_{rf}$ 为水库养殖生态供给足迹( $\text{hm}^2$ ); $r_4$ 为水域的均衡因子; $S_{rf}$ 为皂市水库可养殖水面面积( $\text{hm}^2$ ); $y_{rf}$ 为皂市水库养殖鱼类的单产( $\text{kg}/\text{hm}^2$ ); $y$ 为世界水域的平均生产能力( $\text{kg}/\text{hm}^2$ )。

## 1.2 皂市工程生态补偿对象受损评估模型

### 1.2.1 水库泥沙淤积生态需求足迹评估模型

皂市水库库容较大,水库运行100a泥沙淤积量为 $1.197 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。用淤积泥沙造地的收益(面积)核算水库泥沙淤积损失(机会成本)。水库泥沙淤积生态需求足迹评估模型为:

$$EF_{rd} = r_1 (Q_{rd} / d) y_1 \quad (6)$$

式中, $EF_{rd}$ 为水库泥沙淤积生态需求足迹( $\text{hm}^2$ ); $r_1$ 和 $y_1$ 分别为耕地的均衡因子和产量因子; $Q_{rd}$ 为工程正常运行后水库平均年泥沙淤积量( $\text{m}^3$ ); $d$ 为土壤表土平均厚度(m)。

### 1.2.2 水库淹没生态需求足迹评估模型

皂市水库正常蓄水位140m时,淹没石门县、慈利县幅员面积53.99 $\text{km}^2$ ,其中陆地面积45.77 $\text{km}^2$ 。用土地未被淹没时的收益(面积)核算水库淹没损失(机会成本)。水库淹没生态需求足迹评估模型为:

$$EF_{rs} = r_1 S_{rsf} y_1 + r_2 S_{rst} y_2 + r_4 S_{rsw} y_4 + r_6 S_{rsc} y_6 \quad (7)$$

式中, $EF_{rs}$ 为水库淹没生态需求足迹( $\text{hm}^2$ ); $S_{rsf}$ 为建库淹没影响耕地的面积( $\text{hm}^2$ ); $S_{rst}$ 为建库淹没影响林地的面积( $\text{hm}^2$ ); $S_{rsw}$ 为建库淹没影响河滩地和鱼塘的面积( $\text{hm}^2$ ); $S_{rsc}$ 为建库淹没影响建设用地的面积( $\text{hm}^2$ ); $r_1$ 、 $r_2$ 、 $r_4$ 和 $r_6$ 分别为耕地、林地、水域和建设用地的均衡因子; $y_1$ 、 $y_2$ 、 $y_4$ 和 $y_6$ 分别为耕地、林地、水域和建设用地的产量因子。

### 1.2.3 移民安置区建设生态需求足迹评估模型

皂市工程移民安置区建设包括集中居民点建房、分散建房和集镇迁建3部分。用土地未被占用时的收益(面积)核算安置区建设损失(机会成本)。移民安置区建设生态需求足迹评估模型为:

$$EF_{rp} = r_1 (S_{rpf}^1 + S_{rpf}^2 + S_{rpf}^3) y_1 + r_2 (S_{rpt}^1 + S_{rpt}^2 + S_{rpt}^3) y_2 + r_4 (S_{rpw}^1 + S_{rpw}^2 + S_{rpw}^3) y_4 \quad (8)$$

式中, $EF_{rp}$ 为移民安置区建设生态需求足迹( $\text{hm}^2$ ); $S_{rpf}^1$ 、 $S_{rpf}^2$ 和 $S_{rpf}^3$ 分别为集中居民点建房、分散建房和集镇迁建占用耕地的面积( $\text{hm}^2$ ); $S_{rpt}^1$ 、 $S_{rpt}^2$ 和 $S_{rpt}^3$ 分别为集中居民点建房、分散建房和集镇迁建占用林地的面积( $\text{hm}^2$ ); $S_{rpw}^1$ 、 $S_{rpw}^2$ 和 $S_{rpw}^3$ 分别为集中居民点建房、分散建房和集镇迁建占用鱼塘的面积; $r_1$ 、 $r_2$ 和 $r_4$ 分别为耕地、林地和水域的均衡因子; $y_1$ 、 $y_2$ 和 $y_4$ 分别为耕地、林地和水域的产量因子。

### 1.2.4 水土流失生态需求足迹评估模型

皂市工程建设区和直接影响区引起新增水土流失,用新增水土流失量造地的收益(面积)核算水土流失

损失(机会成本)。水土流失生态需求足迹评估模型为:

$$EF_{se} = r_1 [(Q_{se}/p_s)/d_s] y_1 \quad (9)$$

式中,  $EF_{se}$  为水土流失生态需求足迹 ( $\text{hm}^2$ );  $r_1$  和  $y_1$  分别为耕地的均衡因子和产量因子;  $Q_{se}$  为新增水土流失量 ( $\text{t}$ );  $p_s$  为土壤平均容重 ( $\text{t}/\text{m}^3$ );  $d_s$  为土壤表土平均厚度 ( $\text{m}$ )。

### 1.2.5 工程占据生态需求足迹评估模型

皂市工程占压土地包括枢纽工程及其附属设施的占地, 主体工程施工, 料场开挖、弃土弃渣的堆放和处置, 道路修建和扩建, 施工企业、生活管理区及废弃物堆放的临时占地等。用土地未被占用时的收益(面积)核算工程占据损失(机会成本)。工程占据生态需求足迹评估模型为:

$$EF_{po} = r_1 S_{pof} y_1 + r_2 S_{pot} y_2 + r_6 S_{poc} y_6 \quad (10)$$

式中,  $EF_{po}$  为工程占据生态需求足迹 ( $\text{hm}^2$ );  $r_1$ 、 $r_2$  和  $r_6$  分别为耕地、林地和建设用地的均衡因子;  $y_1$ 、 $y_2$  和  $y_6$  分别为耕地、林地和建设用地的产量因子;  $S_{pof}$  为工程占据耕地的面积 ( $\text{hm}^2$ );  $S_{pot}$  为工程占据林地的面积 ( $\text{hm}^2$ );  $S_{poc}$  为工程占据建设用地的面积 ( $\text{hm}^2$ )。

### 1.2.6 工程施工能源消耗生态需求足迹评估模型

皂市工程施工消耗的能源主要有煤炭、燃料油和电。工程施工能源消耗生态需求足迹评估模型为:

$$EF_{ce} = [r_5 (Q_{ce}^c \rho_{ce}^c / f_{ce}^c + Q_{ce}^{fo} \rho_{ce}^{fo} / f_{ce}^{fo}) + r_6 (Q_{ce}^{he} \rho_{ce}^{he} / f_{ce}^{he})] / T \quad (11)$$

式中,  $EF_{ce}$  为工程施工能源消耗生态需求足迹 ( $\text{hm}^2$ );  $r_5$  和  $r_6$  分别为化石燃料用地和建设用地的均衡因子;  $Q_{ce}^c$ 、 $Q_{ce}^{fo}$  和  $Q_{ce}^{he}$  分别为工程施工过程对煤炭、燃料油和电的需求量 ( $\text{t}$  或  $10^3 \text{ kW} \cdot \text{h}$ );  $\rho_{ce}^c$ 、 $\rho_{ce}^{fo}$  和  $\rho_{ce}^{he}$  分别为煤炭、燃料油和电的折算系数 ( $\text{GJ}/\text{t}$  或  $\text{GJ} \cdot 10^{-3} \text{ kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $f_{ce}^c$ 、 $f_{ce}^{fo}$  和  $f_{ce}^{he}$  分别为煤炭、燃料油和电的全球平均足迹 ( $\text{GJ}/\text{hm}^2$ );  $T$  为皂市工程正常运行期 ( $\text{a}$ )。

### 1.2.7 工程施工生产污水排放生态需求足迹评估模型

皂市工程施工生产污水来自混凝土浇筑、养护、冲洗、骨料加工及冷却用水等。施工过程生产污水排放生态需求足迹评估模型为:

$$EF_{pw} = r_6 [u_{pw} (M_{pw} / \rho_{pw}) t_e / f_{he}] / T \quad (12)$$

式中,  $EF_{pw}$  为施工过程生产污水排放生态需求足迹 ( $\text{hm}^2$ );  $r_6$  为建设用地的均衡因子;  $u_{pw}$  为处理每  $\text{m}^3$  污水的耗电量 ( $\text{kw} \cdot \text{h}/\text{m}^3$ );  $M_{pw}$  为施工过程生产污水排放总量 ( $\text{t}$ );  $\rho_{pw}$  为生产污水的密度 ( $\text{t}/\text{m}^3$ );  $t_e$  为电力的能源折算系数 ( $10^{-3} \text{ kW}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ );  $f_{he}$  为电力全球平均足迹 ( $\text{GJ}/\text{hm}^2$ );  $T$  为皂市工程正常运行期 ( $\text{a}$ )。

### 1.2.8 生产建筑材料水泥和钢材生态需求足迹评估模型

皂市工程主要的建筑材料是水泥和钢材, 生产建筑材料会产生温室气体。水泥生产过程排放二氧化碳主要有生料中碳酸盐分解和少量有机碳燃烧产生的二氧化碳排放, 各种燃料燃烧产生的二氧化碳排放, 各工艺工程电力消耗产生的二氧化碳排放; 钢材冶炼过程排放二氧化碳主要是碳还原剂和燃料燃烧产生的二氧化碳。生产建筑材料水泥和钢材生态需求足迹模型为:

$$EF_{bm} = r_5 [(W_{bmc} \eta_{CO_2}^c + W_{bms} \eta_{CO_2}^s) / p_{CO_2}] / T \quad (13)$$

式中,  $EF_{bm}$  为生产建筑材料水泥和钢材生态需求足迹 ( $\text{hm}^2$ );  $r_5$  为化石燃料用地的均衡因子;  $W_{bmc}$  和  $W_{bms}$  分别为皂市水利枢纽工程建设所需的水泥和钢材总量 ( $\text{t}$ );  $\eta_{CO_2}^c$  和  $\eta_{CO_2}^s$  分别为生产单位量水泥和钢材的  $\text{CO}_2$  排放系数 ( $\text{t}/\text{t}$ );  $p_{CO_2}$  为全球平均每公顷林地每年吸纳  $\text{CO}_2$  的量 ( $\text{t}/\text{hm}^2$ );  $T$  为皂市工程正常运行期 ( $\text{a}$ )。

## 2 评估结果

### 2.1 数据来源

皂市工程相关数据通过文献<sup>[20-24]</sup>整理计算; 产量因子、均衡因子、世界水域的平均生产能力和能源的全球平均足迹等数据来自文献<sup>[25-27]</sup>; 能源热量折算系数数据通过文献<sup>[28]</sup>整理计算; 干旱引起的湖南省作物受灾、成灾和绝收面积所占比例, 作物受灾、成灾和绝收减少收益比例等数据通过文献<sup>[29]</sup>整理计算; 污水密度和

处理单位量污水能耗数据来自文献<sup>[30]</sup>;水泥和钢材生产过程 CO<sub>2</sub>排放系数数据参见文献<sup>[31-32]</sup>;每公顷森林吸纳 CO<sub>2</sub>量和每公顷森林每年累积可更新的生物质能源量数据来自文献<sup>[33]</sup>;土壤容重和土壤表层厚度数据来自文献<sup>[34]</sup>;内河航运比公路运输每吨公里节省的燃油量数据来自文献<sup>[35]</sup>。

## 2.2 生态供给足迹和生态需求足迹评估结果分析

由表 1、表 2 可知,调蓄洪水和水力发电是皂市工程的主要功能,两者之和占总正面影响的 93.94%;同时,皂市工程的灌溉收益也较显著,占总正面影响的 4.96%;但是,改善航道和水库养殖的收益相对较小。皂市水库淹没是其最大的负面影响,占总负面影响的 72.16%;其次是水库泥沙淤积和移民安置区建设,两者分别占总负面影响的 7.44% 和 5.96%;3 种主要负面影响占总负面影响的 85.56%。皂市工程的正面影响远大于负面影响,生态供给足迹是生态需求足迹的 5.92 倍,即生态补偿主体受益值是生态补偿对象受损值的 5.92 倍。

表 1 皂市工程生态供给足迹

Table 1 Ecological supply footprints of Zaoshi Water Conservancy Project

| 生态供给足迹 Ecological supply footprints (ESF)                     | 结果 Results/(hm <sup>2</sup> /a) | 百分比 Percent/% |
|---------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 调蓄洪水生态供给足迹 ESF of flooding control                            | 44478.2129                      | 50.27         |
| 水力发电生态供给足迹 ESF of hydropower                                  | 38637.0000                      | 43.67         |
| 发电经济效益生态供给足迹 ESF of economic value of hydropower              | 15741.0000                      | 17.79         |
| 发电环境效益生态供给足迹 ESF of environmental value of hydropower         | 22896.0000                      | 25.88         |
| 水库灌溉生态供给足迹 ESF of reservoir irrigation                        | 4385.3415                       | 4.96          |
| 改善航道生态供给足迹 ESF of improve waterway                            | 449.5016                        | 0.51          |
| 改善航道经济效益生态供给足迹 ESF of economic value of improve waterway      | 241.6396                        | 0.27          |
| 改善航道环境效益生态供给足迹 ESF of environmental value of improve waterway | 207.8620                        | 0.24          |
| 水库养殖生态供给足迹 ESF of reservoir breeding                          | 532.2414                        | 0.60          |
| 合计 Total                                                      | 88482.2974                      | 100.00        |

表 2 皂市工程生态需求足迹

Table 2 Ecological demand footprints of Zaoshi Water Conservancy Project

| 生态需求足迹 Ecological demand footprints (EDF)                        | 结果 Results/(hm <sup>2</sup> /a) | 百分比 Percent/% |
|------------------------------------------------------------------|---------------------------------|---------------|
| 水库泥沙淤积生态需求足迹 EDF of reservoir sedimentation                      | 1112.7312                       | 7.44          |
| 水库淹没生态需求足迹 EDF of reservoir inundation                           | 10785.8316                      | 72.16         |
| 移民安置区建设生态需求足迹 EDF of construction of resettlement area           | 891.4894                        | 5.96          |
| 水土流失生态需求足迹 EDF of soil and water erosion                         | 748.6185                        | 5.01          |
| 工程占据生态需求足迹 EDF of river ecosystem occupied by project            | 339.7053                        | 2.27          |
| 工程施工能源消耗生态需求足迹 EDF of energy consumption of project construction | 569.6522                        | 3.81          |
| 施工过程中污水排放生态需求足迹 EDF of sewage discharge of project construction  | 0.1008                          | 0.00          |
| 生产建筑材料水泥和钢材生态需求足迹 EDF of produce cement and steel                | 498.3571                        | 3.33          |
| 合计 Total                                                         | 14946.4861                      | 100.00        |

## 2.3 生态供给足迹和生态需求足迹结果转换

通过查阅 WWF (World Wildlife Found)、ZSL (Zoological Society of London) 和 GFN (Global Footprint Network) 的《地球生命力报告 (2004, 2006, 2008, 2010)》和国家统计局的《中国统计年鉴 (2008)》获得我国 2001、2003、2005 和 2007 年的人均生态足迹和人均国内生产总值,计算得出近年来我国平均单位生态足迹的价值为 7047 元/hm<sup>2</sup>。将表 1 和表 2 中的生态供给足迹和生态需求足迹结果进行货币化转换(表 3)。

表3 生态补偿主体受益值和生态补偿对象受损值

| Table 3 The values of ecological compensation subject and the losses of ecological compensation object |                                                     |             |                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-------------|-----------------------------------------------------|
| 类型<br>Type                                                                                             | 转换结果<br>Converted results<br>/(10 <sup>8</sup> 元/a) | 类型<br>Type  | 转换结果<br>Converted results<br>/(10 <sup>8</sup> 元/a) |
| 调蓄洪水 Flooding control                                                                                  | 3.1344                                              | 水库泥沙淤积      | 0.0784                                              |
| 水力发电经济效益 Economic value of hydropower                                                                  | 1.1093                                              | 水库淹没        | 0.7601                                              |
| 水力发电环境效益 Environmental value of hydropower                                                             | 1.6135                                              | 移民安置区建设     | 0.0628                                              |
| 水库灌溉 Reservoir irrigation                                                                              | 0.3090                                              | 水土流失        | 0.0528                                              |
| 改善航道经济效益 Economic value of improve waterway                                                            | 0.0170                                              | 工程占据        | 0.0239                                              |
| 改善航道环境效益 Environmental value of improve waterway                                                       | 0.0146                                              | 工程施工能源消耗    | 0.0401                                              |
| 水库养殖 Reservoir breeding                                                                                | 0.0375                                              | 施工过程生产污水排放  | 0.0000                                              |
| —                                                                                                      | —                                                   | 生产建筑材料水泥和钢材 | 0.0351                                              |
| 合计 Total                                                                                               | 6.2353                                              | 合计          | 1.0533                                              |

3 生态补偿标准方案

3.1 第1种生态补偿标准方案

在第1种生态补偿标准方案中,生态补偿主体包括防洪保护的松澧地区居民、水力发电业主(发电经济效益受益者)、水库灌溉受益者、水库养殖受益者、改善航道受益者(航运经济效益受益者)、水力发电和改善航道环境效益受益者的代表——中央政府和地方政府等。由于松澧地区范围较广、洪灾复杂多变,明确具体的防洪效益受益微观个体和核算微观个体防洪受益的大小较困难,所以,本研究将防洪效益生态补偿主体确定为松澧地区居民的代表——中央政府和地方政府。生态补偿对象包括移民、受损的河流生态系统本身(包括水库泥沙淤积影响、移民安置区建设影响、工程占据影响等)、受修建工程影响的居民(包括水土流失影响、工程施工能源消耗产生温室气体影响和施工过程生产污水排放影响的库区居民及附近更大范围的居民,生产建筑材料水泥和钢材产生温室气体排放影响的水泥厂和钢厂周边居民及附近更大范围的居民等)等。由于明确具体的受修建工程影响的微观个体和核算微观个体受影响的大小较困难,所以,本研究将这部分生态补偿对象确定为受影响居民的代表——建立库区环境与健康保护基金会。

在第1种生态补偿标准方案中,生态补偿标准为生态补偿对象的受损值,各生态补偿主体根据其受益值占总受益值的比例承担生态补偿额度。从表4可得,中央政府和地方政府是最主要的生态补偿主体,其承担的生态补偿额占总生态补偿额的76.39%;其次是水电开发业主,其承担的生态补偿额占总生态补偿额的17.79%;而用水灌溉受益者、航运受益者和水库养殖受益者等生态补偿主体承担的生态补偿额只占总生态补偿额的5.83%。皂市工程移民是最主要的生态补偿对象,其获得的生态补偿额占总生态补偿额的72.16%;其次是河流生态系统本身,其获得的生态补偿额占总生态补偿额的15.68%;库区环境与健康保护基金会获得的生态补偿额占总生态补偿额的12.15%。

3.2 第2种生态补偿标准方案

在第2种生态补偿标准方案中,暂时不考虑难以具体明确的生态补偿主体(即调蓄洪水受益者松澧地区的居民),从第1种生态补偿标准方案的生态补偿额中按比例(50.27%)扣除防洪效益受益者生态补偿主体应承担的生态补偿额;第2种生态补偿标准方案生态补偿主体和生态补偿对象见表5。

从表5可得,在第2种生态补偿标准方案中,中央政府和地方政府、水电开发业主是主要的生态补偿主体,其承担的生态补偿额分别占总生态补偿额的52.50%和35.77%;用水灌溉受益者承担的生态补偿额占总生态补偿额的9.96%;而航运受益者和水库养殖受益者生态补偿主体承担的生态补偿额只占总生态补偿额的1.76%。皂市工程移民是最主要的生态补偿对象,其获得的生态补偿额占总生态补偿额的72.16%;其次是河流生态系统本身,其获得的生态补偿额占总生态补偿额的15.68%;库区环境与健康保护基金会获得的生态补偿额占总生态补偿额的12.15%。

表 4 皂市工程第 1 种生态补偿标准方案

Table 4 The first scheme of ecological compensation standard of Zaoshi Water Conservancy Project

| 类型<br>Type  | 获得生态补偿额度<br>Obtained ecological<br>compensation<br>standard<br>/(10 <sup>8</sup> 元/a) | 生态补偿对象<br>Ecological<br>compensation<br>object | 类型<br>Type | 承担比例<br>Percent/% | 承担生态补偿额度<br>Undertook ecological<br>compensation<br>standard<br>/(10 <sup>8</sup> 元/a) | 生态补偿主体<br>Ecological<br>compensation<br>subject |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 水库泥沙淤积      | 0.0784                                                                                | 河流生态系统                                         | 调蓄洪水       | 50.27             | 0.5295                                                                                 | 中央政府和地方政府                                       |
| 水库淹没        | 0.7601                                                                                | 移民                                             | 水力发电经济效益   | 17.79             | 0.1874                                                                                 | 水电开发业主                                          |
| 移民安置区建设     | 0.0628                                                                                | 河流生态系统                                         | 水力发电环境效益   | 25.88             | 0.2726                                                                                 | 中央政府和地方政府                                       |
| 水土流失        | 0.0528                                                                                | 库区环境与健康保护基金会                                   | 水库灌溉       | 4.96              | 0.0522                                                                                 | 用水灌溉的受益者                                        |
| 工程占据        | 0.0239                                                                                | 河流生态系统                                         | 改善航道经济效益   | 0.27              | 0.0028                                                                                 | 改善航道航运受益者                                       |
| 工程施工能源消耗    | 0.0401                                                                                | 库区环境与健康保护基金会                                   | 改善航道环境效益   | 0.24              | 0.0025                                                                                 | 中央政府和地方政府                                       |
| 施工过程生产污水排放  | 0.0000                                                                                | 库区环境与健康保护基金会                                   | 水库养殖       | 0.60              | 0.0063                                                                                 | 水库养殖受益者                                         |
| 生产建筑材料水泥和钢材 | 0.0351                                                                                | 库区环境与健康保护基金会                                   | —          | —                 | —                                                                                      | —                                               |
| 合计          | 1.0533                                                                                | —                                              | 合计         | 100.00            | 1.0533                                                                                 | —                                               |

表 5 皂市工程第 2 种生态补偿标准方案

Table 5 The second scheme of ecological compensation standard of Zaoshi Water Conservancy Project

| 类型<br>Type  | 获得生态补偿额度<br>Obtained ecological<br>compensation<br>standard<br>/(10 <sup>8</sup> 元/a) | 生态补偿对象<br>Ecological<br>compensation<br>object | 类型<br>Type | 承担比例<br>Percent/% | 承担生态补偿额度<br>Undertook ecological<br>compensation<br>standard<br>/(10 <sup>8</sup> 元/a) | 生态补偿主体<br>Ecological<br>compensation<br>subject |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 水库泥沙淤积      | 0.0390                                                                                | 河流生态系统                                         | 水力发电经济效益   | 35.77             | 0.1874                                                                                 | 水电开发业主                                          |
| 水库淹没        | 0.3780                                                                                | 移民                                             | 水力发电环境效益   | 52.03             | 0.2726                                                                                 | 中央政府和地方政府                                       |
| 移民安置区建设     | 0.0312                                                                                | 河流生态系统                                         | 水库灌溉       | 9.96              | 0.0522                                                                                 | 用水灌溉的受益者                                        |
| 水土流失        | 0.0263                                                                                | 库区环境与健康保护基金会                                   | 改善航道经济效益   | 0.55              | 0.0028                                                                                 | 改善航道航运受益者                                       |
| 工程占据        | 0.0119                                                                                | 河流生态系统                                         | 改善航道环境效益   | 0.47              | 0.0025                                                                                 | 中央政府和地方政府                                       |
| 工程施工能源消耗    | 0.0199                                                                                | 库区环境与健康保护基金会                                   | 水库养殖       | 1.21              | 0.0063                                                                                 | 水库养殖受益者                                         |
| 施工过程生产污水排放  | 0.0000                                                                                | 库区环境与健康保护基金会                                   | —          | —                 | —                                                                                      | —                                               |
| 生产建筑材料水泥和钢材 | 0.0175                                                                                | 库区环境与健康保护基金会                                   | —          | —                 | —                                                                                      | —                                               |
| 合计          | 0.5238                                                                                | —                                              | 合计         | 100.00            | 0.5238                                                                                 | —                                               |

### 3.3 第 3 种生态补偿标准方案

在第 3 种生态补偿标准方案中,暂时不考虑难以具体明确的生态补偿主体(防洪保护的松澧地区居民)和难以具体明确的生态补偿对象(即水土流失、工程施工能源消耗产生温室气体排放、施工过程生产污水排

放影响的库区居民及附近更大范围的居民,生产建筑材料水泥和钢材产生温室气体排放影响的水泥厂和钢厂周边居民及附近更大范围的居民),从第2种生态补偿标准方案的生态补偿额中减去水土流失、工程施工能源消耗、工程施工产生污水排放、生产建筑材料水泥和钢材等的损失值;第3种生态补偿标准方案生态补偿主体和生态补偿对象见表6。

从表6可得,在第3种生态补偿标准方案中,中央政府和地方政府、水电开发业主是主要的生态补偿主体,其承担的生态补偿额分别占总生态补偿额的52.50%和35.77%;其次是用水灌溉受益者,其承担的生态补偿额占总生态补偿额的9.96%;航运受益者和水库养殖受益者生态补偿主体承担的生态补偿额只占总生态补偿额的1.76%。皂市工程移民是最主要的生态补偿对象,其获得的生态补偿额占总生态补偿额的82.16%;河流生态系统本身获得的生态补偿额占总生态补偿额的17.84%。

表6 皂市工程第3种生态补偿标准方案

Table 6 The third scheme of ecological compensation standard of Zaoshi Water Conservancy Project

| 类型<br>Type | 获得生态补偿额度<br>Obtained ecological<br>compensation<br>standard<br>/(10 <sup>8</sup> 元/a) | 生态补偿对象<br>Ecological<br>compensation<br>object | 类型<br>Type | 承担比例<br>Percent/% | 承担生态补偿额度<br>Undertook ecological<br>compensation<br>standard<br>/(10 <sup>8</sup> 元/a) | 生态补偿主体<br>Ecological<br>compensation<br>subject |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 水库泥沙淤积     | 0.0390                                                                                | 河流生态系统                                         | 水力发电经济效益   | 35.77             | 0.1646                                                                                 | 水电开发业主                                          |
| 水库淹没       | 0.3780                                                                                | 移民                                             | 水力发电环境效益   | 52.03             | 0.2394                                                                                 | 中央政府和地方政府                                       |
| 移民安置区建设    | 0.0312                                                                                | 河流生态系统                                         | 水库灌溉       | 9.96              | 0.0458                                                                                 | 用水灌溉的受益者                                        |
| 工程占据       | 0.0119                                                                                | 河流生态系统                                         | 改善航道经济效益   | 0.55              | 0.0025                                                                                 | 改善航道航运受益者                                       |
| —          | —                                                                                     | —                                              | 改善航道环境效益   | 0.47              | 0.0022                                                                                 | 中央政府和地方政府                                       |
| —          | —                                                                                     | —                                              | 水库养殖       | 1.21              | 0.0056                                                                                 | 水库养殖受益者                                         |
| 合计         | 0.4601                                                                                | —                                              | 合计         | 100.00            | 0.4601                                                                                 | —                                               |

#### 4 结论

“谁补偿谁”是生态补偿实施的关键问题之一,本研究以具体明确生态补偿主体和生态补偿对象为前提,提出了3种生态补偿标准方案(各方案生态补偿主体承担额度和生态补偿对象获得额度见图1、图2)。从图1可知,第1种生态补偿标准方案与第2、第3种生态补偿标准方案最显著的差异是中央政府和地方政府在生态补偿标准中承担的额度,这也直接影响到3种生态补偿标准方案生态补偿对象获得的额度(图2)。从国内外已有的生态补偿实施案例来看,政府都是主要的生态补偿主体和生态补偿资金承担者;但是,考虑到我国经济发展水平所处的阶段和生态补偿实施的现状,政府承担较多的生态补偿额度很难实现,所以,在调蓄洪水生态补偿具体主体难以明确的情况下,可暂时先不考虑防洪受益者承担的生态补偿份额。从图2可知,第2、第3种生态补偿标准方案的差异是有无库区环境与健康保护基金。皂市工程建设施工期有专门的环境保护经费,用于工程建设过程中的生态环境保护。工程建设施工期对库区环境和人群的直接影响随着工程竣工而结束,但是,工程引起的间接影响将持续工程的整个生命周期。因此,需要通过建立库区环境与健康保护基金会的形式对受这种影响的库区环境和人群进行长期持续补偿(本研究这些影响损失值是按照工程正常运行期核算的,见公式(11)~(13))。基于上述分析,目前推荐实施第2种生态补偿标准方案。

生态足迹法在理论上仍存在诸如假设土地空间互斥性、假设静态封闭系统、生态偏向性、账户覆盖不全面等缺陷。近年来,国内外许多学者提出了多种改进的方法来弥补生态足迹方法的不足,如基于投入产出法的改进、基于能值理论的改进、基于净初级生产力的改进、基于成分法与物质流和生命周期相结合的改进、静态

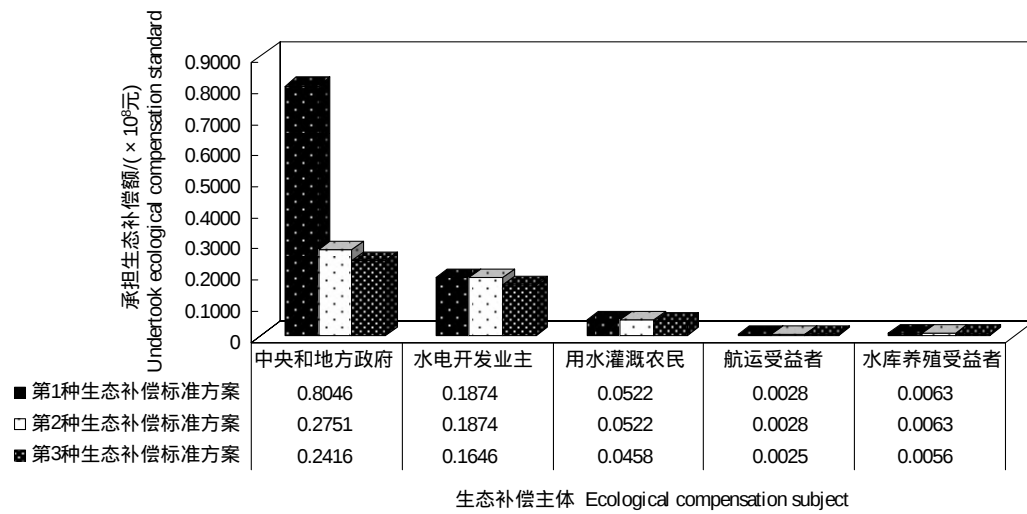


图 1 3 种方案生态补偿主体承担的生态补偿额

Fig. 1 Ecological compensation subjects undertook ecological compensation standard in three schemes

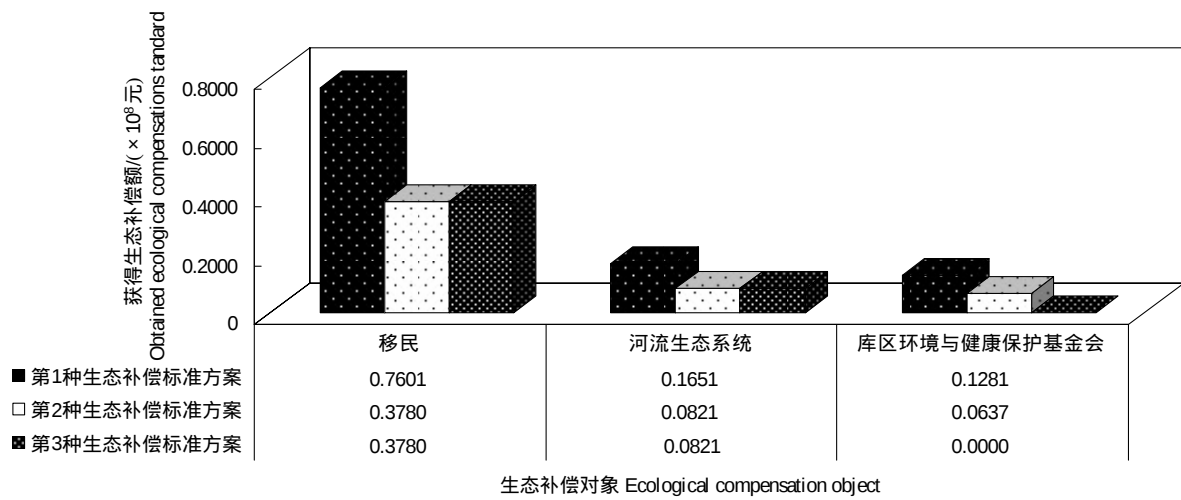


图 2 3 种方案生态补偿对象获得的生态补偿额

Fig. 2 Ecological compensation object obtained ecological compensation standard in three schemes

向时间序列的改进、估算遗漏性的改进等。这为生态足迹思想在大型工程建设生态环境影响评估和生态补偿标准核算等方面的进一步研究提供了更为广阔的空间。

#### References:

- [ 1 ] Villarroya A, Puig J. Ecological compensation and environmental impact assessment in Spain. Environmental Impact Assessment Review, 2010, 30 (6): 357-362.
- [ 2 ] Pan L H, Huang H Q, Jiang L G, Zhen L. A case study of the effects of wetland restoration policy with an artificial society model. Journal of Natural Resources, 2010, 25(12): 2007-2017.
- [ 3 ] Mao X Q, Zhong Y, Zhang S. Conception, theory and mechanism of eco-compensation. China Population, Resources and Environment, 2002, 12 (4): 38-41.
- [ 4 ] Sun X Z, Xie G D, Zhang Q Z, Zhou H L, Guo C X, Wang X C, Liu R X. Ecological compensation practice and policy orientation in China. Resources Science, 2006, 28(4): 25-30.
- [ 5 ] Yang G M, Min Q W, Li W H, Zhen L. Scientific issues of ecological compensation research in China. Acta Ecologica Sinica, 2007, 27(10): 4290-4300.

- [ 6 ] Pagiola S, Arcenas A, Platais G. Can payments for environmental services help reduce poverty? An exploration of the issues and the evidence to date from Latin America. *World Development*, 2005, 33(2): 237-253.
- [ 7 ] Hou Y Z, Wu S R. Review on the research of valuation and compensation for forest ecological service. *World Forestry Research*, 2005, 18(3): 1-5.
- [ 8 ] Li W H, Li F, Li S D, Liu M C. The status and prospect of forest ecological benefit compensation. *Journal of Natural Resources*, 2006, 21(5): 676-688.
- [ 9 ] Qin Y H, Kang M Y. A review of ecological compensation and its improvement measures. *Journal of Natural Resources*, 2007, 22(4): 557-567.
- [ 10 ] Wang N J, Liu J, Wu D Q, Gao S, Wang R Q. Regional eco-compensation based on ecosystem service assessment: a case study of Shandong Province. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6646-6653.
- [ 11 ] Li X G, Miao H, Zheng H, Ouyang Z Y. Main methods for setting ecological compensation standard and their application. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(8): 4431-4440.
- [ 12 ] Macmillan D C, Harley D, Morrison R. Cost-effectiveness analysis of woodland ecosystem restoration. *Ecological Economics*, 1998, 27(3): 313-324.
- [ 13 ] Pagiola S, Ramírez E, Gobbi J, de Haan C, Ibrahim M, Murgueitio E, Rufz J P. Paying for the environmental services of silvopastoral practices in Nicaragua. *Ecological Economics*, 2007, 64(2): 374-385.
- [ 14 ] Wünscher T, Engel S, Wunder S. Spatial targeting of payments for environmental services: a tool for boosting conservation benefits. *Ecological Economics*, 2008, 65(4): 822-833.
- [ 15 ] Kalacska M, Sanchez-azofeifa G A, Rivard B, Calvo-Alvarado J C, Quesada M. Baseline assessment for environmental services payments from satellite imagery: a case study from Costa Rica and Mexico. *Journal of Environmental Management*, 2008, 88(2): 348-359.
- [ 16 ] Xiong Y, Wang K L, Lan W L, Qi H. Evaluation of the lake recovery area eco-compensation in Dongting Lake Wetland. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(5): 772-780.
- [ 17 ] Cai B C, Lu G F, Song L J, Liu Z. The ecological compensation standardization for ecological restoration: a case study of ecological restoration in the water resource protection zone for Eastern South-to-North Water Transfer Project. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(5): 2413-2416.
- [ 18 ] Li X G, Miao H, Zheng H, Ouyang Z Y, Xiao Y. Application of opportunity-cost method in determining ecological compensation standard: a case study in the central mountainous area of Hainan Island. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(9): 4875-4883.
- [ 19 ] Xiao J H. Study on Effects of Dams on River Ecosystem Service Functions and Its Evaluation [D]. Nanjing: Hehai University, 2007.
- [ 20 ] Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research. The Basic Design Reports on Zaoshi Water Conservancy Project of the Xie River in Hunan Province. Wuhan: Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, 2002.
- [ 21 ] Changjiang Water Resources Protection Institute. The Environment Impact Statement on Zaoshi Water Conservancy Project of Xie River. Wuhan: Changjiang Water Resources Protection Institute, 1995.
- [ 22 ] Changjiang Water Resources Protection Institute. The Review Working Outline of the Environment Impact Statement on Zaoshi Water Conservancy Project. Wuhan: Changjiang Water Resources Protection Institute, 2001.
- [ 23 ] Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research. The Reservoir Submerged Processing and Resettlement Plan Reports in the Basic Design Stage on Zaoshi Water Conservancy Project of the Xie River in Hunan Province. Wuhan: Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, 2004.
- [ 24 ] Bureau of Statistics of Shimen County. Shimen Statistics Yearbook. Shimen: Bureau of Statistics of Shimen County, 2009.
- [ 25 ] Wackernagel M, Onisto L, Bello P, Linares A C, Falfán I S L, García J M, Guerrero A I S, Guerrero M G S. National natural capital accounting with the ecological footprint concept. *Ecological Economics*, 1999, 29(3): 375-390.
- [ 26 ] Wackernagel M, Lewan L, Hansson C B. Evaluating the use of natural capital with the ecological footprint: applications in Sweden and subregions. *Ambio*, 1999, 28(7): 604-612.
- [ 27 ] Wackernagel M, Onisto L, Linares A C, Falfán I S L, García J M, Guerrero A I S, Guerrero M G S. Ecological Footprint of Nations: How Much Nature Do They Use? How Much Nature Do They Have? Commissioned by the Earth Council for the Rio+5 Forum. Toronto: International Council for Local Environmental Initiatives, 1997.
- [ 28 ] Qiu D X. Energy Planning and System Analysis. Beijing: Tsinghua University Press, 1995.
- [ 29 ] State Flood Control and Drought Relief Headquarters, and the Ministry of Water Resources of China. Bulletin of Flood and Drought Disaster in China. Beijing: China Waterpower Press, 2007.
- [ 30 ] The Ministry of Housing and Urban-Rural Development of China. The Construction Standards of Urban Sewage Treatment Project. Beijing: China Planning Press, 2001.
- [ 31 ] Cui S P, Liu W. The potential analysis on carbon dioxide reduction during cement production process. *China Cement*, 2008, (4): 57-59.

- [32] Zhang C X, Hu C Q, Yan D L, Qi Y H, Chen L Y, Zhang X X. GHG emission and its mitigation of steel industry. *China Metallurgy*, 2007, 17(1): 7-12.
- [33] Tao Z P. *Ecological Rucksack and Ecological Footprint-The Weight and the Area Concept of Sustainable Development*. Beijing: Economical Science Publishing House, 2003.
- [34] Li J C, Jiang W L, Jin L S. *Ecological Value Theory*. Chongqing: Chongqing University Press, 1999.
- [35] He Y L, Yang L Z. Comparative advantages of railway on comprehensive traffic and transportation system. *Railway Transport and Economy*, 2007, 29(12): 12-14.

#### 参考文献:

- [2] 潘理虎, 黄河清, 姜鲁光, 甄霖. 基于人工社会模型的退田还湖生态补偿机制实例研究. *自然资源学报*, 2010, 25(12): 2007-2017.
- [3] 毛显强, 钟瑜, 张胜. 生态补偿的理论探讨. *中国人口·资源与环境*, 2002, 12(4): 38-41.
- [4] 孙新章, 谢高地, 张其仔, 周海林, 郭朝先, 汪晓春, 刘荣霞. 中国生态补偿的实践及其政策取向. *资源科学*, 2006, 28(4): 25-30.
- [5] 杨光梅, 闵庆文, 李文华, 甄霖. 我国生态补偿研究中的科学问题. *生态学报*, 2007, 27(10): 4290-4300.
- [7] 侯元兆, 吴水荣. 森林生态服务价值评价与补偿研究综述. *世界林业研究*, 2005, 18(3): 1-5.
- [8] 李文华, 李芬, 李世东, 刘某承. 森林生态效益补偿的研究现状与展望. *自然资源学报*, 2006, 21(5): 676-688.
- [9] 秦艳红, 康慕谊. 国内外生态补偿现状及其完善措施. *自然资源学报*, 2007, 22(4): 557-567.
- [10] 王女杰, 刘建, 吴大千, 高甦, 王仁卿. 基于生态系统服务价值的区域生态补偿——以山东省为例. *生态学报*, 2010, 30(23): 6646-6653.
- [11] 李晓光, 苗鸿, 郑华, 欧阳志云. 生态补偿标准确定的主要方法及其应用. *生态学报*, 2009, 29(8): 4431-4440.
- [16] 熊鹰, 王克林, 蓝万炼, 齐恒. 洞庭湖区湿地恢复的生态补偿效应评估. *地理学报*, 2004, 59(5): 772-780.
- [17] 蔡邦成, 陆根法, 宋莉娟, 刘庄. 生态建设补偿的定量标准——以南水北调东线水源地保护区一期生态建设工程为例. *生态学报*, 2008, 28(5): 2413-2416.
- [18] 李晓光, 苗鸿, 郑华, 欧阳志云, 肖懿. 机会成本法在确定生态补偿标准中的应用——以海南中部山区为例. *生态学报*, 2009, 29(9): 4875-4883.
- [19] 肖建红. 水坝对河流生态系统服务功能影响及其评价研究 [D]. 南京: 河海大学, 2007.
- [20] 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院. 湖南溁水皂市水利枢纽初步设计报告 (上册、中册、下册). 武汉: 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院, 2002.
- [21] 长江水资源保护科学研究所. 溁水皂市水利枢纽环境影响报告书. 武汉: 长江水资源保护科学研究所, 1995.
- [22] 长江水资源保护科学研究所. 皂市水利枢纽环境影响复核工作大纲. 武汉: 长江水资源保护科学研究所, 2001.
- [23] 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院. 湖南溁水皂市水利枢纽初步设计阶段水库淹没处理及移民安置规划报告. 武汉: 长江水利委员会长江勘测规划设计研究院, 2004.
- [24] 石门县统计局. 石门统计年鉴. 石门: 石门县统计局, 2009.
- [28] 邱大雄. *能源规划与系统分析*. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [29] 国家防汛抗旱总指挥部和水利部. *中国水旱灾害公报*. 北京: 中国水利水电出版社, 2007.
- [30] 中华人民共和国建设部. *城市污水处理工程项目建设标准*. 北京: 中国计划出版社, 2001.
- [31] 崔素萍, 刘伟. 水泥生产过程 CO<sub>2</sub> 减排潜力分析. *中国水泥*, 2008, (4): 57-59.
- [32] 张春霞, 胡长庆, 严定鑫, 齐渊洪, 陈丽云, 张旭孝. 温室气体和钢铁工业减排措施. *中国冶金*, 2007, 17(1): 7-12.
- [33] 陶在朴. *生态包袱与生态足迹*. 北京: 经济科学出版社, 2003.
- [34] 李金昌, 姜文来, 靳乐山. *生态价值论*. 重庆: 重庆大学出版社, 1999.
- [35] 贺玉龙, 杨立中. 铁路在综合交通运输体系中的比较优势. *铁道运输与经济*, 2007, 29(12): 12-14.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 22 November, 2011 (Semimonthly)

## CONTENTS

|                                                                                                                                                     |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Hyperspectral estimation models for plant community water content at both leaf and canopy levels in Wild Duck Lake wetland .....                    | 6645 |
| Potential distribution of rice in china and its climate characteristics .....                                                                       | 6659 |
| Effects of seed soaking with soybean isoflavones on soybean seedlings under salt stress .....                                                       | 6669 |
| Ecophysiological responses and adaptation of <i>Tamarix ramosissima</i> to changes in groundwater depth in the Heihe river basin .....              | 6677 |
| <i>Melica przewalskyi</i> population spatial pattern and response to soil moisture in degraded alpine grassland .....                               | 6688 |
| A study on ecological compensation standard for Zaoshi Water Conservancy Project based on the idea of ecological footprint .....                    | 6696 |
| Spatial-temporal variation of NPP and NDVI correlation in wetland of Yellow River Delta based on MODIS data .....                                   | 6708 |
| Marshclassification mapping at a community scale using high-resolution imagery .....                                                                | 6717 |
| The impact of bacterial-feeding nematodes on root growth of <i>Arabidopsis thaliana</i> L. and the possible mechanisms .....                        | 6727 |
| Spatial and dynamic analysis of plantations in Xishuangbanna using network <i>K</i> -function .....                                                 | 6734 |
| Contrastive analysis and climatic response of tree-ring gray values and tree-ring densities .....                                                   | 6743 |
| Fractal structure of dominant tree species in north-facing slope of mountain of northern Hebei .....                                                | 6753 |
| Characteristics of radiation fluxes of an evergreen broad-leaved forest in Maofeng Mountain, Guangzhou, China .....                                 | 6766 |
| Effects of seed-dressing agents on groundnut and rhizosphere microbes .....                                                                         | 6777 |
| Time series prediction of the concentration of chlorophyll-a based on RBF neural network with parameters self-optimizing .....                      | 6788 |
| A trend surface analysis of geographic variation in the traits of seeds and seedlings from different <i>Quercus acutissima</i> provenances .....    | 6796 |
| Comparisons of relationships between leaf and fine root traits in hilly area of the Loess Plateau, Yanhe River basin, Shaanxi Province, China ..... | 6805 |
| An analysis on the water status in twigs and its relations to the drought resistance in Five woody plants living in arid zone .....                 | 6815 |
| The effect of fire on soil properties in a <i>Pinus massoniana</i> stand .....                                                                      | 6824 |
| Water-environment effects of industry structure in Taihu Lake Basin in Jiangsu Province .....                                                       | 6832 |
| Effect of high temperature on enzymic activity, pigment content and chlorophyll fluorescence of two <i>Kappaphycus</i> species .....                | 6845 |
| Analysis on characteristics of a typical drought event in Jiangsu Province .....                                                                    | 6853 |
| Surface heat flux and energy budget for semi-arid grassland on the Loess Plateau .....                                                              | 6866 |
| Effects of light quality on photosynthetic characteristics and on the carotenoid and cuticular extract content in tobacco leaves .....              | 6877 |
| Cyanobacterial diversity in biological soil crusts on wastelands of copper mine tailings .....                                                      | 6886 |
| Stereotypic behavior frequency and the influencing factors in captive Alpine musk deer ( <i>Moschus sifanicus</i> ) .....                           | 6896 |
| Zooplankton ecology near the Tianwan Nuclear Power Station .....                                                                                    | 6902 |
| Diel variations of fish assemblages in multiple habitats of Ma'an archipelago, Shengsi, China .....                                                 | 6912 |
| A novel cognitive-based approach to motivation for non-use value .....                                                                              | 6926 |
| <b>Review</b>                                                                                                                                       |      |
| Salt-responsive proteomics in plants .....                                                                                                          | 6936 |
| Research progress on forms of nitrogen and determination in the sediments .....                                                                     | 6947 |
| Review of research progress of infectious diseases in wild birds .....                                                                              | 6959 |
| Review on the methods to quantify fish's ability to cross velocity barriers in fish passage .....                                                   | 6967 |
| <b>Monograph</b>                                                                                                                                    |      |
| Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services: foundation, prospect and response strategy .....                  | 6973 |
| <b>Scientific Note</b>                                                                                                                              |      |
| A comparative study of the spatial-temporal patterns of fine roots between young and mature <i>Caragana korshinskii</i> plantations .....           | 6978 |

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

| 排序<br>Order | 期刊<br>Journal                           | 总被引频次<br>Total citation | 排序<br>Order | 期刊<br>Journal | 影响因子<br>Impact factor |
|-------------|-----------------------------------------|-------------------------|-------------|---------------|-----------------------|
| 1           | 生态学报                                    | 11764                   | 1           | 生态学报          | 1.812                 |
| 2           | 应用生态学报                                  | 9430                    | 2           | 植物生态学报        | 1.771                 |
| 3           | 植物生态学报                                  | 4384                    | 3           | 应用生态学报        | 1.733                 |
| 4           | 西北植物学报                                  | 4177                    | 4           | 生物多样性         | 1.553                 |
| 5           | 生态学杂志                                   | 4048                    | 5           | 生态学杂志         | 1.396                 |
| 6           | 植物生理学通讯                                 | 3362                    | 6           | 西北植物学报        | 0.986                 |
| 7           | JOURNAL OF INTEGRATIVE<br>PLANT BIOLOGY | 3327                    | 7           | 兽类学报          | 0.894                 |
| 8           | MOLECULAR PLANT                         | 1788                    | 8           | CELL RESEARCH | 0.873                 |
| 9           | 水生生物学报                                  | 1773                    | 9           | 植物学报          | 0.841                 |
| 10          | 遗传学报                                    | 1667                    | 10          | 植物研究          | 0.809                 |

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 22 期 (2011 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 22 2011

|               |                                                                                                                    |                 |                                                                                                                                                                                 |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 编 辑           | 《生态学报》编辑部<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085<br>电话:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>shengtaixuebao@rcees.ac.cn | Edited by       | Editorial board of<br>ACTA ECOLOGICA SINICA<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China<br>Tel:(010)62941099<br>www.ecologica.cn<br>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           | 中国生态学会<br>中国科学院生态环境研究中心<br>地址:北京海淀区双清路 18 号<br>邮政编码:100085                                                         | Sponsored by    | Ecological Society of China<br>Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS<br>Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China                                 |
| 出 版           | 科 学 出 版 社<br>地址:北京东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717                                                                       | Published by    | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North Street,<br>Beijing 100717, China                                                                                                |
| 印 刷           | 北京北林印刷厂                                                                                                            | Printed by      | Beijing Bei Lin Printing House,<br>Beijing 100083, China                                                                                                                        |
| 发 行           | 科 学 出 版 社<br>地址:东黄城根北街 16 号<br>邮政编码:100717<br>电话:(010)64034563<br>E-mail:journal@csppg.net                         | Distributed by  | Science Press<br>Add:16 Donghuangchenggen North<br>Street, Beijing 100717, China<br>Tel:(010)64034563<br>E-mail:journal@csppg.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<br>地址:北京 399 信箱<br>邮政编码:100044                                                                         | Foreign         | China International Book Trading<br>Corporation<br>Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China                                                                                      |
| 广告经营<br>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