

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第3期 Vol.34 No.3 **2014**

中国生态学会  
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 3 期      2014 年 2 月      (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

- 灾后生态恢复评价研究进展 ..... 刘孝富,王文杰,李 京,等 (527)
- 基于生态能量视角的我国小水电可持续性分析 ..... 庞明月,张力小,王长波 (537)

### 个体与基础生态

- 北部湾北部海域夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力 ..... 马 璐,曹文清,张文静,等 (546)
- 鲶鱼和胡子鲶的两性异形与雌性个体生育力 ..... 樊晓丽,林植华,丁先龙,等 (555)
- 环境温度对白头鹮代谢产热和蒸发失水的影响 ..... 林 琳,曹梦婷,胡益林,等 (564)
- 灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响 ..... 黄彩变,曾凡江,雷加强,等 (572)
- PAHs 污染土壤植物修复对酶活性的影响 ..... 朱 凡,洪湘琦,闫文德,等 (581)
- 基于修正 RISKE 模型的重庆岩溶地区地下水脆弱性评价 ..... 魏兴萍,蒲俊兵,赵纯勇 (589)
- 排水沟蓄水条件下农田与排水沟水盐监测 ..... 潘延鑫,罗 纨,贾忠华,等 (597)

### 种群、群落和生态系统

- 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性 ..... 高福元,赵成章,卓马兰草 (605)
- 捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫 ..... 刘雨芳,李 菲,桂芳艳,等 (613)
- 夏、冬季南海北部浮游植物群落特征 ..... 马 威,孙 军 (621)
- 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态 ..... 范春楠,郭忠玲,郑金萍,等 (633)
- 持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响 ..... 刘方春,邢尚军,马海林,等 (642)
- 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例 ..... 张 雷,王琳琳,张旭东,等 (650)
- 基于水文平衡的湿地退化驱动因子定量研究 ..... 侯 鹏,申文明,王 桥,等 (660)
- 华北低丘山地人工林蒸散的控制因子 ..... 黄 辉,孟 平,张劲松,等 (667)
- 新疆天山高寒草原不同放牧管理下的 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> 和 N<sub>2</sub>O 通量特征 ..... 贺桂香,李凯辉,宋 韦,等 (674)

### 景观、区域和全球生态

- 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析 ..... 马明德,马学娟,谢应忠,等 (682)
- 引黄灌区土壤有机碳密度剖面特征及固碳速率 ..... 董林林,杨 浩,于东升,等 (690)
- 自养微生物同化 CO<sub>2</sub> 的分子生态研究及同化碳在土壤中的转化 ..... 吴小红,简 燕,陈晓娟,等 (701)

### 资源与产业生态

- 基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析 ..... 孙玉峰,郭全营 (710)

基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例 ..... 苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等 (718)

### 城乡与社会生态

基于增强回归树和 Logistic 回归的城市扩展驱动力分析 ..... 李春林,刘 淼,胡远满,等 (727)

### 研究简报

陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异 ..... 梁 婷,同延安,林 文,等 (738)

不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响 ..... 刘小勇,李红旭,李建明,等 (746)

长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性..... 王振海,殷秀琴,蒋云峰 (755)

最大可允许填海面积模拟——厦门西海域案例研究 ..... 林琛琛,饶欢欢,刘 岩,等 (766)

### 学术信息与动态

2013 年水文土壤学与自然资源可持续利用国际学术研讨会述评 ..... 张 骁,赵文武 (774)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 252 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 29 \* 2014-02



**封面图说:** 云南松树冠——云南松为松科松属裸子植物,多生长在海拔 1000—3500m 的高山,喜光、耐干旱、耐瘠薄,适应酸性的红壤、黄壤,在其他树种不能生长的贫瘠石砾地或冲刷严重的荒山坡分布,易于天然更新。主要分布于四川西南部、云南、西藏东南部、贵州西部、广西西部,常形成大面积纯林,尤以云南分布最广,故有云南松之称。云南松树高可达 30m,胸径达 1m,树皮呈灰褐色,叶通常 3 针一束,鲜有两针,球果圆锥状卵圆形,种子近卵圆形或倒卵形。树干通直,木质轻软细密,是优质造纸、人造板原料,富含松脂是云南松的重要特点之一。

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/stxb201209041246

林琛琛, 饶欢欢, 刘岩, 李京梅, 江毓武, 彭本荣. 最大可允许填海面积模拟——厦门西海域案例研究. 生态学报, 2014, 34(3): 766-773.

Lin C C, Rao H H, Liu Y, Li J M, Jiang Y W, Peng B R. Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 766-773.

## 最大可允许填海面积模拟 ——厦门西海域案例研究

林琛琛<sup>1</sup>, 饶欢欢<sup>1</sup>, 刘岩<sup>2</sup>, 李京梅<sup>3</sup>, 江毓武<sup>1</sup>, 彭本荣<sup>1,\*</sup>

(1. 福建省海陆界面生态环境重点实验室, 厦门大学环境与生态学院, 厦门 361005;

2. 国家海洋局海洋发展战略研究所, 北京 100860; 3. 中国海洋大学经济学院, 青岛 266100)

**摘要:**填海造地在解决海岸带地区发展空间短缺问题的同时, 严重损害了人类赖以生存和发展的海洋与海岸带生态系统。如何控制大规模填海造地是我国面临的重大课题。构建了估算海湾最大可允许填海造地面积的分析框架和模型。填海造地的各种收益和成本, 包括环境和生态成本被系统地量化并嵌入到框架和模型之中。模型的估算结果可以为实施控制填海造地的约束机制提供科技支撑。利用建立的框架和模型对厦门西海域模拟的结果显示: 当贴现率为 4.5% 时, 厦门西海域最大可允许填海面积是 89.44 hm<sup>2</sup>, 其面积至少应该保持在 44.52 km<sup>2</sup>; 即便是使用 8% 的高贴现率, 最大可允许填海面积也只占规划填海面积的 35.83%; 如果采用更加重视环境与生态效益的低贴现率 2%, 则厦门西海域最大可允许填海面积是 0。

**关键词:**最大可允许填海面积; 最优填海位置; 收益和成本分析; 厦门

## Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China

LIN Chenchen<sup>1</sup>, RAO Huanhuan<sup>1</sup>, LIU Yan<sup>2</sup>, LI Jingmei<sup>3</sup>, JIANG Yuwu<sup>1</sup>, PENG Benrong<sup>1,\*</sup>

1 Joint Key Laboratory of Coastal Study, College of Environment and Ecology Xiamen University, Xiamen 361005, China

2 China Institute for Marine Affairs, State Oceanic Administration, Beijing 100860, China

3 College of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

**Abstract:** While creating useful space for agriculture, industry, and urban development, coastal reclamation damages considerably the marine ecosystems which human-kind depends on. How to control the large-scale coastal reclamation is a great challenge in China. This paper presents an analytical framework and model to estimate the Total Allowable Area for Coastal Reclamation (TAACR) to provide scientific support for the implementation of a coastal reclamation restriction mechanism. Various benefits and costs, including the ecological and environmental costs of coastal reclamation, are systematically quantified in the framework. Model simulations are developed using data from West Sea of Xiamen. The results show that the TAACR in West Sea is 89.44 hm<sup>2</sup> at a discount rate of 4.5%. Area of West Sea must be maintained at a minimum of 44.52 km<sup>2</sup> so that the social well-being can be maximized. Under low discount rate, 2%, the TAACR is zero. Even with high discount rate, 8%, the optimal reclamation area is 157.97 hm<sup>2</sup>, about 35.83% of the total planned area.

**Key Words:** total allowable reclamation; optimal reclamation area; benefit and cost analysis; Xiamen City

基金项目: 国家海洋公益资助项目 (201105006); 国家社会科学基金资助项目 (12BJ064); 福建省自然科学基金资助项目 (No. 2010J01360)

收稿日期: 2012-09-04; 修订日期: 2013-03-04

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: brpeng@xmu.edu.cn

因其高生物生产力和便利的交通条件,海岸带地区一直是人类活动的中心<sup>[1]</sup>。世界大约 40%的人口、一半的生产和消费活动都集中在仅占陆地总面积 10%的海岸带地区<sup>[2]</sup>。所有高人口密度的海岸带地区都面临着发展“空间赤字”问题,填海造地成为海岸带地区人们解决土地短缺问题的共同方式。在岛屿国家如日本、韩国、新加坡等,非岛国家如荷兰、德国、美国等均可观察到大规模填海造地活动<sup>[3]</sup>。填海造地意味着创造了更多的农业、工业和城市发展用地,然而这通常是以损害环境为代价的。海洋转变成陆地使得海洋和海岸带地区的自然属性发生永久性改变,严重破坏了人类赖以生存的海洋与海岸带生态系统<sup>[4-10]</sup>。

从 20 世纪中期开始的大规模填海造地,已经使我国约 1.34 万 km<sup>2</sup>滩涂和浅海成为农业、盐场、海洋养殖、工业和城镇发展用地<sup>[11]</sup>。这导致近 50%的滨海湿地和 73%的红树林丧失,进而引起水生生物栖息地破坏、生物多样性减少和海岸带地区生产力下降,威胁到海岸带地区可持续发展<sup>[12-13]</sup>。

我国目前相关控制填海造地的法律法规的实施效果都不是很理想。2001 年颁布的《中华人民共和国海域使用管理法》第 33 条规定的海域有偿制度为控制填海造地提供了经济刺激手段。但现有的填海造地海域使用金标准偏低影响了其作用的发挥<sup>[14]</sup>;而第 35 条和 36 条关于用海项目海域使用金减免条款限制了经济刺激手段控制政府所实施的大型填海造地项目的功能;第 18 条规定的大型用海项目中央政府审批制度要求面积超过 50 公顷填海项目必须得到国务院批准。在实践中,大型填海造地项目的开发者往往把整个大项目分成若干个小项目来规避中央政府审批制度。1982 年颁布(1999 年修订)的《中华人民共和国海洋环境保护法》第 43 条和 47 条规定海岸工程和海洋工程建设项目,包括填海造地项目必须进行项目环境影响评价(EIA)。项目环境影响评价往往只考虑单一项目的环境影响而没有考虑到所有相关项目的累积环境影响。单一项目对环境的影响往往比较小因而容易通过环境影响评价审查。更为重要的是,大多数的填海造地项目都源于地方政府的发展规划。所以尽管中央政府再三要求严格限制填海造地,沿海省市仍然提出了大量的填海造地计划。

随着新一轮的沿海发展战略的开展<sup>①</sup>,到 2020 年我国还有 5780 km<sup>2</sup>填海造地需求,这无疑将对海洋与海岸带生态环境造成严重影响<sup>[15]</sup>。因此急需探索控制填海造地的有效途径,以协调填海造地需求和海洋与海岸生态系统保护的关系。其中的一种解决方案是建立类似国家耕地保护政策的填海造地“红线制度”<sup>[15]</sup>。填海造地红线制度意味着在充分考虑填海造地的多重收益和成本的基础上,确定每一个具体海湾必须保留的最小海域面积<sup>②</sup>。并以法律法规的形式将这一最小必须保留的海域面积确定下来。任何试图突破所设定的临界值的个人和单位,包括政府,必须首先修改法律。而修改法律这个既困难而又漫长的过程可以有效地控制大规模填海造地。

在海湾要实施填海造地红线制度,关键是在权衡经济发展和环境保护的基础上,估算出该海湾最大可允许的填海造地的面积。论文第二部分构建了估算最大可允许的填海面积的分析框架和模型;第三部分应用建立的方法和模型对厦门西海域最大可允许填海面积进行了研究;结论和讨论包括在论文的第四部分。

## 1 研究方法和模型

### 1.1 基本模型

理论上,估算最大可允许的填海造地的面积的基本思路是直观的。填海造地所形成的土地可用于工农业生产以及城市发展。这些可以促进社会福利的改善,增加社会收益。同时,填海造地涉及到一系列成本,包括环境成本,使得社会福利的减少。从整个社会角度来看,填海造地规划者的目标是通过选取最优的填海造地位置和面积来最大化社会净收益(总收益扣除总成本)。

社会净收益最大化问题可用以下非线性规划模型来描述:

$$\text{Max. } NB = \sum_{i=1}^n [p_i \times f(x_i) - c(x_i)] - \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^m C^k(x_i) \quad (1)$$

① [http://news.xinhuanet.com/local/2009-06/24/content\\_11573216.htm](http://news.xinhuanet.com/local/2009-06/24/content_11573216.htm)

② 考虑到海湾环境比开放海域的环境更加脆弱,所以本论文主要研究海湾最大可允许填海面积

s.t.

$$h_i(x_i) \leq h_i \max \quad (2)$$

式中,  $NB$  表示海岸围海造地的净效益;  $i$  ( $= 1, 2, 3, \dots, n$ ) 代表填海位置;  $p_i$  代表位置  $i$  填海形成的土地上生产的产品的价格;  $f(x_i)$  是位置  $i$  填海形成的土地的生产函数;  $c(x_i)$  是位置  $i$  填海形成的土地生产的成本函数;  $k$  ( $= 1, 2, 3, \dots, m$ ) 代表填海造地成本项;  $C^k(x_i)$  表示位置  $i$  填海第  $k$  种成本的成本函数; 函数  $h_i$  是位置  $i$  填海的约束条件, 如填海规模约束、关键生境面积不减少等。它是关于  $x$  的线性函数。

以上非线性规划问题的最优解,  $x_i^*$  (在位置  $i$  的填海面积), 必须满足 Kuhn-Tucker 条件。但是, Kuhn-Tucker 条件是潜在最优解的必要条件, 而不是全局最优解的充分条件。根据微观经济学一般理论, 填海造地总成本函数以及所有单项成本函数为拟凸函数, 填海造地收益函数为凹函数。这样目标函数是拟凹的。因此, 拉格朗日量 Hessian 矩阵是半负定的, 即存在唯一最大解。

方程 (3) — (6) 列出了所需的 Kuhn-Tucker 条件。

$$p_i \times \frac{\partial f(x_i^*)}{\partial x_i} - \frac{\partial c(x_i^*)}{\partial x_i} - \sum_{k=1}^m \frac{\partial C^k(x_i^*)}{\partial x_i} - \quad (3)$$

$$\lambda_i \frac{\partial h(x_i^*)}{\partial x_i} = 0$$

$$h_i(x_i^*) \leq h_i \max \quad (4)$$

$$\lambda_i h_i(x_i^*) = 0 \quad (5)$$

$$\lambda_i \geq 0 \quad (= 0 \text{ 若 } h_i(x_i^*) < h_i \max) \quad (6)$$

方程 (3) 中是最优性条件, 方程 (4) 是可行性条件, 方程 (5) 是松弛互补条件, 方程 (6) 是非负条件。  $\lambda_i$  是拉格朗日因子, 在经济学理论上被认为代表影子价格。

## 1.2 填海造地收益

在位置  $i$ , 填海造地的收益体现在方程 (1) 的  $[p_i \times f(x_i) - c(x_i)]$  项中。它是填海形成土地上生产的产品的价值与将土地转化为产品的成本之差。在自然资源经济学中, 这一差额是土地的租金或者土地的价格<sup>[16]</sup>。考虑到填海形成土地占现有土地总量的比重较小, 可以合理假定填海形成土地的供给将不会影响现有土地的市场价格。因此填海形成土地的收益可以用相邻的、同类型的土地的市场价格来

代表。

如上所述, 填海土地能够有不同的用途。不同用途的土地价格是不同的。而且, 不同区域的土地价格变化是显著的。如果知道填海形成土地各种用途的权重, 位置  $i$  填海形成土地价格可用方程 (7) 来进行计算:

$$P_i = \sum_{j=1}^{j=J} P_{ij} \times s_{ij} \quad (7)$$

式中,  $j$  ( $= 1, 2, 3, \dots, J$ ) 表示土地利用方式;  $i$  ( $= 1, 2, 3, \dots, n$ ) 代表填海位置;  $P_{ij}$  表示在位置  $i$  中  $j$  使用方式的土地价格;  $s_{ij}$  位置  $i$  填海形成土地  $j$  使用方式的权重。

## 1.3 填海造地成本

填海造地的成本可以分为 4 个部分: (1) 工程成本; (2) 生态系统损害成本; (3) 填海导致泥沙淤积产生的成本; (4) 填海导致周边海域海洋环境容量下降而产生的成本。工程成本是指将被填海域变成可以马上使用的土地而发生的成本, 可通过现场调查或者工程分析来估算。

海岸生态系统为人类提供了各种服务, 比如提供食物和材料, 营养物的存储和循环, 净化内陆淡水系统的污染物, 保护海岸线免遭侵蚀和风暴潮破坏, 调节全球水文和气候, 以及容纳和吸收废弃物等。填海造地将导致被填海域提供这些服务能力的消失, 并对相邻海域及海岸生态系统提供上述服务的能力产生负面影响。估算填海造地对生态系统服务损害时, 必须对海岸生态系统服务价值进行评估。

填海造地将改变海湾水动力条件, 降低海湾纳潮量, 从而将导致航道泥沙淤积的增加, 增加清淤成本。清淤成本可以用来估算填海造地导致淤积而产生的成本。海湾纳潮量减少将降低海湾水体吸收、稀释、溶解污染物的能力。社会必须采取措施提高治理这些污染的能力。增加的污染处理成本可以用以估算因填海造地引起的环境容量下降而产生的成本。

## 1.4 收益和成本的年价值

在中国, 土地价格反映了法律规定的土地最高使用年限的现值。例如, 法律规定商业、住宅和工业用地的最高使用年限分别为 40、70a 和 50a。其他的估算, 例如生态系统损害成本, 通常以年金形式表示。为了能够比较, 论文分别估算了与填海造地有关的收益和成本的年价值。一次性收益 (如土地价

格)和成本使用以下公式转化成成年价值。

$$A = S \frac{(1+r)^n r}{(1+r)^n - 1} \quad (8)$$

式中, $A$  是收益或成本的年价值; $S$  是相关的一次性收益和成本的现值; $r$  是贴现率; $n$  是年限。

一次性发生的填海造地的工程成本( $C^{ENG}$ )在未来几乎无限期时期里将带来收益。相当于公式(8)中的  $n$  趋向于无穷大。所以填海造地工程成本的年价值( $C^{ENGA}$ )计算公式为:

$$C^{ENGA} = C^{ENG} \times r \quad (9)$$

## 2 案例研究

厦门市位于福建省东南,台湾海峡西岸。作为海岸带城市,厦门的社会经济发展和人们福利的改善依赖海洋提供的资源、产品和服务。20 世纪 50 年代以来的大规模填海造地使厦门 125.74 km<sup>2</sup> 的海域变成陆地(截止到 2005 年)。填海造地导致 90% 天然红树林消失,多种生物资源的自然栖息地遭到破坏或改变。填海造地与其他人类活动一起,使得海洋环境质量恶化、水体富营养化和相应的赤潮增加、渔业资源及其他海洋物种下降,以及航道淤积等。严重威胁到厦门的可持续发展。

即使在这种情况下,为应对经济快速发展、人口增长和城市化进程的加快而出现的空间短缺问题,有关部门仍然提出了 20km<sup>2</sup> 的填海计划,其中西海域的 7 个规划填海区(从 WS1 到 WS7)规划填海面积 4.41 km<sup>2</sup>(见图 1,表 1 第 2 列)。西海域位于厦门城市的核心部位,长期以来是厦门社会经济活动的重心。大规模填海造地已经使海域面积从 108km<sup>2</sup> 缩小到 45.41km<sup>2</sup>,纳潮面积减少了 58%<sup>[17]</sup>。厦门迫

切需要研究海湾最大可允许填海造地面积及其位置,在此基础上,寻找有效途径确保各海域最小需要维持的面积,以维护海洋生态系统的健康和恢复力。

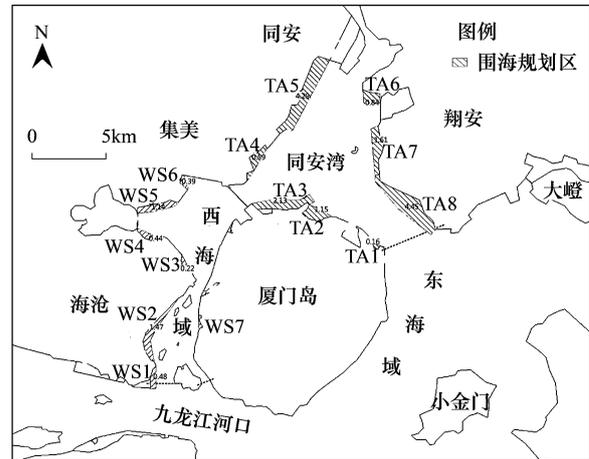


图 1 厦门西海域、同安湾填海规划区域和面积

Fig.1 location and area of planned reclamation in West Sea and Tongan Bay of Xiamen

图中阴影区为围海规划区,数字为规划填海面积(km<sup>2</sup>)

本部分利用建立的模型对厦门西海域最大可允许的填海面积及其位置进行了估算。论文以 20a 长期政府债券利率 4.5% 作为基准社会贴现率<sup>[18-19]</sup>。

### 2.1 填海土地的收益函数

根据规划,厦门西海域填海形成的土地主要是用于商业、工业和基础设施建设。为了建立填海土地的收益函数,本研究调查了与规划填海区域相邻的商业和工业用地的价格(表 1)。填海形成的土地用于商业和工业的比例见表 1。根据调查得到的数据和公式(7)、(8),计算得到各规划的填海区形成土地的加权平均年价格  $P_i^A$ (表 1)。从而填海造地的收益函数为:

$$B_i(x_i) = P_i^A x_i \quad (10)$$

表 1 土地价格和填海造地收益

Table 1 Revenue of reclaimed land

区域 Location	面积 Area <sup>①</sup> /hm <sup>2</sup>	不同使用的比例 Share of different uses <sup>②</sup>		土地价格 Price of land <sup>③</sup> /(元/m <sup>2</sup> )		平均加权价格 Weighted average price ( $P_i^A$ )/(元/m <sup>2</sup> 年)
		商业 Commercial	工业 Industrial	商业 Commercial	工业 Industrial	
WS1	48	0.2	0.8	2950	250	37.95
WS2	147	0.35	0.65	2950	250	56.92
WS3	22	0.45	0.55	2950	250	69.57
WS4	44	0.4	0.6	2950	250	63.25
WS5	114	0.35	0.65	2950	250	56.92
WS6	39	0.4	0.6	2950	250	63.25
WS7	27	0.75	0.25	4150	700	155.66

数据来源:①,② 厦门市发展与改革委员会和厦门市海洋与渔业局;③ 厦门市国土与房地产管理局和实地调查(用于基础设施的土地价格同工业用地价格)

## 2.2 填海土地的成本函数

### (1) 工程成本

根据关于厦门市填海项目的研究<sup>[20-21]</sup>,填海造地的工程成本为 660 元/m<sup>2</sup>。利用公式(9),计算得到工程成本的年价值为 29.7 元/m<sup>2</sup>。因此工程造价的成本函数  $C_i^{ENGA}(x_i)$  是:

$$C_i^{ENGA}(x_i) = 29.7x_i \quad (11)$$

### (2) 生态系统损害成本

关于厦门海洋生态系统服务价值及海洋生态损害评估的研究较多<sup>[22-24]</sup>,但是具体到每个海域的生态系统服务价值的评估尚少。厦门大学海洋与海岸带发展研究院<sup>[25]</sup>对厦门各海域的生态系统进行了识别,并对每一个海区的生态系统服务价值进行了评估(表 2)。填海造地破坏了被填海域提供的所有这些服务。生态系统服务价值的损失是填海造地导致海岸带生态系统损害的成本。从而海岸带生态系统损害的成本函数  $C_i^{ED}(x_i)$  为:

表 2 规划填海区的生态系统服务价值

区域 Location	生态系统服务价值( $e_i$ )/(元·m <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> ) Value of ecosystem services
WS1	9.34
WS2	8.61
WS3	9.46
WS4	9.46
WS5	9.46
WS6	9.46
WS7	9.62

数据来源:厦门大学海洋与海岸带发展研究院<sup>[25]</sup>

表 3 不同填海方案的清淤成本和环境容量价格价值

Table 3 Dredging cost and value of carrying capacity of different reclamation scenarios

情景 Scenarios	方案 Schemes	填海面积 Reclamation area /hm <sup>2</sup>	淤积量 Siltation/m <sup>3</sup>	清淤成本 Dredging cost /10 <sup>4</sup> 元	纳潮量 Tidal volume /10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup>	环境容量价值 Value of environmental carrying capacity /10 <sup>4</sup> 元
1	无填海	0	1528597	4540	416.5	8890.28
2	WS6	39	1534061	4556	414.7	8852.00
3	WS6+WS1	87	1540786	4576	412.5	8804.90
4	WS6+WS1+WS3	109	1543439	4584	411.3	8779.98
5	WS6+WS1+WS3+WS7	136	1546695	4594	409.9	8749.40
6	WS6+WS1+WS3+WS7+WS5	250	1559404	4631	404.1	8625.60
7	WS6+WS1+WS3+WS7+WS5+WS4	294	1563642	4644	402.3	8587.17
8	WS6+WS1+WS3+WS7+WS5+WS4+WS2	441	1578295	4688	396.4	8460.38

①厦门海域每天有 2 个潮周期

②资料来源:厦门市港务局

$$C_i^{ED}(x_i) = e_i x_i \quad (12)$$

其中, $e_i$ 是表 2 第 2 列所列的生态系统服务价值。

### (3) 环境容量下降和淤积成本

福建海洋研究所和海洋环境科学国家重点实验室(厦门大学)<sup>[26]</sup>建立了厦门湾的水动力、泥沙沉积物以及水质模型。利用这一模型可以模拟各种填海造地方案及其组合造成的泥沙淤积和纳潮量的变化。填海造地方案的组合是根据填海土地需求的先后顺序以累积叠加的形式设计的(表 3)。通过模型估算得到的不同填海方案下每年航道泥沙淤积量和每个潮周期<sup>①</sup>的纳潮量结果见表 3。

厦门航道清淤的平均成本是 29.7 元/m<sup>3</sup><sup>②</sup>。以单位成本乘以泥沙淤积量,可得到不同填海方案下的清淤成本(表 3)。不同填海方案下的环境容量的价值用下列公式计算,计算结果见表 3:

$$V = 365 \times 2 \times \Delta c \times v \times c \quad (13)$$

式中, $\Delta c$ 是西海域内部和外部 COD 的浓度差( $\Delta c$ 的值是 0.035mg/L<sup>[27]</sup>); $v$ 是纳潮量; $c$ 是去除 COD 的单位成本( $c = 4300$  元/t<sup>[28-29]</sup>)。

使用表 3 的成本估算的结果,运用普通最小二乘法对边际成本函数进行估计。

$$\frac{\Delta C}{\Delta x} = a \times x + b \quad (14)$$

$$\frac{dC^{dc}}{dx} = 0.288x + 2.91 \quad (R^2 = 0.97) \quad (15)$$

$$(t = 13.06 \text{ } P < 0.001) \quad (1.71, P < 0.1)$$

$$\frac{dC^{ecc}}{dx} = 0.839x + 5.995 \quad (R^2 = 0.99) \quad (16)$$

$$(t = 31.02 \quad P < 0.001) \quad (2.88, \quad P < 0.05)$$

方程(14)是边际成本函数的一般形式。 $\Delta C$ 表示增加的清淤成本或因环境容量下降的增加的清淤成本; $\Delta x$ 代表填海面积的增加。方程(15)和(16)分别是泥沙淤积边际成本函数和环境容量减少的边际成本函数。

### 2.3 最大可允许填海面积及位置

将前文得到的填海造地收益和成本方程的信息带入模型(1),并设计 GAMS 程序来求解模型(1)的填海造地净收益最大化问题。其中约束条件方程

(4) $h_i \max$  是每个区域的规划填海面积(表1)<sup>①</sup>。结果表明在贴现率为 4.5%时西海域最大可允许填海面积是 89.44  $\text{hm}^2$ (表4)。此最优面积占规划的填海面积的 20.28%。也就是西海域面积必须至少维持在 44.52  $\text{km}^2$ 才能达到社会净收益的最大化。这意味着从整个社会角度来看,现有的填海规划经济效率是低下的。

最优的填海位置和填海面积如表4所示。结果表明,在 WS1 区域填海造地是不可行的,WS2 和 WS5 区最大填海面积必须控制在规划填海面积的 8%以下。

表4 估算结果和敏感性分析

Table 4 Estimation results and sensitive analysis

区域 Location	规划面积/ $\text{hm}^2$ Planned area	最大可允许填海面积 Optimal reclamation area / $\text{hm}^2$		
		4.5%	8%	2%
WS1	48	0	0	0.00
WS2	147	8.6	23	0.00
WS3	22	19.07	22	0.00
WS4	44	13.46	31.86	0.00
WS5	114	7.85	22.25	0.00
WS6	39	13.46	31.86	0.00
WS7	27	27	27	0.00
合计	441	89.44	157.97	0.00

为检查不同贴现率下最大可允许填海面积的变化,论文分别使用 2%和 8%两个贴现率进行了敏感性分析。如表4的第4列和第5列所示,分析结果对贴现率非常敏感。在 2%的低贴现率下,最大可允许填海面积为 0。在 8%的高贴现率下,最大可允许填海面积是 157.97 $\text{hm}^2$ 。由于海洋生态系统提供的服务分布的时间较长,这些环境效益是下一代以及下好几代人了利益。使用较低的社会贴现率更能体现下一代人的利益。所以在制定填海造地规划时应该采用较低的社会贴现率。同时需要指出的是,即使使用较高的贴现率 8%,最优填海面积也只占规划面积的 35.82%。西海域的面积必须至少维持在 43.83  $\text{km}^2$ 。

### 3 结论和讨论

填海造地在为农业、工业和城市发展创造有用

空间的同时,永久性改变了海洋和海岸环境的自然属性,损害了人类赖以生存和发展的海洋生态系统。决策者必需仔细权衡短期利益(满足土地需求)与长期利益(确保海洋和海岸带生态系统可持续利用)二者之间的关系。通过估算最大可允许填海面积及其位置,可以找到既能够满足当前社会经济发展的需要又可以维持海岸生态系统的健康和恢复力的解决方案。论文构建的分析框架和模型涵盖了填海造地的多重利益及成本部分。从整个社会角度出发来考虑社会净福利,在分析框架中同时包含填海造地多种用途和环境生态效应、内部效应和外部效应是十分必要的。

估算结果显示当贴现率为 4.5%,厦门西海域最大可允许填海面积是 89.44 $\text{hm}^2$ 。即便是使用 8%的高贴现率,最大可允许填海面积也只占规划填海面积的 35.83%。如果采用低贴现率 2%,则最大可允许填海面积是 0。为了保持海岸生态系统为人类提供各种服务的能力,厦门市应重新审视目前的填海造地规划,使西海域面积至少 44.52  $\text{km}^2$ 。采用 2%

①规划的填海区避开了环境敏感区,所以没有关键生境面积约束

的低贴现率意味着更加重视长期的环境效益和后代的利益。因此政府决策时要尽可能采用低贴现率。

需要指出的是,由于数据的缺乏,填海造地的某些成本,如填海造地对相邻海岸生态系统服务造成的损害、填海造地导致环境容量减少造成的其他污染物(如氮、磷等营养盐)处理成本增加等,在经验估计中没有被包括。而海洋营养盐污染是我国近岸海域面临的严重环境问题之一。所以估算出来的最大可允许填海面积是能够填海的最大值。

虽然本研究是以厦门为案例,但是论文提出的分析框架和模型可适用于其他区域,也适用于不同规模填海造地方案的评估。最后需注意的是,模型估算出的最大可允许填海面积,或者最小必须保持的海域面积,必须通过法律规定下来,使之成为填海造地红线制度的一部分。这样才能确保填海造地得到有效控制。

#### References:

- [ 1 ] World Resources Institute ( WRI ). Pilot Analysis of Globe Ecosystems: Coastal Ecosystems. Washington: WRI Publication, 2001.
- [ 2 ] Pernetta J, Elder D. Cross-Sectoral, Integrated Coastal Area Planning ( CICIPAP ): Guidelines and Principle for Coastal Area Development. Gland: IUCN, 1993.
- [ 3 ] United Nations Atlas of the Oceans ( UNAOO ) ( 2006 ) Land reclamation by the coast. [ 2012- 02- 04 ]. <http://www.oceansatlas.org/servlet/CDSServlet?status=ND0xODAwOCY2PWVUjMzPSomMzc9a29z>.
- [ 4 ] Xia Z, Jia P H, Lei Y, Chen Y Z. Dynamics of coastal land use patterns of inner Lingdingyang bay in the Zhujiang river estuary. *Chinese Geographical Science*, 2007, 17(3): 222-228.
- [ 5 ] Hoeksema R J. Three stages in the history of land-reclamation in the Netherlands. *Irrigation and Drainage*, 2007, 56 ( S1 ): S113-S126.
- [ 6 ] Airoldi L, Beck M W. Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe. *Oceanography and Marine Biology*, 2007, 45: 345-405.
- [ 7 ] Halpern B S, Walbridge S, Selkoe K A, Kappel C V, Micheli F, D'Agrosa C, Bruno J F, Casey K S, Ebert C, Fox H E, Fujita R, Heinemann D, Lenihan H S, Madin E M P, Perry M T, Selig E R, Spalding M, Steneck R, Watson R. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 2008, 319 ( 5865 ): 948-952.
- [ 8 ] Editorial M, Cutts N D. Marine habitats: loss and gain, mitigation and compensation. *Marine Pollution Bulletin*, 2004, 49(9/10): 671-674.
- [ 9 ] Li T H, Peng H, Zhao Z J. Impact analysis of coastal engineering projects on mangrove wetland area change with remote sensing. *China Ocean Engineering*, 2008, 22(2): 347-358.
- [ 10 ] Zhang Q, Xu C Y, Chen Y D. Wavelet-based characterization of water level behaviors in the Pearl River estuary, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2010, 24(1): 81-92.
- [ 11 ] Fu Y B, Cao K, Wang F, Zhang F S. On the quantitative evaluation method of intensity and potential of reclamation. *Ocean Development and Management*, 2010, 27(1): 27-30.
- [ 12 ] State Oceanic Administration ( SOA ). Bulletin of China's Marine Environmental Quality 2002. Beijing, 2003.
- [ 13 ] GEF/UNDP/IMO Regional Programmer on Partnerships in Environmental Management for the Seas of East Asia ( PEMSEA ). The Development of National Coastal and Marine Policies in the People's Republic of China: A Case Study. Printed in Quezon City, 2003.
- [ 14 ] Peng B R, Chen W Q, Hong H S. Integrating ecological damages into the user charge for land reclamation: a case study of Xiamen, China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 2011, 25(3): 341-351.
- [ 15 ] Task Force of the China Council for International Cooperation on Environment and Development ( CCICED ). Ecosystem Issues and Policy Options addressing the Sustainable Development of China's Ocean and Coast. Beijing: China Environmental Science Press, 2012: 30,50.
- [ 16 ] Hartwick J N, Olewiler N D. The Economics of Natural Resource Use. 2nd ed. New York: Addison-Wesley, 1997.
- [ 17 ] Zhang L P, Chen W, Fang Q. Retrospective Assessment of Environmental Impact of Reclamation Planning in Bays of Fujian Province. Beijing: Science Press, 2008:40.
- [ 18 ] MPP-EAS ( Regional Program for the Prevention and Management of Marine Pollution in the East Asian Seas ). Socioeconomic Assessment Framework and Guidelines for Integrated Coastal Management. Quezon: Philippines: MPP-EAS/info/99/199. GEF/UNDP/IMO, 1999.
- [ 19 ] Environment Protection Agency ( EPA ). Guidelines for Preparing Economic Analyses. EPA 240-R-00-003. 2000.
- [ 20 ] 4th Institute of Navigational Engineering Exploration and Design, Ministry of Communication ( 4th INEED ). Feasibility Research Report of Xiangyu Free Trade Zone ( second phase ) Project. Xiamen, 2002.
- [ 21 ] Panning and Design Research Institute of Navigational Bureau of Yangtze River ( PDRINBYR ). Feasibility Research Report of Removing Silt and Shoreline Treatment Project in Seas Around Xiamen Bridge. Xiamen, ( 2003 ).
- [ 22 ] Peng B R, Hong H, Chen W Q, Xue X Z, Cao A X L, Peng J P. Ecological damage appraisal of sea reclamation: Theory, method and application. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(5): 714-726.
- [ 23 ] Li J M, Liu T Y. The key points and empirical analysis of the reclamation's exterior ecology cost compensation. *Ecological Economy*, 2010, (3): 143-146.
- [ 24 ] Peng B R, Hong H. Valuation of Coastal Ecosystem Services: Theory and Application. Beijing: Ocean Press, 2006: 155-158.
- [ 25 ] Coastal and Ocean Management Institute, Xiamen University ( COMI ). The Compensation Standard of Ecological Damage in

- Sea Area Use and Implementation Scheme in Xiamen. Xiamen, 2012.
- [26] Fujian marine institute and the State Key Laboratory of Marine Environmental Science (Xiamen University). Study on the total quantity control of sea reclamation in West Sea and Tongan Bay of Xiamen. Xiamen, 2006.
- [27] Xiamen Environmental Protection Bureau (EPB). Xiamen Environmental State Report 2006. Xiamen, 2007.
- [28] Third Institute of Oceanography, State Oceanic Administration (TIO). Study on the Environmental Carrying Capacity of Xiamen Seas. Xiamen, 1995.
- [29] Chen W Q, Zhang L P, Hong H S, Xue X Z. A preliminary study on evaluation of coastal sea water environmental capacity. Journal of Xiamen University: Natural Science, 1999, 38(6): 896-901.
- 参考文献:**
- [11] 付元宾, 曹可, 王飞, 张丰收. 围填海强度与潜力定量评价方法初探. 海洋开发与管理, 2010, 27(1): 27-30.
- [12] 国家海洋局. 2002 年中国海洋环境质量公报. 北京, 2003. (请核对本条文献格式)
- [15] 中国海洋可持续发展的生态环境问题与政策研究课题组. 中国海洋可持续发展的生态环境问题与政策研究. 北京: 中国环境科学出版社, 2012: 30-50.
- [17] 张璐平, 陈伟琪, 方秦华. 福建省海湾围填海规划环境影响回顾性评价. 北京: 科学出版社, 2008: 40-40.
- [20] 中交第四航务工程勘察设计院. 厦门象屿保税区二期工程可行性研究报告. 厦门, 2002. (请核对本条文献格式)
- [21] 长江航道规划设计研究院. 厦门大桥东侧海域清淤及岸线整治(嘉庚广场)工程可行性研究报告. 厦门, 2003. (未链接到本条信息, 请核对)
- [22] 彭本荣, 洪华生, 陈伟琪, 薛雄志, 曹秀丽, 彭晋平. 填海造地生态损害评估: 理论、方法及应用研究. 自然资源学报, 2005, 20(5): 714-726.
- [23] 李京梅, 刘铁鹰. 填海造地外部生态成本补偿的关键点及实证分析. 生态经济, 2010, (3): 143-146.
- [24] 彭本荣, 洪华生. 海岸带生态系统服务价值评估理论与应用研究. 北京: 海洋出版社, 2006: 155-158.
- [25] 厦门大学海洋与海岸带发展研究院(COMI). 厦门海洋生态损害补偿/赔偿标准及实施方案. 厦门, 2012. (未链接到本条信息, 请核对)
- [26] 福建海洋研究所, 近海海洋环境国家重点实验室(厦门大学). 厦门西海域及同安湾海域面积(围填海)总量控制研究报告. 厦门, 2006. (未链接到本条信息, 请核对)
- [27] 厦门市环境保护局. 2006 年厦门环境状况公报. 厦门, 2007. (请核对本条文献格式)
- [28] 国家海洋局第三海洋研究所. 厦门海域环境容量研究. 厦门, 1995. (未链接到本条信息, 请核对)
- [29] 陈伟琪, 张璐平, 洪华生, 薛雄志. 近岸海域环境容量的价值及其价值量评估初探. 厦门大学学报: 自然科学版, 1999, 38(6): 896-901.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34 ,No.3 Feb. ,2014( Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

- Research advances and prospects of post-disaster ecological restoration assessment .....  
..... LIU Xiaofu, WANG Wenjie, LI Jing, et al ( 527)
- The sustainability analysis of small hydropower plants in China based on ecological energetic accounting .....  
..... PANG Mingyue, ZHANG Lixiao, WANG Changbo ( 537)

**Autecology & Fundamentals**

- An ecological study on zooplankton in the northern Beibu Gulf V: the effects of microzooplankton grazing on phytoplankton in  
summer ..... MA Lu, CAO Wenqing, ZHANG Wenjing, et al ( 546)
- Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Silurus asotus* and *Clarias fuscus* .....  
..... FAN Xiaoli, LIN Zhihua, DING Xianlong, et al ( 555)
- Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*) .....  
..... LIN Lin, CAO Mengting, HU Yilin, et al ( 564)
- Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings .....  
..... HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al ( 572)
- Enzymatic activity during phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon impacted soil .....  
..... ZHU Fan, HONG Xiangqi, YAN Wende, et al ( 581)
- Assessment of karst groundwater vulnerability in Chongqing based on revised RISKE model .....  
..... WEI Xingping, PU Junbing, ZHAO Chunyong ( 589)
- Monitoring salt and water dynamics in farmland and drainage ditch in a saline environment under reduced drainage intensity .....  
..... PAN Yanxin, LUO Wan, JIA Zhonghua, et al ( 597)

**Population, Community and Ecosystem**

- Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in degraded alpine grassland  
..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang, ZHUO MA Lancao ( 605)
- Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* ( Col.: Chrysomelidae) .....  
..... LIU Yufang, LI Fei, GUI Fangyan, et al ( 613)
- Characteristics of phytoplankton community in the northern South China Sea in summer and winter ..... MA Wei, SUN Jun ( 621)
- The amount and dynamics of litterfall in the natural secondary forest in Mopan Mountain .....  
..... FAN Chunnan, GUO Zhongling, ZHENG Jinping, et al ( 633)
- Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere .....  
..... LIU Fangchun, XING Shangjun, MA Hailin, et al ( 642)
- The basic principle of random forest and its applications in ecology: a case study of *Pinus yunnanensis* .....  
..... ZHANG Lei, Wang Linlin, ZHANG Xudong, et al ( 650)
- Quantitative analysis of driving factors for wetland degradation based on hydrology balance .....  
..... HOU Peng, SHEN Wenming, WANG Qiao, et al ( 660)
- Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China .....  
..... HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al ( 667)
- The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang .....  
..... HE Guixiang, LI Kaihui, SONG Wei, et al ( 674)

**Landscape, Regional and Global Ecology**

- Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression (PLS) ..... MA Mingde, MA Xuejuan, XIE Yingzhong, et al (682)
- Profile distribution patterns of soil organic carbon and the rate of carbon sequestration in Ningxia Irrigation Zone ..... DONG Linlin, YANG Hao, YU Dongsheng, et al (690)
- Molecular mechanism on carbon dioxide assimilation of autotrophic microorganism and carbon translocation in agricultural soils ..... WU Xiaohong, JIAN Yan, CHEN Xiaojuan, et al (701)

**Resource and Industrial Ecology**

- Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach ..... SUN Yufeng, GUO Quanying (710)
- Assessing synthetic carrying capacity based on AD-AS model: a case study in Coastal Zone, Zhoushan ..... SU Panpan, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (718)

**Urban, Rural and Social Ecology**

- Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression ..... LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (727)

**Research Notes**

- Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi ..... LIANG Ting, TONG Yan'an, LIN Wen, et al (738)
- The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area ..... LIU Xiaoyong, LI Hongxun, LI Jianming, et al (746)
- Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China ..... WANG Zhenhai, YIN Xiuqin, JIANG Yunfeng (755)
- Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China ..... LIN Chenchen, RAO Huanhuan, LIU Yan, et al (766)

# 《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 3 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 3 (February, 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