

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

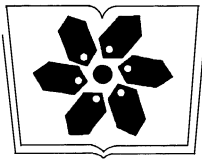
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第18期 Vol.32 No.18 **2012**

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 32 卷 第 18 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

亚热带典型树种对模拟酸雨胁迫的高光谱响应.....	时启龙,江 洪,陈 健,等 (5621)
珠江三角洲地面风场的特征及其城市群风道的构建.....	孙 武,王义明,王越雷,等 (5630)
粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态.....	区余端,苏志尧 (5637)
四种猎物对南方小花蝽生长发育和繁殖的影响.....	张昌容,鄧军锐,莫利锋 (5646)
普洱季风常绿阔叶林次生演替中木本植物幼苗更新特征.....	李帅锋,刘万德,苏建荣,等 (5653)
喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多度与丰富度空间分布的尺度效应.....	张忠华,胡 刚,祝介东,等 (5663)
格氏栲天然林土壤养分空间异质性.....	苏松锦,刘金福,何中声,等 (5673)
种植香根草对铜尾矿废弃地基质化学和生物学性质的影响.....	徐德聪,詹 婧,陈 政,等 (5683)
灌溉对三种荒漠植物蒸腾耗水特性的影响.....	单立山,李 毅,张希明,等 (5692)
真盐生植物盐角草对不同氮形态的响应.....	聂玲玲,冯娟娟,吕素莲,等 (5703)
鹿泉沟自然保护区寒温性针叶林演替优势种格局动态分析.....	张钦弟,毕润成,张金屯,等 (5713)
不同水肥条件下 AM 真菌对丹参幼苗生长和营养成分的影响.....	贺学礼,马 丽,孟静静,等 (5721)
垄沟覆膜栽培冬小麦田的土壤呼吸.....	上官宇先,师日鹏,韩 坤,等 (5729)
不同方式处理牛粪对大豆生长和品质的影响.....	郭立月,刘雪梅,战丽杰,等 (5738)
基于大气沉降与径流的乌鲁木齐河源区氮素收支模拟.....	王圣杰,张明军,王飞腾,等 (5747)
基于能值理论的循环复合农业生态系统发展评价——以福建省福清星源循环农业产业示范基地为例.....	钟珍梅,翁伯琦,黄勤楼,等 (5755)
低温暴露和恢复对棘胸蛙雌性亚成体生存力及能量物质消耗的影响.....	凌 云,邵 晨,颜志刚,等 (5763)
暗期干扰对棉铃虫两个不同地理种群滞育抑制作用的比较.....	陈元生,涂小云,陈 超,等 (5770)
水土流失治理措施对小流域土壤有机碳和全氮的影响.....	张彦军,郭胜利,南雅芳,等 (5777)
不同管理主体对泸沽湖流域生态系统影响的比较分析.....	董仁才,苟亚青,李思远,等 (5786)
连江鱼类群落多样性及其与环境因子的关系.....	李 捷,李新辉,贾晓平,等 (5795)
溶氧水平对鲫鱼代谢模式的影响.....	张 伟,曹振东,付世建 (5806)
象山港人工鱼礁区的网采浮游植物群落组成及其与环境因子的关系.....	江志兵,陈全震,寿 鹿,等 (5813)
填海造地导致海湾生态系统服务损失的能值评估——以套子湾为例.....	李睿倩,孟范平 (5825)
城市滨水景观的视觉环境质量评价——以合肥市为例.....	姚玉敏,朱晓东,徐迎碧,等 (5836)
专论与综述	
生态基因组学研究进展.....	施永彬,李钧敏,金则新 (5846)
海洋酸化生态学研究进展.....	汪思茹,殷克东,蔡卫君,等 (5859)
纺锤水蚤摄食生态学研究进展.....	胡思敏,刘 胜,李 涛,等 (5870)
河口生态系统氨氧化菌生态学研究进展.....	张秋芳,徐继荣,苏建强,等 (5878)
嗜中性微好氧铁氧化菌研究进展.....	林超峰,龚 骏 (5889)
典型低纬度海区(南海、孟加拉湾)初级生产力比较.....	刘华雪,宋星宇,黄洪辉,等 (5900)
植物叶片最大羧化速率及其对环境因子响应的研究进展.....	张彦敏,周广胜 (5907)
中国大陆鸟类栖息地选择研究十年.....	蒋爱伍,周 放,覃 玥,等 (5918)
研究简报	
孵化温度对赤链蛇胚胎代谢和幼体行为的影响.....	孙文佳,俞 霄,曹梦洁,等 (5924)
不同培肥茶园土壤微生物量碳氮及相关参数的变化与敏感性分析.....	王利民,邱珊莲,林新坚,等 (5930)
施肥对两种莧菜吸收积累镉的影响.....	李凝玉,李志安,庄 萍,等 (5937)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-09



封面图说: 冬天低空飞翔的丹顶鹤——丹顶鹤是鹤类中的一种,因头顶有“红肉冠”而得名。是东亚地区特有的鸟种,因体态优雅、颜色分明,在这一地区的文化中具有吉祥、忠贞、长寿的象征,是传说中的仙鹤,国家一级保护动物。丹顶鹤具备鹤类的特征,即三长——嘴长、颈长、腿长。成鸟除颈部和飞羽后端为黑色外,全身洁白,头顶皮肤裸露,呈鲜红色。丹顶鹤每年要在繁殖地和越冬地之间进行迁徙,只有在日本北海道等地是留鸟,不进行迁徙,这可能与冬季当地人有组织地投喂食物,食物来源充足有关。

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

DOI: 10.5846/stxb201108031137

李睿倩, 孟范平. 填海造地导致海湾生态系统服务损失的能值评估——以套子湾为例. 生态学报, 2012, 32(18): 5825-5835.

Li R Q, Meng F P. Emergy appraisal on the loss of ecosystem service caused by marine reclamation: a case study in the Taozi Bay. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5825-5835.

填海造地导致海湾生态系统服务损失的能值评估 ——以套子湾为例

李睿倩, 孟范平*

(中国海洋大学环境科学与工程学院, 青岛 266100)

摘要: 评价填海造陆导致的海湾生态系统服务价值损失成为海洋资源配置和调控沿海经济发展与环境保护的重要手段。运用能值分析方法, 结合海湾生态系统特点, 针对填海工程造成的供给、调节、文化、支持 4 类生态系统服务损失构建了能值估算模型, 并以烟台套子湾填海工程为例, 分析了该湾生态系统服务的损失情况。结果表明, 该湾供给服务损失最大, 全部生态系统服务年能值损失为 3.32×10^{24} sej/a, 海域使用年限内 (50a) 的能值货币价值损失总计 2.28×10^{14} 元, 单位面积的能值货币价值损失 1.73×10^{12} 元/hm², 远远高于依据现行的生态补偿评估方法计算的结果。该能值模型对生态系统服务损失的评价更为客观合理, 适用范围较广, 为完善控制填海活动的经济体制建设、促进沿海区域的可持续发展提供依据。

关键词: 填海造地; 生态系统服务; 损失评估; 能值; 套子湾

Emergy appraisal on the loss of ecosystem service caused by marine reclamation: a case study in the Taozi Bay

LI Ruiqian, MENG Fanping*

College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

Abstract: It is an important method to evaluate the loss of marine ecosystem service caused by marine reclamation from the sea, in order to allocate marine resources and regulate development of coastal economy and environmental protection. The traditional method of economic evaluation has some shortcomings, such as partially stressing the loss of economic benefit and ignoring the characteristics of ecosystem service including public goods properties, ineradicable externalities and difficulty of monetization for non-market part. These shortcomings will be modified by the emergy analysis which could illustrate the real wealth of ecosystem service by standardizing and accounting the energy and materials invested directly and indirectly from both natural environment and human society. In the present study, emergy estimating model was developed and based on the structural and functional characteristics of gulf ecosystem to evaluate the loss of ecosystem service caused by marine reclamation, which includes 4 categories of ecosystem function in detail such as Provision (i. e. food production, raw materials), Regulation (i. e. climate regulation, waste treatment, disturbance regulation), Support (i. e. nutrient cycling, biodiversity support) and Culture (i. e. research & education, tourism & recreation). The marine reclamation in the Taozi Bay, Yantai City, was presented as a case in the paper, which includes the fishing port project of Yantai Development Zone and the first and second phase projects of Dayu Shipyard. Results showed that the total loss of functional service was 3.32×10^{24} sej per year, and the loss summarized by emdollar value was 2.28×10^{14} yuan during the whole lifetime (50 years) of sea area utilization, and the average loss of emdollar value was 1.73×10^{12} yuan per hectare. The

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项经费项目 (201005012)

收稿日期: 2011-08-03; 修订日期: 2012-05-17

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fanpingm@tom.com

functional category of provision absolutely dominated the loss due to high intensification and solar transformation of the shellfish culture in original waters, followed by supporting service, regulating service and cultural service. In detail, the direct loss of emdollar value of food production was about 4.56×10^{12} yuan per year in specific sub-function category, and the loss of biodiversity support and disturbance regulation was about 5.39×10^7 yuan per year and 1.58×10^7 yuan per year, respectively. The estimated emdollar value was significantly higher than the ecological compensation results 1.41×10^7 yuan according to the "Construction Projects on the Marine Biological Resources Impact Assessment Technical Regulations", which demonstrated that the current ecological compensation method underestimated the total loss of ecosystem service and partially reflected the effect of marine reclamation on gulf ecosystem. It is urgent to improve the evaluation method in order to effectively inhibit the unrestricted reclamation and protect the gulf environment. The successful evaluation in the case using the emergy model demonstrated some advantages. Firstly, it is capable of supporting the cumulative impact assessment at both the temporal and spatial scales. Secondly, it can be used to compare the emdollar value with the current monetary result based on the traditional economic valuation method. Thirdly, it has a wide application to evaluate the ecological cost happened in various sea-related construction projects, such as port, scenic spot, oil platform. Therefore, the compensation for utilization of offshore environmental resource, economic institution-building for reclamation control and sustainable development in coastal regions would be evaluated scientifically. However, the model still need to be improved in some aspects including the reasonable selection and calculation of solar transformation, the evaluation method of cultural service loss, and the dynamic simulation of the service loss before and after reclamation.

Key Words: reclamation; ecosystem service; damage assessment; emergy; Taozi Bay

填海造陆是缓解沿海地区土地资源性和结构性短缺问题的有效手段,但是大规模填海活动使海域性质改变,导致滨海生态系统服务损失等一系列负面影响。如何对此造成的生态代价合理量化,实现全面的成本核算逐渐成为研究热点。近年来,不少学者基于 Robert Costanza 等^[1]提出的全球生态系统服务功能的单位价值成果,将直接市场法、替代市场法和假想市场法等货币化评估方法及地理信息系统 (Geographic Information System, GIS)、数值模拟等手段引入到围填海生态损失计算中^[2-10],建立了生态环境成本估算模型,为征收生态补偿等费用提供了理论支持。但是,这种货币化评估方法片面强调经济效益损失,忽视了生态系统服务具有的公共物品属性、不可消除的外部性及非市场部分难以货币化等限制因素^[11],无法体现项目用海造成的海域生态系统服务损失的真实价值,使得评估结果缺乏客观性。

美国生态学家 H. T. Odum 提出的能值理论和方法以能量作为共同的评价标准,使环境贡献与经济贡献具有一个相同的基础^[12],一般以太阳能值 (solar emergy, 单位用 sej 表示) 为基础,充分考虑了无法货币化的自然资源对生态系统的重要作用、不同种类能量之间等级和质的差异性、价格受市场影响产生波动等问题,实现了生态环境系统与人类社会经济系统有机结合^[13-14]。因此,运用能值法估算填海导致的生态系统服务损失将能客观评判人为活动干扰对自然系统的影响及不同类型服务变化的真实价值,为建设项目用海生态补偿等机制的建立提供科学方法,从而运用合理的经济手段引导近海环境资源的开发与保护,促进滨海生态环境与社会经济的协调发展。

为此,本文以烟台市套子湾填海工程为例,基于能值理论和方法建立了定量评价填海活动造成的海湾生态系统服务 (供给、调节、文化、支持) 损失的模型,以便为确定合理的用海生态补偿费用及海洋管理部门决策提供科学依据。

1 套子湾海域及填海工程概况

套子湾位于山东半岛北部,海湾呈“耳”形嵌于海岸。湾口朝北敞开,西起蓬莱市境内的初家龙洞咀 ($37^{\circ}41'55''\text{N}$, $121^{\circ}08'54''\text{E}$)、东至芝罘岛西北角 ($37^{\circ}37'40''\text{N}$, $121^{\circ}19'28''\text{E}$), 口门宽度 19 km, 总面积 184 km², 全湾平均水深 12 m, 最大水深 20 m。海湾岸滨为沙滩, 岸线长 44.2 km, 沿岸沙堤连续分布, 西部海域近岸处礁

石簇生。套子湾潮间带和浅海区域的生物种类多样,渔业资源较丰富,浅海养殖以贝类为主。

自 2005 年以来,烟台开发区渔港发展有限公司和大宇造船海洋(山东)有限公司(DSME SHANDONG CO., LTD, DSSC)相继在套子湾西侧、东岛咀南侧通过填海完成了烟台开发区渔港工程(以下简称工程 A)和大宇造船厂一期、二期工程(以下简称工程 B)的建设(图 1),项目用海符合《烟台市海洋功能区划》对工程海域的功能定位(即“渔港区兼顾临港工业区”)。其中,工程 A 填海 60.544 hm²,工程 B 填海 71.226 hm²,合计 131.77 hm²。建设期产生 SS 的施工作业主要是基槽挖泥和陆域回填。根据 2 个项目的海洋环境影响报告书,表 1 中列出了与填海活动有关的信息。

另外调查发现,项目填海区域不属于滩涂区域,无芦苇、米草等大型植物生长,海水中也无大型海藻分布,初级生产力主要来自微藻。

2 数据来源

本研究的原始数据主要来源于两方面:

文献研究 通过文献查阅与分析,构建填海造陆导致的海湾生态系统服务损失的能值估算模型并选取太阳能值转化率。

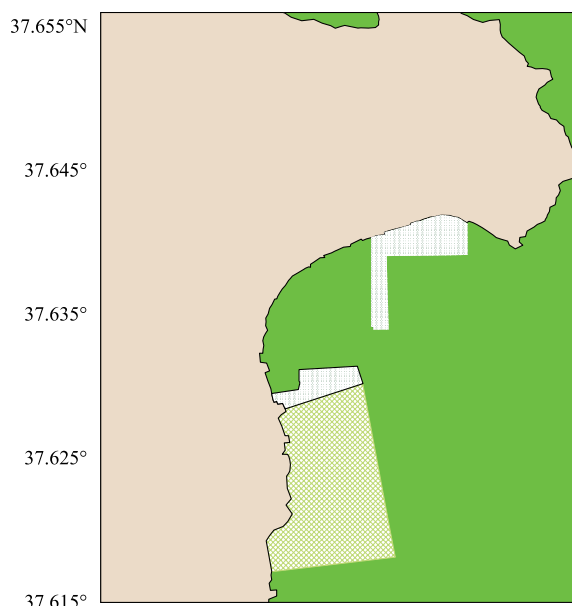


图 1 烟台开发区渔港工程和大宇造船厂工程地理位置图

Fig. 1 Location of Yantai Development Area Fishery Port Project & DSSC project

表 1 两个工程的填海信息

Table 1 Information on two marine reclamation projects

工程类别 Project category	工程 A Project A	工程 B Project B	合计 Total
填海造地面积 Reclamation area/hm ²	60.544	71.226	131.77
海水平均深度 Average depth /m	2.0	3.0	—
SS 超海水二类标准的面积 * Area of SS over marine water quality standard II /hm ² *	82.7	68.3	151
占用原始岸线长度 Occupied length of original coastline/m	1823	1130	2953

* 扣除填海造地的面积

实例数据 来自烟台统计年鉴、政府公告、中国海湾志、八角渔港及大宇造船海洋(山东)有限公司各项填海工程海洋环境影响报告书等。

3 能值损失的价值评估方法

3.1 供给服务功能的能值损失

海湾生态系统供给服务功能包括食品供给和原材料生产两方面。前者主要来源为渔业捕捞和滨海养殖;后者指矿材、建筑、医药和化工原料以及装饰材料等的生产。

3.1.1 食品供给服务方面的能值损失

填海活动可通过两个方面影响海域的食品供给服务功能,即填海占用了原有水产品养殖区或捕捞区部分面积和通过施工作业产生悬浮物 SS 间接导致浮游动物(含鱼卵和仔稚鱼)的死亡。

(1) 填海直接引起食品供给服务损失的能值估算

该部分能值损失以填海项目占用的养殖区和捕捞区面积、单位面积年产量为关键参数进行计算:

$$E_{11} = \sum_{i=1}^4 (A_i \times D_i \times k \times u \times 4186 \times Tr_{Bi}) \quad (1)$$

式中, E_{11} 为因填海直接引起食品供给服务损失的能值 (sej/a); A_i 为填海占用某类经济生物养殖面积或捕捞区面积 (m^2); D_i 为某经济生物单位面积年产量 ($\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{a}$); k 为海洋生物的干重比例, 一般取 $0.2^{[15]}$; u 为动物标准热值 (kJ/g), 取 $4 \times 4.186 \text{ kJ}/\text{g}^{[15]}$; Tr_{Bi} 为各生物的能值转换率 (sej/J)。

(2) 填海间接引起食品供给服务损失的能值估算

填海作业不可避免地造成周围海域的 SS 浓度增加, 引起鱼卵、仔稚鱼大量死亡, 降低海域潜在的生物资源增长能力。对于这种损失, 首先按照个体长成推算法^[16] (公式(2)) 分别估算得到鱼卵、仔稚鱼换算为成鱼的损失量 W_i , 再按公式(3) 计算相应的能值损失 E_{12} 为:

$$W_i = (A_{SS} \times D_i \times \delta \times n) \times P \times G \quad (2)$$

$$E_{12} = \left(\sum_{i=1}^2 W_i \right) \times k \times u \times 4186 \times Tr_F \quad (3)$$

式中, W_i 为鱼卵、仔稚鱼换算为成鱼的损失量 (g); A_{SS} 为施工期 SS 浓度人为增量大于 $10\text{mg}/\text{L}$ (超过《海水水质标准》(GB3097—1997) 二类标准值) 的面积 (需扣除填海造地面积) (hm^2); D_i 为项目海域的鱼卵、仔稚鱼的平均密度 (个/ hm^2 或尾/ hm^2); δ 为鱼卵、仔稚鱼的损失率; n , 施工期 SS 增量持续影响的周期个数; P 为鱼卵、仔稚鱼的长成率 (%); G 为成鱼平均重量 (g/尾); E_{12} 为因填海间接引起食品供给服务损失的能值 (sej/a); k 为成鱼的干重比例, 取 0.2 ; u 为动物标准热值 (kJ/g); Tr_F 为成鱼的能值转换率 (sej/J)。

3.1.2 原材料生产方面的能值损失

填海区域内原料生产方面的能值损失可根据占用海域内损失的各种原料量及其相应的能值转换率计算, 公式为:

$$E_{13} = \sum_{i=1}^n A_i \times Q_i \times Tr_i \quad (4)$$

式中, E_{13} 为原料生产服务价值损失的能值 (sej/a); A_i 为填海占用第 i 种原材料生产区域的面积 (hm^2); Q_i 为单位面积的第 i 种原材料产量 ($\text{g} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$); Tr_i 为第 i 种原材料的能值转换率 (sej/g)。

3.2 调节功能的能值损失

海湾生态系统的调节功能包括气候调节、废弃物处理、干扰调节等方面。

3.2.1 气候调节功能损失的能值估算

填海造地使滨海湿地植被、浮游植物、大型藻类等完全消失, 使海湾生态系统的气体调节功能受到破坏。海湾生态系统气候调节服务主要体现在气体调节服务的价值上^[2], 为避免重复计算, 只评估气体调节服务方面损失的能值即可。海湾生态系统的气体调节服务功能主要依靠潮间带的芦苇、米草等湿地植被以及海水中浮游植物、大型藻类等的固碳产氧来实现, 根据填海造成的干物质损失量, 以及光合作用中的固碳、产氧计量关系 (由方程式 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2 \rightarrow \text{淀粉}$, 每生产 1 g 干物质需要吸收 1.63 gCO_2 , 同时释放 1.20 gO_2), 即可计算出填海区域每年损失的固碳量和产氧量, 进而转化为能值, 见公式(5):

$$E_{21} = \sum_{i=1}^n (DM_i \times 1.63 \times Tr_{\text{CO}_2} + DM_i \times 1.20 \times Tr_{\text{O}_2}) \quad (5)$$

式中, E_{21} 为因填海造地造成的气候调节功能的能值损失 (sej/a); DM_i 为第 i 种滨海植物的干物质损失量 (g/a); Tr_{CO_2} 、 Tr_{O_2} , CO_2 和 O_2 的能值转换率 (sej/g)。

其中, 湿地植被干物质损失量可根据填海占用的滨海湿地植被的面积和单位面积植被的干重计算, 底栖藻类和大型藻类的产量 (干物质重) 可从相关统计资料查得, 而浮游植物的干物质损失量可参照 Cadée^[17] 的方法计算, 公式如下:

$$DM = \text{Chl. a} \times Q \times T \times \Delta V \times 10^{-3} \quad (6)$$

式中, DM 为浮游植物干物质损失量 (g/a); Chl. a 为填海区域海水中叶绿素 a 的平均含量 ($\text{mgChl. a}/\text{m}^3$); T 为年光照时数 (h/a); ΔV 为填海占用海水体积 (m^3); Q 为同化系数 ($\text{mgC} \cdot \text{mg}^{-1} \text{Chl. a} \cdot \text{h}^{-1}$), 取 $3.7^{[18]}$ 。

3.2.2 干扰调节功能损失的能值估算

干扰调节是通过生物性构造防潮消波,减轻对海岸、堤坝、工程设施的破坏,但填海工程使原始岸滩地形地貌发生改变,削弱了海岸带的防灾减灾能力。这项服务功能的损失主要表现在滨海湿地的促淤保滩和抗风消浪两个方面。

(1)促淤保滩功能的能值损失 填海工程占用了根系发达、茎壮叶茂的米草等湿地植物的生境,使植被所具有的粘结和稳固底泥、降低携带泥粒的径流流速、促使泥粒沉积和滩面淤高的功能丧失,从而减少了泥粒中有机质能量转化为贮存能值并保留于土壤库(即沉积物)中的数量。这种损失可用土壤库损失的能值表示,即:这些植物岸滩上,每年因其淤积形成的土壤(或沉积物)中有机碳(SOC)、总磷(TP)、总氮(TN)、总钾(TK)等物质成分的能值之和^[19,20],公式如下:

$$E_{22(A)} = \sum_{i=1}^n (A \times v \times q \times r_i \times Tr_i) \quad (7)$$

式中, $E_{22(A)}$ 为填海造成的促淤保滩功能的能值损失(sej/a); A 为填海区域植被的分布面积(m^2); v 为植被分布区的沉积速率(m/a); q 为土壤容重密度(g/m^3); r_i 为沉积物中 i 物质含量(%); Tr_i 为土壤库中 i 物质的能值转换率(sej/g)。

(2)抗风消浪功能的能值损失 填海活动破坏了滨海自然性海洋防御体系,失去了降低波能波速、防止或减缓海岸侵蚀、降低台风等自然灾害破坏的作用。此项损失采用如下公式计算:

$$E_{22(B)} = L \times 0.125 \times \rho \times g \times v \times h^2 \times 3.15 \times 10^7 \times Tr_w \quad (8)$$

式中, $E_{22(B)}$ 为抗风消浪功能损失的能值(sej/a); L 为填海占用的原始岸线长度(m); ρ 为海水密度($1030 \text{ kg}/m^3$); g 为重力加速度($9.8 \text{ m}/s^2$); h 为海域浪高的平均值(m); v 为速率(此处指重力加速度与浪高乘积的平方根(m/s)); Tr_w 为波浪能的能值转换率(sej/J)。

因此,填海造成的海湾干扰调节服务损失的能值为 $E_{22} = E_{22(A)} + E_{22(B)}$ 。

3.2.3 废弃物处理功能损失的能值估算

氮、磷营养物质和石油类等有毒有害物质随废水进入海湾后,因受到海水稀释、颗粒物吸附和生物吸收、降解等作用,使污染物的数量减少或活性减弱,由此可降低废水在陆地上的人工处理耗费。填海造地减少了海湾的水容量,削弱了海水自净能力,使海湾的环境容量降低。为避免与后面营养物质循环(氮、磷循环)功能损失的计算产生重复,此处主要考虑海域消失后海水对典型污染物 COD 物理自净功能的损失,而不考虑生化降解作用。参照胡守丽^[21]提出的基于海湾物理自净能力的污染物最大允许排放量计算公式,依据填海区域主导功能所对应的海水水质标准及其海湾水交换率、平均潮差以及相应的能值转换率等参数,按公式(9)进行计算:

$$E_{23} = \gamma \times h \times A \times (C_{\text{COD}} - C_{0\text{COD}}) \times N \times Tr_{\text{COD}} \quad (9)$$

式中, E_{23} 为海湾物理自净能力降低导致的废水处理服务损失的能值(sej/a); γ 为1个潮周期的湾外海水交换率(%); h 为平均潮差(m); A 为填海面积(m^2); C_{COD} 为填海区域执行的海水 COD 浓度标准(与海域使用功能对应的《海水水质标准》(GB3097—1997)限值(mg/L); $C_{0\text{COD}}$ 为填海海域 COD 现状平均浓度(mg/L); N 为每年该区域的潮汐次数(次/a); Tr_{COD} 为 COD 的能值转化率(sej/g)。

填海造成的海湾调节功能方面的能值损失为: $E_2 = E_{21} + E_{22} + E_{23}$ 。

3.3 支持功能的能值损失

3.3.1 营养物质循环损失的能值估算

营养物质循环,即海洋生物对营养物质(氮、磷等)的贮存、循环和保持。这种循环使必需营养元素被不同水平食物链和食物网利用,从而提高了生态系统的生产力。以大气沉降、地表径流、面源污染等方式进入海洋的氮、磷等营养物质被海洋生物分解和利用,进入食物链循环;当海产品被收获后,这些营养物质又从海洋回到陆地,弥补陆地生态系统的损失。海洋中的植物属于自养生物,在吸收外源营养物质方面起着重要作用。

填海活动使得原海水区域不复存在,对外部营养物质的利用无法进行,使营养物质循环的功能丧失。这部分能值的损失量可通过填海区域植物(滩涂植被、大型海藻、微藻等)的生物量及其营养元素含量进行计算,见公式(10):

$$E_{31} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (BM_i \times A_i \times k_{ij} \times Tr_j) \quad (10)$$

式中, E_{31} 为填海造成的海湾营养物质循环损失的能值(sej/a); BM_i 为某类植物的平均生物量(g干重 $\cdot m^{-2} \cdot a^{-1}$); A_i 为填海区某类植物的面积(m^2); k_{ij} 为某类植物的植株中氮、磷的含量(%),可通过化学分析方法得到; Tr_j 为某营养物质的能值转换率(sej/g)。

3.3.2 生物多样性维持损失的能值估算

海湾为众多海洋生物提供了重要的产卵场、越冬场和避难所。填海造地必然会破坏这些生物栖息地,影响海洋物种的生存,削弱生物多样性维持服务的功能。借鉴 Liu^[19] 等对生物多样性维持的能值估算方法,考虑填海区域原有的各生物类群差异性,引用并改进其生物多样性因子 FD ,按公式(11)和(12)计算:

$$E_{32} = \sum_{i=1}^n (A \times BM_i \times FD_i \times \mu \times 4186 \times Tr_i) \quad (11)$$

$$FD_i = (H'_i + J_i + M_i) \times S_i \quad (12)$$

式中, E_{32} 为填海造成的海湾生物多样性维持损失的能值(sej/a); A 为填海面积(hm^2)或/和海水体积(m^3); BM_i 为第 i 类群的平均生物量(g干重 $\cdot hm^{-2} \cdot a^{-1}$ 或g干重 $\cdot m^{-3} \cdot a^{-1}$); FD_i 为第 i 类群的生物多样性因子(考虑香农-威纳指数 H' 和辛普森指数 D_{1-d} 都表征群落的异质性,因此改进原公式以简化计算,二者只选用 H'); μ 为植物标准热值或动物的标准热值(kJ/g); Tr_i 为第 i 类群的能值转换率(sej/J); H'_i 、 J_i 、 M_i 、 S_i 为第 i 类群的香农-威纳指数、Pielou 均匀度指数、Margalef 丰富度指数和物种丰度(即总的种类数目)。

3.4 文化功能的能值损失

文化功能主要包括海湾生态系统提供的科研教育、旅游娱乐等服务。

3.4.1 科研教育的能值损失估算

滨海区域为人类研究与海洋相关的科学问题提供了丰富的对象和材料以及良好场所,有利于促进人类对结构和功能复杂的海洋系统的认识与利用。这部分价值在生态系统服务价值中具有重要地位,不可忽略。但是,由于填海对此类具有公共物品属性的服务所造成的损失难以利用直接的市场交易信息进行货币化评估;而能值分析方法虽能有效衡量产品的真实价值,但一般难以体现消费者的偏好或需求。这些问题都使填海造成的文化功能能值损失估算比较困难。

本文根据已发表的以工程所在区域生态经济系统为研究对象的学术论文数量,对填海造成的科研文化价值损失进行估算:

$$E_{41} = Page \times Tr_{Page} \quad (13)$$

式中, E_{41} 为填海造成的科研教育功能能值损失(sej/a); $Page$ 为平均每年发表的涉及所研究海湾生态系统的学术论文页数(页/a); Tr_{Page} 为论文能值转换率(sej/页)。

3.4.2 旅游娱乐的能值损失估算

在海湾旅游娱乐功能方面,填海造成的能值损失可根据项目建设前后人们对海湾休闲娱乐和旅游服务的支付意愿差值(通过调查问卷获得)、每年愿意来此旅游娱乐的人数差异、能值货币比率进行计算:

$$E_{42} = \Delta Pay \times \Delta People \times R \quad (14)$$

式中, E_{42} 为填海造成的旅游娱乐功能能值损失(sej/a); ΔPay 为项目建设前后人们对海湾休闲娱乐和旅游服务的支付意愿差值(元/人); $\Delta People$ 为项目建设前后愿意来此娱乐旅游服务的人数变化(人/a); R 为某年的能值货币比率(sej/元)。

填海造成的海湾文化功能能值损失为上述两部分的加和,即: $E_4 = E_{41} + E_{42}$ 。

4 结果与分析

将以上建立的填海造地导致海湾生态系统服务价值损失的能值评估模型应用于烟台套子湾填海工程中,其填海前后能流图如图 2,计算结果、相关数据及其来源见表 2。

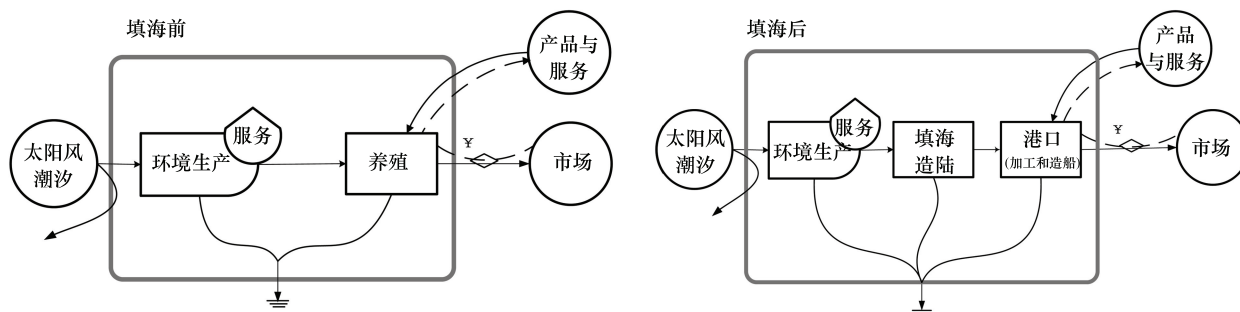


图 2 套子湾填海工程建设前后能流图

Fig. 2 Energy diagrams of ecosystems before and after reclamation in the Taozi Bay

由上表可知,在四类服务中能值损失由大到小依次为供给、支持、调节、文化。各子功能中,直接食品供给损失的能值货币价值最大,高达 4.56×10^{12} 元/a。这主要因为原海域贝类筏式养殖密度较大,品种结构多样,为集约式经营,年产量较高;另外,贝类养殖生态经济系统中除可更新自然资源外,来自社会的设备、燃料、服务、技术等资源的大量投入使得养殖贝类的能值转换率远远高于自然海域生长的贝类,因此该损失计算值较高。其次是生物多样性维持和干扰调节功能的损失,其能值货币价值分别为 5.39×10^7 元/a 和 1.58×10^7 元/a,前者主要与套子湾填海区域生态系统中生物种类的数量、分布的集中情况及生物量的大小等有密切联系,后者主要取决于填海工程占用的原始岸线长度。由于工程所在区域生态系统的结构和功能特点(如无湿地植被、无原料生产及旅游功能等),使得填海建设导致的其他子服务功能的损失很小或为零。由此可见,在套子湾未来的发展中,必须进一步加大海洋开发活动的宏观调控力度,依据海湾生态系统特点,合理利用岸线资源,科学开展养殖、捕捞、港口、自然保护等功能区的规划,从而避免海湾生态系统供给等主要服务的大量损失。

填海工程对海湾生态系统造成的某些损害具有永久性和持续性的特点,因此评估其生态系统服务价值的损失应考虑时间因素。套子湾项目已获批用海 50a,因此除间接提供服务损失是暂时性的外,其他服务都应考虑 50a 的累积损失量。由此得本工程在海域使用年限内造成的海湾生态系统服务损失的能值总量为 1.66×10^{26} sej,换算为能值货币价值为 2.28×10^{14} 元,单位面积能值货币价值为 1.73×10^{12} 元/hm²。而依据《建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程》(SC/T 9110—2007)计算的项目用海生态补偿价值仅为 1.41×10^7 元,远远小于能值法得出的损失结果。可见,现有的生态补偿评估方法不能全面反映填海造地对海湾生态系统造成的影响,低估了损失的总价值,无法起到保护海湾环境、抑制盲目填海、促进沿海地区可持续性发展的重要作用,因此有待完善。

5 讨论

根据能值理论,生态系统服务价值并不单单取决于人类的喜好和支付意愿,而主要依赖于促进生态系统的结构、生长、组织和多样性发展与稳定的生物圈作用实现^[40]。因此,能值方法能够克服传统经济评价手段的不足,通过将自然环境和人类社会直接或间接投入的能量和物质转化为统一的度量单位,计算生态系统的真实价值。能值价值体现了生态系统在生物圈尺度上的重要性,同时表明了人类主导的系统中消耗的自然资本和生态系统服务的成本^[40]。

另外,将生态系统服务的能值价值损失通过能值-货币比率换算成能值货币价值,有利于人们从宏观经济角度理解生态系统服务能值对沿海经济建设的真实贡献,有利于与现有货币量化方法估算所得的涉海项目生态补偿结果进行直接比较,为近海环境资源的有偿使用提供理论依据,进而合理调整补偿费用,促进人们对

生态系统服务的重视及保护。

表 2 套子湾填海工程造成的生态系统服务的能值损失一览表

Table 2 Summary of ecosystem service losses caused by marine reclamation in the Taozi Bay

功能 Functions /(sej/a)	子功能 Sub-functions /(sej/a)	能值货币价值 ^h Emdollar value /(yuan/a)	相关参数的取值 Values of relevant parameters
供给 Provision $E_1 = 3.32 \times 10^{24}$	$E_{11}^a = 3.32 \times 10^{24}$	4.56×10^{12}	$A_{\text{贝类}} = 7.21 \text{ hm}^2$; $D_{\text{贝类}} = 2.36 \text{ kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; $Tr_{\text{贝类}} = 5.83 \times 10^{12} \text{ sej/g}^{[22]}$ $A_{\text{SS}} = 151 \text{ hm}^2$; $D_{\text{鱼卵}} = 9.04 \text{ 个}/\text{hm}^2^{[23]}$; $D_{\text{仔稚鱼}} = 66.1 \text{ 尾}/\text{hm}^2^{[23]}$; $\delta = 10\%^{[24]}$; $n = 72$ (SS 增量对鱼卵的实际影响每年按 6 个月计(3—8 月, 5 月鱼卵量最高 ^[25]), 对仔稚鱼的实际影响每年按 6 个月计(5—10 月, 8 月是仔稚鱼高峰期 ^[25]), 1 个月以 30d 计算, SS 增量持续影响 15d 为一个影响周期 ^[26]); $P_{\text{鱼卵}} = 0.1\%^{[24]}$; $P_{\text{仔稚鱼}} = 1\%^{[24]}$; $G = 27.5 \text{ g/尾}^{[27]}$; $Tr_F = 1.05 \times 10^7 \text{ sej/J}^{[28]}$
	$E_{12}^b = 7.04 \times 10^{14}$	9.68×10^2	
	$E_{13} = 0$	—	项目海域的功能定位为“渔港区兼顾临港工业区”, 其原料生产服务功能不甚明显, 故此处不进行计算
调节 Regulation $E_2 = 1.30 \times 10^{19}$	$E_{21}^c = 5.95 \times 10^{15}$	8.18×10^3	$Chl. a = 1.47 \text{ mg}/\text{m}^3$; $T = 2656 \text{ h/a}^{[29]}$; $Q = 3.7 \text{ mgC} \cdot \text{mg}^{-1} \text{ Chl. a} \cdot \text{h}^{-1}^{[18]}$; $\Delta V = 3347660 \text{ m}^3$; $Tr_{\text{CO}_2} = 3.78 \times 10^7 \text{ sej/g}^{[30]}$; $Tr_{\text{O}_2} = 5.11 \times 10^7 \text{ sej/g}^{[30]}$
	$E_{22(A)} = 0$	—	工程所在沿海滩属砂质海滩, 无湿地植被, 其促淤保滩功能不明显, 故此处不进行计算
	$E_{22(B)} = 1.15 \times 10^{19}$	1.58×10^7	$L = 2953 \text{ m}$; $h = 1.01 \text{ m}$; $Tr_w = 30550 \text{ sej/J}^{[31]}$
支持 Support $E_3 = 3.94 \times 10^{19}$	$E_{23}^d = 1.53 \times 10^{18}$	2.10×10^6	$\gamma = 0.90$; $h = 1.01 \text{ m}$; $A = 131.77 \text{ hm}^2$; $N = 730 \text{ 次/a}$; $C_{\text{COD}} = 3.000 \text{ mg/L}^{[32]}$; $C_{\text{OCOD}} = 0.998 \text{ mg/L}$; $Tr_{\text{COD}} = 8.53 \times 10^8 \text{ sej/g}^{[9]}$
	$E_{31}^e = 1.56 \times 10^{17}$	2.42×10^5	$PP = 155.1 \text{ gC} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}^{[33]}$; $C:N:P = 106:16:1$; $Tr_N = 4.19 \times 10^9 \text{ sej/g}^{[34]}$; $Tr_P = 1.40 \times 10^{10} \text{ sej/g}^{[34]}$
	$E_{32}^f = 3.92 \times 10^{19}$	5.39×10^7	$BM_1 = 443.14 \text{ g 干重} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}^{[33]}$; $BM_2 = 0.076 \text{ g 干重} \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{a}^{-1}^{[33]}$; $BM_3 = 8.05 \text{ g 干重}/\text{m}^2 \cdot \text{a}^{[33]}$; $H'_1 = 1.83$; $H'_2 = 2.14$; $H'_3 = 2.69$; $M_1 = 0.8$; $M_2 = 1.56$; $M_3 = 1.72$; $J_1 = 0.77$; $J_2 = 0.61$; $J_3 = 0.93$; $S_1 = 23$; $S_2 = 19$; $S_3 = 29$; $u_{\text{动物}} = 4 \times 4.186 \text{ kJ/g}^{[15]}$; $u_{\text{植物}} = 8 \times 4.186 \text{ kJ/g}^{[31]}$; $Tr_1 = 1.1 \times 10^4 \text{ sej/J}^{[35]}$; $Tr_2 = 1.5 \times 10^5 \text{ sej/J}^{[35]}$; $Tr_3 = 8.1 \times 10^5 \text{ sej/J}^{[35]}$
文化 Culture $E_4 = 3.37 \times 10^{18}$	$E_{41}^g = 3.37 \times 10^{18}$	4.64×10^6	$\text{Page} = 9.94 \text{ 页/a}$; $Tr_{\text{Page}} = 33.9 \times 10^{16} \text{ sej/页}^{[36]}$
	$E_{42} = 0$	—	工程所处功能区不作为旅游娱乐用, 且工程东南向 6.43 km 处的金沙滩度假旅游区距离较远, 故本项目对其造成旅游娱乐服务价值的影响很小, 忽略不计
合计 Total	$E = 3.32 \times 10^{24}$	4.56×10^{12}	

a; E_{11} 计算主要考虑贝类损失, 因为工程填海主要占用贝类养殖区域; 贝类能值转换率根据文献^[22]中能值投入总值 ($69.65 \times 10^{20} \text{ sej/a}$) 除以产量 (1195 t/a) 所得;

b; E_{12} 计算参数 G 选取套子湾鱼类优势种鲢 4 龄平均重量;

c: 由于从生物圈或具体海洋生态系统角度对 CO_2 和 O_2 能值转换率的研究鲜有报道, 本文借鉴文献^[30]中森林系统中的能值转换率;

d: 工程所在沿海滩属砂质海滩, 无湿地植被, 因此此处气候调节功能主要由浮游植物实现; E_{23} 中采用的套子湾水体交换率 γ , 根据与其相邻的芝罘湾的 γ 进行估算得到, 即 (套子湾口门宽度 $19 \text{ km}^{[25]}$ \times 套子湾平均水深 $12 \text{ m}^{[25]}$ \times 潮平均流速 23.22 cm/s) : (芝罘湾口门宽度 $5.6 \text{ km}^{[25]}$ \times 芝罘湾平均水深 $10.6 \text{ m}^{[37]}$ \times 潮平均流速 $9.44 \text{ cm/s}^{[38]}$) = 套子湾的 γ ; 芝罘湾的 γ (为 $0.1^{[37]}$); Tr_{COD} 根据文献^[9]中 COD 的去除费用 $1.2 \times 10^{-3} \text{ 元/g}$ 和能值货币比率 R (sej/元) 进行的计算;

e: 研究区域营养物质循环功能主要由浮游植物实现, 根据 Redfield 比率 ($C:N:P = 106:16:1$, 光合作用时按一定比率吸收 C、N、P) 和初级生产力 (Primary Productivity, PP), 计算 N 和 P 元素损失量;

f: 套子湾填海工程主要影响浮游植物、浮游动物和底栖生物的生物多样性, E_{32} 计算参数的下标 1 代表浮游植物; 2 为浮游动物; 3 为底栖生物; H' 、 M 、 J 和 S 来自《八角渔港填海工程海洋环境影响报告书 (报批稿)》2010 年调查数据; BM_1 根据 PP 值和文献^[28]报道的 100 g 浮游植物干重相当于 35 g 的有机 C 计算获得, 即 $BM_1 = PP/35\%$;

g: 在中国期刊全文数据库中以套子湾为关键字检索 1979—2011 年 32 年间发表的学术论文共 53 篇, 每篇以 6 页计算;

h: 采用中国 2005 年能值货币比率 $R = 7.27 \times 10^{11} \text{ sej/元}^{[39]}$; 选用的全部太阳能值转化率均以 $9.44 \times 10^{24} \text{ sej/a}$ 为全球总能值基准线

基于能值法构建的模型能够实现涉海建设活动对海湾生态系统造成的累积影响评价。一方面,模型中可综合考虑多种涉海建设项目对所在海域的生态系统服务造成的总体影响;另一方面,每类生态系统服务损失的模型全部以单位时间损失量,即年损失量为计算基础,并以项目用海的年限为时间参数,从而实现多个项目对海洋生态系统长期累积影响的评价。

可见,能值理论及方法适用于评价涉海建设活动对海湾生态系统服务的影响,尤其适用于对海洋环境产生较大干扰和破坏作用的填海造陆行为。本文构建的能值模型可用于各海湾的港口码头、旅游风景区、石油钻台等多种建设项目填海活动导致的生态系统服务损失的评价,客观核算项目中投入的生态成本,为评价其他人为干扰活动(如疏浚、抛泥、挖沙)、权衡不同类型生态服务,以及完善填海造地的经济体制等方面奠定了基础。

但是,该模型在相关能值转化率的合理选用或计算(如 CO_2 、 O_2 、各类海洋生物的能值转化率)、文化服务损失评价方法的研究、填海前后空间和时间尺度内服务损失的动态模拟等方面仍需改进。今后应结合能值理论及方法基础性研究的拓展、海湾生态系统结构和功能的深入了解、具体海域长期环境调查数据的积累、GIS等可视化技术及计算机模拟模型的应用,开展进一步的研究。

References:

- [1] Costanza R, D'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill R V, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, van den Belt M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 1997, 387(6630): 253-260.
- [2] Peng B R, Hong H S, Chen W Q, Xue X Z, Cao X L, Peng J P. Ecological damage appraisal of sea reclamation: Theory, Method and Application. *Journal of Natural Resources*, 2005, 20(5): 714-726.
- [3] Miao L J. Appraisal method on ecological environment losses in sea reclamation. *Environment and Sustainable Development*, 2007, (3): 47-49.
- [4] Wang X, Chen W Q, Zhang L P, Jin D, Lu C Y. Estimating the ecosystem service losses from proposed land reclamation projects: a case study in Xiamen. *Ecological Economics*, 2010, 69(12): 2549-2556.
- [5] Xiong P, Chen W Q, Wang X, Meng H T. Cost-benefit analysis of sea reclamation planning projects in Fuqing Bay. *Journal of Xiamen University: Natural Science*, 2007, 46(S1): 214-217.
- [6] Zhang H, Sun Y L. Loss appraisal on the value of marine ecosystem services of sea reclamation for Qianwan. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2009, (3): 34-38.
- [7] Wang J, Xu M, Zhang Y M, Zhu M J. Coastal wetland ecological service value loss appraisal of reclamation-Take the coastal wetland reclamation of Haimen for example. *Journal of Nanjing Normal University: Natural Science Edition*, 2009, 32(4): 134-138.
- [8] Wang X, Chen W Q, Zhang L P, Guo W. Predictive valuation of ecosystem services losses from sea reclamation planning projects in Tong'an Bay. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(21): 5914-5924.
- [9] Wang X, Chen W Q, Jiang Y W, Zhang L P. Evaluation of losses in bay environmental capacity based on numerical simulation-a case study of sea reclamation in Tong'an Bay, Xiamen. *China Environmental Science*, 2010, 30(3): 420-425.
- [10] Yu W W, Chen B, Zhang L P. Cumulative effects of reclamation on ecosystem services of tidal flat wetland-a case in the Xinghua Bay, Fujian, China. *Marine Science Bulletin*, 2008, 27(1): 88-94.
- [11] Zhang W J, Bai Y, Zeng H. Defects of present models of wetland ecosystem service assessment. *China Population · Resources and Environment*, 2009, 19(6): 23-29.
- [12] Odum H T, Odum E P. The energetic basis for valuation of ecosystem services. *Ecosystems*, 2000, 3(1): 21-23.
- [13] Ulgiati S, Brown M T, Bastianoni S, Marchettini N. Emergy-based indices and ratios to evaluate the sustainable use of resources. *Ecological Engineering*, 1995, 5(4): 519-531.
- [14] Lan S F, Lu H F, Qin P. Emergy Analysis of Eco-economic System. Beijing: Chemical Industry Press, 2002: 35-36, 407-407.
- [15] Zuo P, Wan S W, Qin P, Du J J, Wang H. A comparison of the sustainability of original and constructed wetlands in Yancheng Biosphere Reserve, China: implications from emergy evaluation. *Environmental Science and Policy*, 2004, 7(4): 329-343.
- [16] Xu Z L, Chen H. Estimating economic costs of potential fishery losses caused by marine engineering. *Journal of Fishery Sciences of China*, 2008, 15(6): 970-975.
- [17] Cadée G C. Primary production off the Guyana coast. *Netherlands Journal of Sea Research*, 1975, 9(1): 128-143.
- [18] Redfield A C, Ketchum B H, Richards F A. The influence of organisms on the composition of seawater//Hill M N, ed. *The sea: ideas and*

- observations on progress in the study of the seas. Vol. 2. New York: Interscience Publishers, 1963: 26-77.
- [19] Liu J E, Zhou H X, Qin P, Zhou J, Wang G X. Comparisons of ecosystem services among three conversion systems in Yancheng National Nature Reserve. *Ecological Engineering*, 2009, 35(5): 609-629.
- [20] Wang J L, Li Z R, Qin P. Maximizing empower of *Spartina alterniflora* community. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2010, 21(4): 843-848.
- [21] Hu S L. Calculation for environmental capacity of bay and its application in environmental planning. *China Environmental Management*, 2006, (1): 34-36.
- [22] Eum K H, Son J H, Cho E I, Lee S M, Park C K. The estimation of carrying capacity in Deukryang Bay by Emergy analysis. *Journal of the Korean Fisheries Society*, 1996, 29(5): 629-636.
- [23] Wang R J, Sun S. The category composition and abundance of ichthyoplankton in the ecosystem of the Yellow Sea and the East China Sea. *Acta Zoologica Sinica*, 2006, 52(1): 28-44.
- [24] Luo D L. Impact of the suspended substance on fish eggs and larvae and losses estimation: Illustrated by the case of cross-ocean bridge engineering from Xiamen to Zhangzhou. *Marine Science Bulletin*, 2010, 29(4): 439-443.
- [25] Compilation Committee of Chinese Bay Record. *Chinese Bay Record-Volume III (Bays in the North and East of Shandong Peninsula)*. Beijing: Ocean Press, 1991: 137-137, 173-173, 181-181.
- [26] National Fishery Technical Committee for Standardization. SC/T 9110—2007. Technical Regulations for Impact Assessment of Construction Projects on Marine Living Resources. Beijing: China Agriculture Press, 2008.
- [27] Zhu J C, Zhao X Y, Li F G. Growth characters of the anchovy stock in the Yellow Sea with its annual and seasonal variations. *Marine Fisheries Research*, 2007, 28(3): 64-72.
- [28] Franzese P P, Russo G F, Ulgiati S. Modelling the interplay of environment, economy and resources in Marine Protected Areas. A case study in Southern Italy. *Ecological Questions*, 2008, 10: 91-97.
- [29] Yantai Weather Bureau. Yantai weather statistics in 2010. 2011-06-08 [2011-07-30]. http://qixiang.yantai.net.cn/index_show.jsp?id=552424.
- [30] Li H T, Xu X G, Xiao D N. Study on the value of ecological capital based on the emery theory: a case study on the forest ecosystem in the middle part of the north slope of the Tianshan Mountain. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(6): 1383-1390.
- [31] Odum H T. *Environmental Accounting-Emergy and Environmental Decision Making*. New York: Wiley, 1996: 42-42, 38-38.
- [32] National Environmental Protection Administration. GB3097—1997, Marine Water Quality Standard. Beijing: Environmental Science Press, 2004.
- [33] Ning X R, Liu Z L, Shi J X. Primary productivity and evaluation of fishery in the Bohai Sea, the Yellow Sea and the East China Sea. *Acta Oceanologica Sinica*, 1995, 17(3): 72-84.
- [34] Brown M T, Bardi E. Emergy of ecosystems (Folio #3) // Handbook of Emergy Evaluation-A Compendium of Data for Emergy Computation Issued in a Series of Folios. Gainesville: Center for Environmental Policy Environmental Engineering Sciences, University of Florida, 2000.
- [35] Brown M T, Woithe R D, Odum H T, Montague C L, Odum E C. Emergy Analysis Perspectives of the Exxon Valdez Oil Spill in Prince William Sound. Alaska: Report to the Cousteau Society. Gainesville: Center for Wetlands and Water Resources, University of Florida, 1993.
- [36] Zhao S, Hong H S, Zhang L P, Chen W Q. Emergy value of mangrove ecosystem services in China. *Resources Science*, 2007, 29(1): 147-154.
- [37] Kuang G R, Wang X M, Zhang Y C, Zhao K S, Sun C Q. Preliminary study on prediction of water pollution in Zhifu West Bay, Yantai. *Marine Environmental Science*, 1984, 3(4): 16-25.
- [38] Yao L F. Analysis of the current characteristics in the Zhifu Bay of Yantai. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 1991, 9(3): 43-49.
- [39] Yang Z F, Jiang M M, Chen B, Zhou J B, Chen G Q, Li S C. Solar emergy evaluation for Chinese economy. *Energy Policy*, 2010, 38(2): 875-886.
- [40] Dong X B, Yang W K, Ulgiati S, Yan M C, Zhang X S. The impact of human activities on natural capital and ecosystem services of natural pastures in North Xinjiang, China. *Ecological Modelling*, 2012, 225: 28-39.

参考文献:

- [2] 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.
- [3] 苗丽娟. 围填海造成的生态环境损失评估方法初探. *环境与可持续发展*, 2007, (3): 47-49.
- [5] 熊鹏, 陈伟琪, 王萱, 孟海涛. 福清湾围填海规划方案的费用效益分析. *厦门大学学报: 自然科学版*, 2007, 46(S1): 214-217.
- [6] 张慧, 孙英兰. 青岛前湾填海造地海洋生态系统服务功能价值损失的估算. *海洋湖沼通报*, 2009, (3): 34-38.
- [7] 王静, 徐敏, 张益民, 朱蒙佳. 围填海的滨海湿地生态服务功能价值损失的评估——以海门市滨海新区围填海为例. *南京师大学报: 自*

然科学版, 2009, 32(4): 134-138.

- [8] 王萱, 陈伟琪, 张珞平, 郭伟. 同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估. 生态学报, 2010, 30(21): 5914-5924.
- [9] 王萱, 陈伟琪, 江毓武, 张珞平. 基于数值模拟的海湾环境容量价值损失的预测评估——以厦门同安湾围填海为例. 中国环境科学, 2010, 30(3): 420-425.
- [10] 俞炜炜, 陈彬, 张珞平. 海湾围填海对滩涂湿地生态服务累积影响研究——以福建兴化湾为例. 海洋通报, 2008, 27(1): 88-94.
- [11] 张文娟, 白钰, 曾辉. 湿地生态系统服务功能评价模式的不足与改进. 中国人口·自然与环境, 2009, 19(6): 23-29.
- [14] 蓝盛芳, 陆宏芳, 钦佩. 生态经济系统能值分析. 北京: 化学工业出版社, 2002: 35-36, 407-407.
- [16] 徐兆礼, 陈华. 海洋工程环境评价中渔业资源价值损失的估算方法. 中国水产科学, 2008, 15(6): 970-975.
- [20] 王金丽, 李卓然, 钦佩. 互花米草群落功率最大化倾向. 应用生态学报, 2010, 21(4): 843-848.
- [21] 胡守丽. 海湾水环境容量估算及其在环境规划中的应用. 中国环境管理, 2006, (1): 34-36.
- [23] 万瑞景, 孙珊. 黄、东海生态系统中鱼卵、仔稚幼鱼种类组成与数量分布. 动物学报, 2006, 52(1): 28-44.
- [24] 罗冬莲. 悬浮物对鱼卵仔稚鱼的影响分析及其损失评估——以厦漳跨海大桥工程为例. 海洋通报, 2010, 29(4): 439-443.
- [25] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志——第三分册(山东半岛北部和东部海湾). 北京: 海洋出版社, 1991: 137-137, 173-173, 181-181.
- [26] 全国水产标准化技术委员会. SC/T 9110—2007 建设项目对海洋生物资源影响评价技术规程. 北京: 中国农业出版社, 2008.
- [27] 朱建成, 赵宪勇, 李富国. 黄海鲢鱼的生长特征及其年际与季节变化. 海洋水产研究, 2007, 28(3): 64-72.
- [29] 烟台气象局. 烟台市 2010 年气象统计, 2011-06-08 [2011-07-30]. http://qixiang.yantai.net.cn/index_show.jsp?id=552424.
- [30] 李海涛, 许学工, 肖笃宁. 基于能值理论的生态资本价值——以阜康市天山北坡中段森林区生态系统为例. 生态学报, 2005, 25(6): 1383-1390.
- [32] 国家环境保护总局. GB3097—1997, 海水水质标准. 北京: 环境科学出版社, 2004.
- [33] 宁修仁, 刘子琳, 史君贤. 渤、黄、东海初级生产力和潜在渔业生产量的评估. 海洋学报, 1995, 17(3): 72-84.
- [36] 赵晟, 洪华生, 张珞平, 陈伟琪. 中国红树林生态系统服务的能值价值. 资源科学, 2007, 29(1): 147-154.
- [37] 匡国瑞, 王学冒, 张彦臣, 赵可胜, 孙长青. 烟台芝罘西湾水质污染预测的初步探讨. 海洋环境科学, 1984, 3(4): 16-25.
- [38] 姚兰芳. 烟台芝罘湾流场特征的分析. 黄渤海海洋, 1991, 9(3): 43-49.

CONTENTS

Hyperspectral characteristics of typical subtropical trees at different levels of simulated acid rain	SHI Qilong, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (5621)
Wind fields and the development of wind corridors in the urban metropolis of the Pearl River Delta	SUN Wu, WANG Yiming, WANG Yuelei, et al (5630)
Dynamics of canopy structure and understory light in montane evergreen broadleaved forest following a natural disturbance in North Guangdong	OU Yudian, SU Zhiyao (5637)
The influence of 4 species of preys on the development and fecundity of <i>Orius similis</i> Zheng	ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (5646)
Woody seedling regeneration in secondary succession of monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan, Southwest China	LI Shuaifeng, LIU Wande, SU Jianrong, et al (5653)
Scale-dependent spatial variation of species abundance and richness in two mixed evergreen-deciduous broad-leaved karst forests, Southwest China	ZHANG Zhonghua, HU Gang, ZHU Jiedong, et al (5663)
The spatial heterogeneity of soil nutrients in a mid-subtropical <i>Castanopsis kawakamii</i> natural forest	SU Songjin, LIU Jinfu, HE Zhongsheng, et al (5673)
Effects of <i>Vetiveria zizanioides</i> L. growth on chemical and biological properties of copper mine tailing wastelands	XU Decong, ZHAN Jing, CHEN Zheng, et al (5683)
Effects of different irrigation regimes on characteristics of transpiring water-consumption of three desert species	SHAN Lishan, LI Yi, ZHANG Ximing, et al (5692)
The response of euhalophyte <i>Salicornia europaea</i> L. to different nitrogen forms	NIE Lingling, FENG Juanjuan, LÜ Sulian, et al (5703)
Dynamic analysis on spatial pattern of dominant tree species of cold-temperate coniferous forest in the succession process in the Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, BI Runcheng, ZHANG Jintun, et al (5713)
Effects of AM fungi on the growth and nutrients of <i>Salvia miltiorrhiza</i> Bge. under different soil water and fertilizer conditions	HE Xueli, MA Li, MENG Jingjing, et al (5721)
The dynamics of soil respiration in a winter wheat field with plastic mulched-ridges and unmulched furrows	SHANGGUAN Yuxian, SHI Ripeng, HAN Kun, et al (5729)
Cattle dung composted by different methods had different effects on the growth and quality of soybean	GUO Liyue, LIU XueMei, ZHAN Lijie, et al (5738)
Nitrogen budget modelling at the headwaters of Urumqi River Based on the atmospheric deposition and runoff	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (5747)
Evaluating the ecosystem sustainability of circular agriculture based on the energy theory: a case study of the Xingyuan circular agriculture demonstration site in Fuqing City, Fujian	ZHONG Zhenmei, WENG Boqi, HUANG Qinlou, et al (5755)
Effects of cold exposure and recovery on viability and energy consumption in the sub-adult female giant spiny frogs (<i>Paa spinosa</i>)	LING Yun, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (5763)
A comparison of night-interruption on diapause-averting among two populations of the cotton bollworm, <i>Helicoverpa armigera</i>	CHEN Yuansheng, TU Xiaoyun, CHEN Chao, et al (5770)
Effects of soil erosion control measures on soil organic carbon and total nitrogen in a small watershed	ZHANG Yanjun, GUO Shengli, NAN Yafang, et al (5777)
Comparative analysis of Lugu Lake watershed ecosystem function under different management authorities	DONG Rencai, GOU Yaqing, LI Siyuan, et al (5786)
Relationship between fish community diversity and environmental factors in the Lianjiang River, Guangdong, China	LI Jie, LI Xinhui, JIA Xiaoping, et al (5795)
Effect of dissolved oxygen level on metabolic mode in juvenile crucian carp	ZHANG Wei, CAO Zhendong, FU Shijian (5806)
Community composition of net-phytoplankton and its relationship with the environmental factors at artificial reef area in Xiangshan Bay	JIANG Zhibing, CHEN Quanzhen, SHOU Lu, et al (5813)
Emergency appraisal on the loss of ecosystem service caused by marine reclamation: a case study in the Taozi Bay	LI Ruiqian, MENG Fanping (5825)
Assessing the visual quality of urban waterfront landscapes: the case of Hefei, China	YAO Yumin, ZHU Xiaodong, XU Yingbi, et al (5836)
Review and Monograph	
Advances in ecological genomics	SHI Yongbin, LI Junmin, JIN Zexin (5846)
Advances in studies of ecological effects of ocean acidification	WANG Siru, YIN Kedong, CAI Weijun, et al (5859)
Advances in feeding ecology of <i>Acartia</i>	HU Simin, LIU Sheng, LI Tao, et al (5870)
Research progress on ammonia-oxidizing microorganisms in estuarine ecosystem	ZHANG Qiufang, XU Jirong, SU Jianqiang, et al (5878)
Recent progress in research on neutrophilic, microaerophilic iron(II)-oxidizing bacteria	LIN Chaofeng, GONG Jun (5889)
A comparison study on primary production in typical low-latitude seas (South China Sea and Bay of Bengal)	LIU Huaxue, SONG Xingyu, HUANG Honghui, et al (5900)
Advances in leaf maximum carboxylation rate and its response to environmental factors	ZHANG Yanmin, ZHOU Guangsheng (5907)
10-years of bird habitat selection studies in mainland China: a review	JIANG Aiwu, ZHOU Fang, QIN Yue, et al (5918)
Scientific Note	
The effects of incubation temperature on embryonic metabolism and hatchling behavior in the Red-banded Snake, <i>Dinodon rufonotatum</i>	SUN Wenjia, YU Xiao, CAO Mengjie, et al (5924)
Sensitivity analysis and dynamics of soil microbial biomass carbon, nitrogen and related parameters in red-yellow soil of tea garden with different fertilization practices	WANG Limin, QIU Shanlian, LIN Xinjian, et al (5930)
Effect of fertilizers on Cd uptake of two edible amaranthus herbs	LI Ningyu, LI Zhian, ZHUANG Ping, et al (5937)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

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 32 卷 第 18 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 18 (September, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元