

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

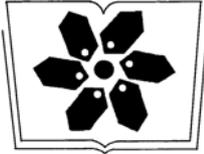
中国生态学学会 2013 年学术年会专辑



第 33 卷 第 19 期 Vol.33 No.19 **2013**

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33卷第19期 2013年10月 (半月刊)

## 目次

### 中国生态学会 2013 年学术年会专辑 卷首语

生态系统服务研究文献现状及不同研究方向评述 .....	马凤娇,刘金铜,A. Egrinya Eneji (5963)
非人灵长类性打搅行为研究进展 .....	杨斌,王程亮,纪维红,等 (5973)
密度制约效应对啮齿动物繁殖的影响 .....	韩群花,郭聪,张美文 (5981)
食物链长度远因与近因研究进展综述 .....	王玉玉,徐军,雷光春 (5990)
AM 真菌在植物病虫害生物防治中的作用机制 .....	罗巧玉,王晓娟,李媛媛,等 (5997)
保护性耕作对农田碳、氮效应的影响研究进展 .....	薛建福,赵鑫,Shadrack Batsile Dikgwatlhe,等 (6006)
圈养大熊猫野化培训期的生境选择特征 .....	张明春,黄炎,李德生,等 (6014)
利用红外照相技术分析野生白冠长尾雉活动节律及时间分配 .....	赵玉泽,王志臣,徐基良,等 (6021)
风速和持续时间对树麻雀能量收支的影响 .....	杨志宏,吴庆明,董海燕,等 (6028)
白马雪山自然保护区灰头小鼯鼠的巢址特征 .....	李艳红,关进科,黎大勇,等 (6035)
生境片段化对千岛湖岛屿上黄足厚结猛蚁遗传多样性的影响 .....	罗媛媛,刘金亮,黄杰灵,等 (6041)
基于 28S, COI 和 Cytb 基因序列的薛荔和爱玉子传粉小蜂分子遗传关系研究 .....	吴文珊,陈友铃,孙伶俐,等 (6049)
高榕榕果内 <i>Eupristina</i> 属两种榕小蜂的遗传进化关系 .....	陈友铃,孙伶俐,武蕾蕾,等 (6058)
镉胁迫下杞柳对金属元素的吸收及其根系形态构型特征 .....	王树凤,施翔,孙海菁,等 (6065)
邻苯二甲酸对萝卜种子萌发、幼苗叶片膜脂过氧化及渗透调节物质的影响 .....	杨延杰,王晓伟,赵康,等 (6074)
极端干旱区多枝桧柳幼苗对人工水分干扰的形态及生理响应 .....	马晓东,王明慧,李卫红,等 (6081)
贝壳砂生境酸枣叶片光合生理参数的水分响应特征 .....	王荣荣,夏江宝,杨吉华,等 (6088)
陶粒覆盖对土壤水分、植物光合作用及生长状况的影响 .....	谭雪红,郭小平,赵廷宁 (6097)
不同林龄短枝木麻黄小枝单宁含量及养分再吸收动态 .....	叶功富,张尚炬,张立华,等 (6107)
珠江三角洲不同污染梯度下森林优势种叶片和枝条 S 含量比较 .....	裴男才,陈步峰,邹志谨,等 (6114)
AM 真菌和磷对小马安羊蹄甲幼苗生长的影响 .....	宋成军,曲来叶,马克明,等 (6121)
盐氮处理下盐地碱蓬种子成熟过程中的离子积累和种子萌发特性 .....	周家超,付婷婷,赵维维,等 (6129)
CO <sub>2</sub> 浓度升高条件下内生真菌感染对宿主植物的生理生态影响 .....	师志冰,周勇,李夏,等 (6135)
预处理方式对香蒲和芦苇种子萌发的影响 .....	孟焕,王雪宏,佟守正,等 (6142)
镉在土壤-金丝垂柳系统中的迁移特征 .....	张雯,魏虹,孙晓灿,等 (6147)
马尾松人工林近自然化改造对植物自然更新及物种多样性的影响 .....	罗应华,孙冬婧,林建勇,等 (6154)
濒危海草贝克喜盐草的种群动态及土壤种子库——以广西珍珠湾为例 .....	邱广龙,范航清,李宗善,等 (6163)
毛乌素沙地南缘沙丘生物结皮对凝结水形成和蒸发的影响 .....	尹瑞平,吴永胜,张欣,等 (6173)
塔里木河上游灰胡杨种群生活史特征与空间分布格局 .....	韩路,席琳乔,王家强,等 (6181)
短期氮素添加和模拟放牧对青藏高原高寒草甸生态系统呼吸的影响 .....	宗宁,石培礼,蒋婧,等 (6191)
松嫩平原微地形下土壤水盐与植物群落分布的关系 .....	杨帆,王志春,王云贺,等 (6202)

广州大夫山雨季林内外空气 TSP 和 PM <sub>2.5</sub> 浓度及水溶性离子特征 .....	肖以华,李 炯,旷远文,等 (6209)
马鞍列岛岩礁生境鱼类群落结构时空格局 .....	汪振华,赵 静,王 凯,等 (6218)
黄海细纹狮子鱼种群特征的年际变化 .....	陈云龙,单秀娟,周志鹏,等 (6227)
三种温带森林大型土壤动物群落结构的时空动态 .....	李 娜,张雪萍,张利敏 (6236)
笔管榕榕小蜂的群落结构与物种多样性 .....	陈友铃,陈晓倩,吴文珊,等 (6246)
海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估 .....	陈 尚,任大川,夏 涛,等 (6254)
中国地貌区划系统——以自然保护区体系建设为目标 .....	郭子良,崔国发 (6264)
生态植被建设对黄土高原农林复合流域景观格局的影响 .....	易 扬,信忠保,覃云斌,等 (6277)
华北农牧交错带农田-草地景观镶嵌体土壤水分空间异质性 .....	王红梅,王仲良,王 堃,等 (6287)
中国北方春小麦生育期变化的区域差异性与气候适应性 .....	俄有浩,霍治国,马玉平,等 (6295)
中国南方喀斯特石漠化演替过程中土壤理化性质的响应 .....	盛茂银,刘 洋,熊康宁 (6303)
气候变化对东北沼泽湿地潜在分布的影响 .....	贺 伟,布仁仓,刘宏娟,等 (6314)
内蒙古不同类型草地土壤氮矿化及其温度敏感性 .....	朱剑兴,王秋风,何念鹏,等 (6320)
黑河中游荒漠绿洲区土地利用的土壤养分效应 .....	马志敏,吕一河,孙飞翔,等 (6328)
成都平原北部水稻土重金属含量状况及其潜在生态风险评价 .....	秦鱼生,喻 华,冯文强,等 (6335)
大西洋中部延绳钓黄鳍金枪鱼渔场时空分布与温跃层的关系 .....	杨胜龙,马军杰,张 禹,等 (6345)
夏季台湾海峡南部海域上层水体的生物固氮作用 .....	林 峰,陈 敏,杨伟锋,等 (6354)
北长山岛森林乔木层碳储量及其影响因子 .....	石洪华,王晓丽,王 媛,等 (6363)
植被类型变化对长白山森林土壤碳矿化及其温度敏感性的影响 .....	王 丹,吕瑜良,徐 丽,等 (6373)
油松遗传结构与地理阻隔因素的相关性 .....	孟翔翔,狄晓艳,王孟本,等 (6382)
基于辅助环境变量的土壤有机碳空间插值——以黄土丘陵区小流域为例 .....	文 雯,周宝同,汪亚峰,等 (6389)
基于生命周期视角的产业资源生态管理效益分析——以虚拟共生网络系统为例 .....	施晓清,李笑诺,杨建新 (6398)
生态脆弱区贫困与生态环境的博弈分析 .....	祁新华,叶士琳,程 煜,等 (6411)
“世博”背景下上海经济与环境的耦合演化 .....	倪 尧,岳文泽,张云堂,等 (6418)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 464 \* zh \* P \* ¥ 90.00 \* 1510 \* 55 \* 2013-10



**封面图说:** 毛乌素沙地南缘沙丘的生物结皮——生物土壤结皮广泛分布于干旱和半干旱区,它的形成和发育对荒漠生态系统生态修复过程产生重要的影响。组成生物结皮的藻类、苔藓和地衣是常见的先锋植物,它们不仅能在严重干旱缺水、营养贫瘠恶劣的环境中生长、繁殖,并且能通过其代谢方式影响并改变环境。其中一个重要的特点是,生物结皮表面的凝结水显著大于裸沙。研究表明,凝结水是除降雨之外最重要的水分来源之一,在水分极度匮乏的荒漠生态系统,它对荒漠生态系统结构、功能和过程的维持产生着重要的影响。

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/stxb201306031301

陈尚,任大川,夏涛,李京梅,杜国英,王栋,王其翔,张涛.海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估.生态学报,2013,33(19):6254-6263.

Chen S, Ren D C, Xia T, Li J M, Du G Y, Wang D, Wang Q X, Zhang T. Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6254-6263.

## 海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估

陈 尚<sup>1,\*</sup>, 任大川<sup>2</sup>, 夏 涛<sup>1</sup>, 李京梅<sup>3</sup>, 杜国英<sup>3</sup>, 王 栋<sup>4</sup>, 王其翔<sup>5</sup>, 张 涛<sup>1</sup>

(1. 国家海洋局第一海洋研究所, 青岛 266061; 2. 中国银监会, 北京 100800; 3. 中国海洋大学, 青岛 266100;

4. 青岛市科技信息研究所, 青岛 266003; 5. 山东省海水养殖研究所, 青岛 266002)

**摘要:**海洋生态资本指能够直接或间接作用于人类社会经济生产、提供有用的产品流或服务流的海洋生态资源。海洋生态资本价值由海洋生态资源存量价值和海洋生态系统服务价值组成。海洋生态资本评估包括海洋生态资源存量评估和海洋生态系统服务评估。在海洋生态资本理论框架体系下,针对我国近海生态系统服务的开发与利用情况,建立了评估海洋生态系统服务的物质量和价值量的技术框架。基于物质量可量化、价值量可货币化、数据可获得性三条评估原则,筛选出 9 个指标定量评估海洋生态系统服务的物质量和价值量,并给出了对应的评估方法、计算公式、参数和数据来源。海洋供给服务采用养殖生产、捕捞生产和氧气生产 3 个指标评估;海洋供给服务采用气候调节、废弃物处理 2 个指标评估;海洋文化服务采用休闲娱乐、科研服务 2 个指标评估;海洋支持服务采用物种多样性维持、生态系统多样性维持 2 个指标评估。养殖生产、捕捞生产等指标采用市场价格法进行评估;氧气生产、废弃物处理、科研服务等指标采用替代成本法进行评估;气候调节指标采用替代市场价格法进行评估;休闲娱乐指标采用旅行费用法或收入替代法进行评估;物种多样性维持、生态系统多样性维持等指标采用条件价值法进行评估。该套方法体系已经应用于山东省 7 个沿海地级市和福建省东山湾、罗源湾的近海生态系统服务价值评估,已经得到学术界和海洋管理部门的认可,被国家标准《海洋生态资本评估技术导则》吸收采用。该套方法紧密切合国家生态文明建设需求,可为海洋主管部门的生态资本核算、生态补偿业务、环评审批提供关键技术手段,也为海洋生态系统服务的精确评估提供了科学基础。

**关键词:**海洋生态资本;生态系统服务;供给服务;调节服务;文化服务;支持服务;评估

## Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services

CHEN Shang<sup>1,\*</sup>, REN Dachuan<sup>2</sup>, XIA Tao<sup>1</sup>, LI Jingmei<sup>3</sup>, DU Guoying<sup>3</sup>, WANG Dong<sup>4</sup>, WANG Qixiang<sup>5</sup>, ZHANG Tao<sup>1</sup>

1 The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China

2 China Banking Regulatory Commission, Beijing 100800, China

3 Ocean University of China, Qingdao 266100, China

4 Institute of Science, Technology and Information of Qingdao, Qingdao 266003, China

5 Shandong Provincial Institute of Mariculture, Qingdao 266002, China

**Abstract:** Marine ecological capital is defined as marine ecological resources which are able to have direct or indirect positive influences in human's social and economic production and provide benefits for human. Marine ecological capital value consists of the existing value of marine ecological resources, as well as the marine ecosystem service value. The assessment of marine ecological capital includes marine ecological resources and marine ecosystem services. Marine ecosystem services consist of four groups of services (i.e. provisioning, regulating, cultural, and supporting services) and 16 subgroups of services. Provisioning services consist of maricultural production, fishing production, oxygen production, raw material production, and genetic resources supply; Regulating services consist of climate regulation, waste treatment,

**基金项目:**国家自然科学基金项目(31072211);国家海洋局公益行业专项(201105006);山东省科技厅项目(2007GG10005012);国家海洋局 908 项目(908-02-04-03);山东海洋与渔业厅 908 项目(SD-908-02-10);福建海洋与渔业厅 908 项目(FJ908-02-02-07)

**收稿日期:**2013-06-03; **修订日期:**2013-08-18

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

biological control, and disturbance regulation; Cultural services consist of recreational service, cultural usage, and scientific service; Supporting services consist of primary production, nutrients cycling, species diversity maintenance, and ecosystem diversity maintenance.

Considering the utilization patterns of ecosystem services in China coastal waters, this paper developed the assessment methods of marine ecosystem services in both mass and monetary under the marine ecological capital frameworks. We selected 9 services among the above 16 services to be valued and summed up as the total value of ecosystem services. Moreover for each service, its evaluation methods, calculation formulas, parameters and data resources are given too. Maricultural, fishing, and oxygen productions are selected to assess provisioning services. Climate regulation and waste treatment are selected to assess regulating services. Recreational and scientific services are chosen to assess cultural services. Species and ecosystem diversity maintenances are chosen to assess supporting services. The market-price method is recommended to value maricultural and fishing productions. The replaced-cost method is recommended to value oxygen production, waste treatment, and scientific service. The replaced-market-price method is recommended to value climate regulation. The travel-cost method and replaced-income method are recommended to value recreational service. The contingent-value method is recommended to value species and ecosystem diversity maintenances.

Currently, the services including raw material, cultural usage, biological control, and disturbance regulation services from marine ecosystems were excluded from the calculation monetary value of marine ecosystem services, because it is difficult to access the statistical data for assessment; also it is unclear to how to value cultural usage and genetic resources supply provided from marine ecosystem. Primary production provides energy and carbon, while nutrients cycling provide nitrogen, phosphorous and silicate, to support the smooth run of marine ecosystem. However human being does not directly or indirectly use primary production, nutrients cycling from sea. Moreover the benefits human get from these two services have been calculated during calculating the other services (i.e. maricultural, fishing and raw material production, waste treatment). Therefore, primary production and nutrients cycling should not be evaluated in monetary term, but they may be evaluated in mass term.

This set of assessment methods of marine ecosystem services has been applied to evaluate the ecosystem services of Shandong provincial coastal waters located in Yellow Sea and of Dongshan and Luoyuan bays located in East China Sea. These assessment methods have been adopted by China's "Technical Directives for Marine Ecological Capital Assessment" after passing review of several expert committees. This set of methods provide an applicable technical tool to enforce the policies for ecological capital accounting, compensation against ecological damage accidents, payment for ecosystem services of marine protected areas, and marine and fisheries management effectiveness assessment.

**Key Words:** marine ecological capital; ecosystem service; provisioning service; regulating service; cultural service; supporting service; assessment

海洋生态资本指能够直接或间接作用于人类社会经济生产、提供有用的产品流或服务流的海洋生态资源,包括海洋生物及其生境(海水、表层海底),以及它们组成的海洋生态系统整体<sup>[1]</sup>。海洋生态资本的价值是指海洋生态资本的存量价值及其产生的收益流价值,包括各类海洋生态资源的现存量价值及其组成海洋生态系统整体而产生的生态系统服务价值<sup>[1]</sup>。根据世界银行前行长 Serageldin<sup>[2]</sup>关于自然资本、人造资本、人力资本、社会资本的资本分类体系。海洋生态资本属于自然资本的重要组成部分。国内外科学家、政治家和老百姓都知道海洋生态资本很重要,但是到底有多重要?讲不清楚。开展海洋生态资本价值评估,就可以定量地掌握其对当地社会经济贡献,就能讲清楚海洋生态资本到底有多重要。而且,可为海洋生态资源的有偿使用、海洋生态损害的补偿与赔偿提供技术支持。尽管海洋生态资本评估的重要性已经得到公认,但目前尚缺乏一套完整和规范的评估技术方法来指导评估实践。海洋生态资本评估包括海洋生态资源存量评估和海洋生态系统服务评估,本文主要探讨海洋生态系统服务评估技术方法。

近十几年来,生态系统服务研究备受世人瞩目,逐渐成为生态学和生态经济学研究的热点和前沿。最具影响力的开创性研究来自 Costanza 和 Daily 等学者。Costanza 等人<sup>[3]</sup>计算出 1997 年全球生态系统服务价值平均值为 33 万亿美元/年,相当于全球 GNP 的 1.8 倍。而 Daily<sup>[4]</sup>则探讨了生态服务概念、内涵、价值评估方法和实例研究。欧阳志云等<sup>[5]</sup>认为中国陆地生态系统服务价值为 30.488 万亿元/年。联合国千年生态系统评估计划<sup>[6]</sup>提出海洋生态系统服务包括供给、调节、文化、支持等四类服务。

考虑到海洋生态系统的特殊性,陈尚等<sup>[7]</sup>基于 MA 的框架提出了海洋生态系统服务分类指标体系,将海洋生态系统服务划分为 4 组 14 项服务。韩维栋等人<sup>[8]</sup>评估得出我国红树林的生态服务总价值为 23.6531 亿元/年。彭本荣<sup>[9]</sup>、杨清伟<sup>[10]</sup>等人研究了海岸带生态系统服务评估指标体系。张朝晖等<sup>[11]</sup>、石洪华等<sup>[12]</sup>、郑伟<sup>[13]</sup>等深入研究了桑沟湾生态系统服务价值进行了评估,桑沟湾 2003 年总服务价值为  $6.07 \times 10^8$  元,2004 年总价值为  $10.51 \times 10^8$  元。吴珊珊<sup>[14]</sup>、王其翔<sup>[15]</sup>分别评估了渤海、黄海生态系统服务价值。目前国内外学者针对海洋生态系统服务价值的组成要素、评估指标和计算方法存在多种理解和认识。

本文在陈尚等<sup>[1,16]</sup>所建立的海洋生态资本理论框架体系下,参考有关学者的研究成果,基于物质量可量化、价值量可货币化、数据可获得三条评估原则,从 14 个海洋生态系统服务指标<sup>[7]</sup>中筛选出 9 个主要指标评估海洋生态系统服务的物质量和价值量,并提出了相应的评估方法、计算公式与参数。该方法体系得到学术界和海洋管理部门的认可,被国标《海洋生态资本评估技术导则》吸收采用。而且,该套方法被应用于评估山东省 7 个地级市近海<sup>[17-18]</sup>和福建省东山湾<sup>[19]</sup>、罗源湾<sup>[20]</sup>生态资本价值。当前国家正在大力倡导生态文明建设,推动生态补偿制度实施。本文提出的方法紧密切合国家需求,可为国家和地方海洋主管部门的生态资本核算、生态补偿业务、环评审批提供关键技术手段,也为海洋生态系统服务的精确评估提供了科学基础。

## 1 海洋生态系统服务价值结构要素及其评估指标体系

参考联合国千年生态系统评估(MA)对生态系统服务的定义,我们将海洋生态系统服务(marine ecosystem service)定义为“人类从海洋生态系统获得的效益”。根据陈尚等人<sup>[7]</sup>的研究成果,海洋生态系统服务可分为 4 组 14 项服务,包括供给服务(食品生产、原料生产、氧气生产、基因资源提供)、调节服务(气候调节、废弃物处理、生物控制和干扰调节)、文化服务(休闲娱乐、文化用途和科研服务)、支持服务(生物多样性维持、初级生产和营养物质循环)。海洋生态系统服务评估包括物质量评估和价值量评估。海洋生态系统服务价值由四个要素组成:供给服务价值、调节服务价值、文化服务价值和支持服务价值<sup>[16]</sup>,见图 1。

理论上,海洋生态资本的价值应包括全部海洋生态系统服务的价值,但是,在进行海洋生态资本的评估时,要考虑到当前的技术困难和可操作性以及人们的认识程度。因此,在海洋生态资本评估框架下,尚不能对全部 14 项生态系统服务进行评估,而只对那些现有技术条件下、相关数据资料容易获得、可以进行货币化计量的服务要素开展评估。供给服务评估设计 3 个指标:养殖生产、捕捞生产和氧气生产;调节服务价值评估设计 2 个指标:气候调节和废弃物处理;文化服务价值评估设计 2 个指标:休闲娱乐和科研服务;支持服务价值评估设计 2 个指标:物种多样性维持和生态系统多样性维持。而基因资源提供、干扰调节、生物控制和文化用途的物质量目前难以计量,其价值量难以货币化;初级生产和营养物质循环难以货币化计算,因此这 6 项服务目前没有考虑。图 1 给出了海洋生态系统服务价值的结构要素与评估指标体系。具体到某一个评估海域,应根据实际情况筛选评估要素和具体的评估指标。

## 2 海洋生态系统服务评估方法

### 2.1 供给服务评估

供给服务指海洋生态系统生产或提供实物性产品的服务。供给服务评估考虑食品生产(包括养殖生产、捕捞生产)和氧气生产。养殖和捕捞生产提供贝类、鱼类、虾蟹、头足类、海藻等海产品。海洋植物通过光合过程生产的氧气,进入大气中提供人类享用。

#### 2.1.1 养殖生产

##### (1) 物质量评估

养殖生产的物质量应采用评估海域的主要类别养殖水产品的年产量进行评估,分鱼类、甲壳类、贝类、藻类、其它等五类。数据可从评估海域毗邻行政区(省、市、县)“渔业统计年鉴(报表)”直接获得,也可通过现场调访获得。

##### (2) 价值量评估

养殖生产的价值量应采用市场价格法进行评估。计算公式为:

$$V_{SM} = \sum (Q_{SMi} \times P_{Mi}) \times 10^{-1} \quad (1)$$

式中:  $V_{SM}$  为养殖生产价值,单位为万元/a;  $Q_{SMi}$  为第  $i$  类养殖水产品的产量,单位为 t/a,  $i=1,2,3,4,5$  分别代表鱼类、甲壳类、贝类、藻类和其它;  $P_{Mi}$  为第  $i$  类养殖水产品的平均市场价格,单位为元/kg。

养殖水产品平均市场价格应采用评估海域临近的海产品批发市场的同类海产品批发价格进行计算。

#### 2.1.2 捕捞生产

##### (1) 物质量评估

如评估海域存在商业捕捞,则捕捞生产的物质量应采用捕捞年产量进行评估。数据可从评估海域毗邻行政区(省、市、县)“渔业统计年鉴(报表)”获得,也可通过现场调访获得。

如评估海域存在商业捕捞,但是没有捕捞产量统计数据,则捕捞生产的物质量推荐采用该海域渔业资源现存量的 50% 计为物质量。应根据评估海域实际情况进行调整。

如评估海域不存在商业捕捞,估算其潜在的捕捞生产服务价值。捕捞生产的物质量推荐采用该海域渔业资源现存量的

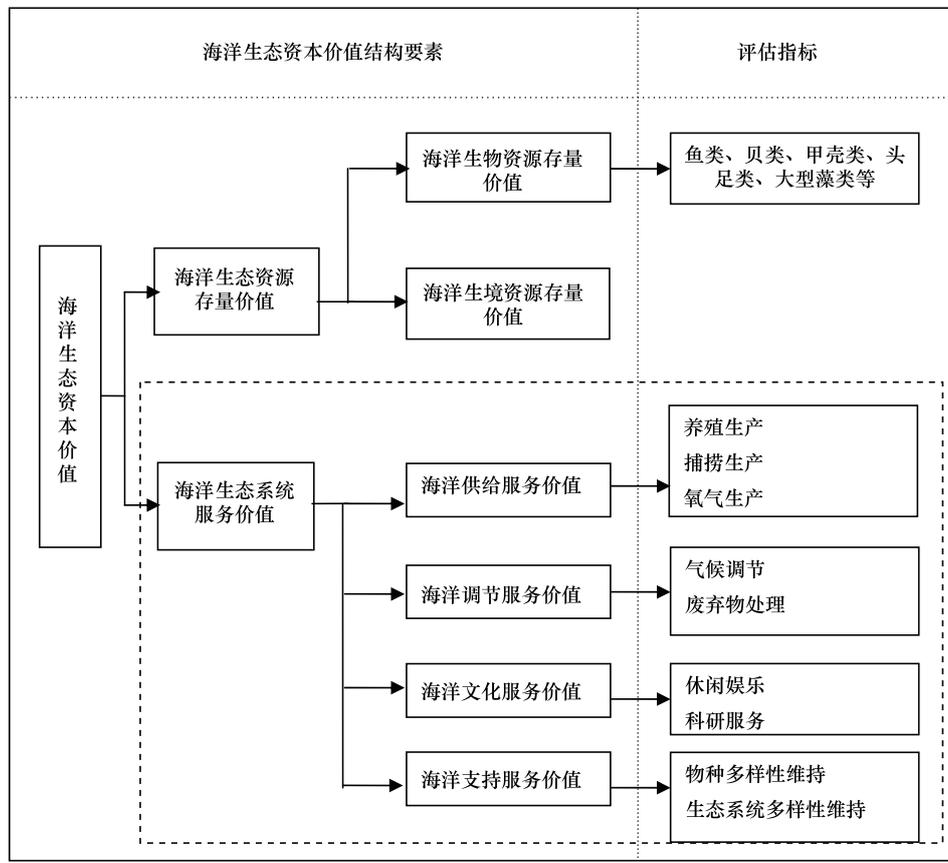


图 1 海洋生态资本价值的结构要素及其评估指标体系

Fig.1 The constituent of marine ecological capital value and their assessment indicators

50%计为物质量。应根据评估海域实际情况进行调整。

如缺少评估海域渔业资源现存量数据,可采用临近海域同类功能区的渔业资源现存量数据替代计算。

(2) 价值量评估

捕捞生产的价值量应采用市场价格法进行评估。计算公式为:

$$V_{sc} = \sum (Q_{sc_i} \times P_{ci}) \times 10^{-1} \tag{2}$$

式中,  $V_{sc}$  为捕捞生产价值,单位为万元/a;  $Q_{sc_i}$  为第  $i$  类捕捞水产品的产量,单位为  $t/a$ ,  $i=1,2,3,4,5,6$  分别代表鱼类、甲壳类、贝类、藻类、头足类和其它;  $P_{ci}$  为第  $i$  类捕捞水产品的平均市场价格,单位为元/kg。

捕捞水产品的平均市场价格应采用评估海域临近海产品批发市场的同类海产品批发价格进行计算。

2.1.3 氧气生产

(1) 物质量评估

氧气生产的物质量应采用海洋植物通过光合作用过程生产氧气的数量进行评估。包括 2 个部分,分别是浮游植物初级生产提供的氧气和大型藻类初级生产提供的氧气。

氧气生产的物质量计算公式为:

$$Q_{o_2} = Q'_{o_2} \times S \times 365 \times 10^{-3} + Q''_{o_2} \tag{3}$$

式中,  $Q_{o_2}$  为氧气生产的物质量,单位为  $t/a$ ;  $Q'_{o_2}$  为单位时间单位面积水域浮游植物产生的氧气量,单位为  $mg\ m^{-2}\ d^{-1}$ ;  $S$  为评估海域的水域面积,单位为  $km^2$ ;  $Q''_{o_2}$  为大型藻类产生的氧气量,单位为  $t/a$ ;

浮游植物初级生产提供氧气的计算公式为:

$$Q'_{o_2} = 2.67 \times Q_{pp} \tag{4}$$

式中,  $Q'_{o_2}$  为单位时间单位面积水域浮游植物产生的氧气量,单位为  $mg\ m^{-2}\ d^{-1}$ ;  $Q_{pp}$  为浮游植物的初级生产力,单位为  $mg\ m^{-2}\ d^{-1}$ 。

浮游植物的初级生产力数据推荐采用评估海域实测初级生产力数据的平均值。若评估海域内初级生产力空间变化较大,

推荐采用按克里金插值后获得的分区域初级生产力平均值进行分区计算,再进行加总。

大型藻类初级生产提供氧气的计算公式为:

$$Q''_{o_2} = 1.19 \times Q_A \quad (5)$$

式中:  $Q''_{o_2}$  为大型藻类提供的氧气量,单位为  $t/a$ ;  $Q_A$  为大型藻类的干重,单位为  $t/a$ 。

## (2) 价值量评估

氧气生产的价值量应采用替代成本法进行评估。计算公式为:

$$V_{o_2} = Q_{o_2} \times P_{o_2} \times 10^{-4} \quad (6)$$

式中:  $V_{o_2}$  为氧气生产价值,单位为万元/a;  $Q_{o_2}$  为氧气生产的物质质量,单位为  $t/a$ ;  $P_{o_2}$  为人工生产氧气的单位成本,单位为元/t。

人工生产氧气的单位成本推荐采用评估年份钢铁业液化空气法制造氧气的平均生产成本。也可根据评估海域实际情况进行调整。

## 2.2 调节服务评估

调节服务指海洋调节人类生态环境的服务。调节服务评估考虑气候调节和废弃物处理。气候调节指海洋通过吸收二氧化碳,减少大气中二氧化碳的含量进而减缓温室效应,调节气候。废弃物处理指海洋为人类处理废弃物提供的服务。人类生产、生活产生的废水等通过地表径流、直接排放等方式进入海洋,经过生物、化学和物理自净最终转化为无害物质。废弃物适度排海可减少陆上垃圾处理费用。

### 2.2.1 气候调节

#### (1) 物质质量评估

气候调节的物质质量评估推荐两个方法:

——基于海洋吸收大气二氧化碳的原理计算,适用于大面积海域评估。

——基于海洋植物(浮游植物和大型藻类)固定二氧化碳的原理计算,适用于小面积海域评估,也可用于大面积海域评估。

第一种方法,气候调节的物质质量等于评价海域的水域面积乘以单位面积水域吸收二氧化碳的量。我国各海域吸收二氧化碳的量分别是:渤海 36.88 吨每平方千米年,北黄海 35.21 吨每平方千米年,南黄海 20.94  $t \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ ,东海 2.50 吨每平方千米年,南海 4.76  $t \text{ km}^{-2} \text{ a}^{-1}$ 。

第二种方法,气候调节的物质质量等于评价海域的水域面积乘以单位面积水域浮游植物和大型藻类固定二氧化碳的量。

如果评估海域两种方法都适用,以第一种方法作为仲裁方法。

气候调节的物质质量计算公式为:

$$Q_{\text{CO}_2} = Q'_{\text{CO}_2} \times S \times 365 \times 10^{-3} + Q''_{\text{CO}_2} \quad (7)$$

式中:  $Q_{\text{CO}_2}$  为气候调节的物质质量,单位为  $t/a$ ;  $Q'_{\text{CO}_2}$  为单位时间单位面积水域浮游植物固定的二氧化碳量,单位为  $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ;  $S$  为评估海域的水域面积,单位为  $\text{km}^2$ ;  $Q''_{\text{CO}_2}$  为大型藻类固定的二氧化碳量,单位为  $t/a$ 。

浮游植物固定二氧化碳量的计算公式为:

$$Q'_{\text{CO}_2} = 3.67 \times Q_{\text{PP}} \quad (8)$$

式中:  $Q'_{\text{CO}_2}$  为单位时间单位面积水域浮游植物固定的二氧化碳量,单位为  $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ ;  $Q_{\text{PP}}$  为浮游植物的初级生产力,单位为  $\text{mg m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ 。

大型藻类固定二氧化碳量的计算公式为:

$$Q''_{\text{CO}_2} = 1.63 \times Q_A \quad (9)$$

式中:  $Q''_{\text{CO}_2}$  为大型藻类固定的二氧化碳量,单位为  $t/a$ ;  $Q_A$  为大型藻类的干重,单位为  $t/a$ 。

#### (2) 价值量评估

气候调节的价值量应采用替代市场价格法进行评估。计算公式为:

$$V_{\text{CO}_2} = Q_{\text{CO}_2} \times P_{\text{CO}_2} \times 10^{-4} \quad (10)$$

式中:  $V_{\text{CO}_2}$  为气候调节价值,单位为万元/a;  $Q_{\text{CO}_2}$  为气候调节的物质质量,单位为  $t/a$ ;  $P_{\text{CO}_2}$  为二氧化碳排放权的市场交易价格,单位为元/t。

二氧化碳排放权的市场交易价格推荐采用评估年份我国环境交易所或类似机构二氧化碳排放权的平均交易价格。也可根据评估海域实际情况进行调整。

### 2.2.2 废弃物处理

#### (1) 物质质量评估

废弃物处理的物质质量评估推荐两个方法:

——对于已知环境容量的海域,推荐采用环境容量值进行评估,废弃物处理的物质质量按 COD、氮、磷等的容纳量计算。也

可按排海废弃物的数量进行评估。

——对于未知环境容量的海域,推荐采用排海废弃物的数量进行评估。排海废弃物主要考虑废水、COD、氮、磷等。

废弃物处理(考虑排海废水)的物质质量计算公式为:

$$Q_{\text{SWT}} = Q_{\text{WW}} - Q_{\text{WW}} \times f \times 20\% \quad (11)$$

式中: $Q_{\text{SWT}}$ 为废弃物处理(考虑排海废水)的物质质量,单位为 $t/a$ ;  $Q_{\text{WW}}$ 为工业和生活废水产生量,单位为 $t/a$ ;  $f$ 为工业和生活废水所含的污染物质量百分比浓度;  $Q_{\text{WW}} \times f$ 表示工业和生活废水所含的污染物总量,单位为 $t/a$ ;  $Q_{\text{WW}} \times f \times 20\%$ 表示废水通过河流、沟渠入海过程中滞留在途中的污染物质,0.2表示滞留率。

废弃物处理(考虑排海 COD、氮、磷等污染物)的物质质量计算公式为:

$$Q_{\text{SWT}} = Q_{\text{WW}} \times f \times (1 - 20\%) \quad (12)$$

式中: $Q_{\text{SWT}}$ 为废弃物处理(考虑排海 COD、氮、磷等污染物)的物质质量,单位为 $t/a$ ;  $Q_{\text{WW}}$ 为工业和生活废水产生量,单位为 $t/a$ ;  $f$ 为工业和生活废水所含的污染物质量百分比浓度;  $(1 - 20\%)$ 表示污染物的入海率。

## (2) 价值量评估

废弃物处理的价值量应采用替代成本法进行评估。计算公式为:

$$V_{\text{SW}} = Q_{\text{SWT}} \times P_{\text{W}} \times 10^{-4} \quad (13)$$

式中: $V_{\text{SW}}$ 为废弃物处理的价值量,单位为万元/ $a$ ;  $Q_{\text{SWT}}$ 为废弃物处理的物质质量,单位为 $t/a$ ;  $P_{\text{W}}$ 为人工处理废水(COD、氮、磷等)的单位价格,单位为元/ $t$ 。

人工处理废水(COD、氮、磷等)的单位价格推荐采用评估海域毗邻行政区某年废水(COD、氮、磷等)处理设施的运行费用除以当年的废水(COD、氮、磷等)处理量得到。计算公式为:

$$P_{\text{W}} = \frac{Q_{\text{WC}}}{Q_{\text{WT}} \times \eta} \quad (14)$$

式中: $P_{\text{W}}$ 为人工处理废水(COD、氮、磷等)的单位价格,单位为元/ $t$ 。  $Q_{\text{WC}}$ 为评估海域毗邻行政区(省、市、县)某年废水(COD、氮、磷等)处理设施的运行费用,单位为万元/ $t$ ;  $Q_{\text{WT}}$ 为评估海域毗邻行政区(省、市、县)某年的废水(COD、氮、磷等)产生量,单位为万 $t/a$ ;  $\eta$ 为废水(COD、氮、磷等)处理率。

## 2.3 文化服务评估

文化服务指人们通过精神感受、知识获取、主观印象、消遣娱乐和美学体验从海洋生态系统中获得的非物质利益。文化服务评估考虑休闲娱乐服务和科研服务。休闲娱乐服务指海洋提供人们游玩、观光、游泳、垂钓、潜水等方面的服务。科研服务指海洋提供了科研的场所和材料,提供知识创造的服务。

### 2.3.1 休闲娱乐

#### (1) 物质质量评估

休闲娱乐的物质质量应采用具体海域海洋旅游景区的年旅游人数评估。数据可从省、市、县“统计年鉴”或“国民经济发展统计公报”中直接获取,也可通过现场调查获得。若评估海域没有较大规模的旅游活动,可不进行该项评估。

#### (2) 价值量评估

休闲娱乐服务价值量评估推荐两个方法:

——若评估海域旅游景区较少,则休闲娱乐服务的价值量宜采用分区旅行费用法或个人旅行费用法进行评估。休闲娱乐服务价值等于总旅行费用加上总消费者剩余。

——若评估海域旅游景区较多,难以针对每个景区开展问卷调查,则休闲娱乐服务的价值量宜使用收入替代法进行评估。

基于分区旅行费用法的休闲娱乐服务价值量计算公式为:

$$V_{\text{ST}} = \sum \int_0^Q F(Q) \quad (15)$$

式中: $V_{\text{ST}}$ 为休闲娱乐服务的价值量,单位为万元/ $a$ ;  $F(Q)$ 是通过问卷调查数据回归拟合得到的旅游需求函数。

$F(Q)$ 通过旅行费用问卷调查法获得。调查问卷应包括旅行者出发地、旅游次数、旅行费用、家庭收入等调查项目。

基于个人旅行费用法的休闲娱乐服务价值量计算公式为:

$$V_{\text{ST}} = (\overline{TC} + CS) \times P \quad (16)$$

式中: $V_{\text{ST}}$ 为休闲娱乐服务的价值量,单位为万元/ $a$ ;  $\overline{TC}$ 为单个游客旅行费用的平均值,单位为元/人;  $CS$ 为单个游客的消费者剩余,单位为元/人;  $P$ 为旅游景区接待的旅游总人数,单位为万人/ $a$ 。

$\overline{TC}$ 通过旅行费用问卷调查法获得,调查问卷应包括旅行者出发地、旅游次数、旅行费用、家庭收入等调查项目。 $CS$ 通过对游客旅行次数和旅行费用等参数回归分析后得到。

收入替代法的计算公式为:

$$V_{ST} = \sum_j^m \sum_i^n (V_{T_j} \times F_{ji}) \quad (17)$$

式中:  $V_{ST}$  为休闲娱乐服务的价值量,单位为万元/a;  $V_{T_j}$  为评估海域毗邻的第  $j$  个沿海市(县)某年的旅游收入,单位为万元/a;  $F_{ji}$  为评估海域内第  $i$  个滨海旅游景区对其所在市(县) $j$  的旅游收入的影响调整系数;  $m$  为评估海域毗邻沿海市(县)个数;  $n$  为评估海域某个沿海市(县)的滨海旅游景区数。

$F_{ji}$  由景区海岸线长度系数  $P_{ji}$  和景区级别系数  $Q_{ji}$  组成,计算公式为:

$$F_{ji} = \frac{P_{ji} + Q_{ji}}{2} \quad (18)$$

式中:  $F_{ji}$  为评估海域内第  $i$  个滨海旅游景区对其所在市(县) $j$  的旅游收入的影响调整系数;  $P_{ji}$  为景区海岸线长度系数;  $Q_{ji}$  为景区级别系数。

景区海岸线长度系数计算公式为:

$$P_{ji} = \frac{L_i}{\sum_i L_{ji}} \quad (19)$$

式中:  $P_{ji}$  为景区海岸线长度系数;  $L_i$  为评估海域内第  $i$  个滨海旅游景区的海岸线长度,单位 km;  $\sum_i L_{ji}$  为第  $i$  个滨海旅游景区所在市(县) $j$  的主要滨海旅游景区海岸线长度总和,单位 km。

景区级别系数计算公式为:

$$Q_{ji} = \frac{D_i}{\sum_i D_{ji}} \quad (20)$$

式中:  $Q_{ji}$  为景区级别系数;

$D_i$  为评估海域内第  $i$  个滨海旅游景区的景区级别分值;  $\sum_i D_{ji}$  为第  $i$  个滨海旅游景区所在市(县) $j$  的主要滨海旅游景区景区级别分值总和。

$D_i$  指根据国家旅游局评定的景区级别,赋以其一定分值。5A 级景区赋值 6 分,4A 级景区赋值 5 分,依次类推,直到 1A 级景区赋值 2 分,未定景区级别但是在评估海域又相对重要的景区赋值 1 分,其他赋值 0 分。

### 2.3.2 科研服务

#### (1) 物质量评估

科研服务的物质量推荐采用公开发表的以评估海域为调查研究区域或实验场所的海洋类科技论文数量进行评估。具体论文数量推荐通过科技文献检索引擎,如“维普《中文科技期刊数据库》(全文版)”,“CNKI 中国知网”,“万方数据知识服务平台”,对主题和关键词进行检索再逐一筛选后获得。主题及关键词的选择一般应包括:海域名称、主要海洋生态系统名称以及沿海省(市、县)名称与关键词“海”、“湾”、“河口”、“岛”等的组合。

#### (2) 价值量评估

科研服务的价值量应采用替代成本法进行评估。计算公式为:

$$V_{SR} = Q_{SR} \times P_R \quad (21)$$

式中:  $V_{SR}$  为科研服务的价值量,单位为万元/a;  $Q_{SR}$  为科研服务的物质量,单位为篇/a;  $P_R$  为每篇海洋类科技论文的科研经费投入,单位为万元/篇。

每篇海洋类科技论文的科研经费投入数据宜采用国家海洋局海洋科技投入经费总数与同年发表海洋类科技论文总数之比。根据国家海洋局《2005 年海洋科技年报》数据计算,2005 年每篇海洋类科技论文的科研经费投入为 35.76 万元。

### 2.4 支持服务评估

支持服务是保证海洋生态系统为人类提供供给、调节和文化服务所必需的基础服务。支持服务评估考虑生物多样性维持服务,具体包括物种多样性和生态系统多样性的维持服务价值。海洋生物多样性维持服务指海洋中不仅生活着丰富的生物种群,还为其提供了重要的栖息地、产卵场、越冬场、避难所等庇护场所。海洋物种多样性维持服务主要通过海洋珍稀濒危生物的维持和保存来实现。海洋生态系统多样性维持服务主要通过维持高生物多样性价值的关键生境来实现。虽然海洋中每一种生物、每一块生境对维持生物多样性都有贡献,但是海洋生物多样性维持服务的价值主要体现在那些珍稀濒危生物和关键的生境上。比如,国家级的海洋保护物种和保护区就具有较高的生物多样性维持服务价值。

#### 2.4.1 物种多样性维持

##### (1) 物质量评估

物种多样性维持的物质量应采用具体评估海域内分布的海洋保护物种数(国家级、省级)以及在当地有重要价值(科学的、

文化的、宗教的、经济的)的海洋物种数来进行评估。

### (2) 价值量评估

物种多样性维持的价值量应采用条件价值法进行评估。推荐采用评估海域毗邻行政区(省、市、县)的城镇人口对该海域内的海洋保护物种以及当地有重要价值的海洋物种的支付意愿来评估物种多样性维持服务的价值。计算公式为:

$$V_{SSD} = \sum WTP_j \times \frac{P_j}{H_j} \times \eta \quad (22)$$

式中:  $V_{SSD}$  为物种多样性维持的价值量,单位为万元/a;  $WTP_j$  为物种多样性维持支付意愿,即评估海域内第  $j$  个沿海行政区(省、市、县)以家庭为单位的物种保护支付意愿的平均值,单位为元  $\text{户}^{-1} \text{a}^{-1}$ ;  $P_j$  为评估海域内第  $j$  个沿海行政区(省、市、县)的城镇人口数,单位为万人;  $H_j$  为评估海域内第  $j$  个沿海行政区(省、市、县)的城镇平均家庭人口数,单位为人/户;  $\eta$  为被调查群体的支付率。

## 2.4.2 生态系统多样性维持

### (1) 物质量评估

生态系统多样性维持的物质量应采用具体评估海域内分布的国家、省级的海洋自然保护区、海洋特别保护区和水产种质资源保护区数量进行评估。

### (2) 价值量评估

生态系统多样性维持的价值量应采用条件价值法进行评估。推荐采用评估海域毗邻行政区(省、市、县)城镇人口对该海域内的海洋自然保护区、海洋特别保护区和水产种质资源保护区的支付意愿来表示生态系统多样性维持服务的价值。计算公式为:

$$V_{SED} = \sum WTP_j \times \frac{P_j}{H_j} \times \eta \quad (23)$$

式中:  $V_{SED}$  为生态系统多样性维持的价值量,单位为万元/a;  $WTP_j$  为生态系统多样性维持支付意愿,即评估海域内第  $j$  个沿海行政区(省、市、县)以家庭为单位的保护区支付意愿的平均值,单位为元  $\text{户}^{-1} \text{a}^{-1}$ ;  $P_j$  为评估海域内第  $j$  个沿海行政区(省、市、县)的城镇人口数,单位为万人;  $H_j$  为评估海域内第  $j$  个沿海行政区(省、市、县)的城镇平均家庭人口数,单位为人/户;  $\eta$  为被调查群体的支付率。

## 3 对评估方法的进一步说明

评估养殖和捕捞生产时,水产品单价数据应选取评估海域最临近的水产品市场的价格,最好是水产品批发价格。如果采用离评估海域较远城市的批发市场价格,则价格中包含了较多的运输成本、冷冻成本和物流企业的利润等,会导致评估的价值与真实的价值差距更大。理论上应该扣除企业的养殖生产成本、捕捞生产成本。因为成本数据属于企业的商业机密,难以获得,所有本文没有推荐扣除。这会导致供给服务价值产生系统性的偏高估计误差。

评估氧气生产服务时只考虑了浮游植物和大型海藻的氧气生产,没有扣除海洋生态系统的耗氧,属于系统性的偏高估计。海洋生态系统的耗氧包括海洋植物、细菌、浮游动物、底栖动物、游泳动物等生物的呼吸耗氧,它们的测定较复杂,海洋调查监测一般不测定这些参数,所以在评估海洋生态资本时,暂时没有考虑扣除。

评估气候调节服务的第一种方法只考虑了浮游植物和大型海藻的固定的二氧化碳量,没有扣除海洋生态系统的排放的二氧化碳量,属于系统性的偏高估计。海洋生态系统的排放二氧化碳包括海洋植物、细菌、浮游动物、底栖动物、游泳动物等生物通过生理活动排放氧气到海水中,它们的测定十分复杂,海洋调查监测工作一般不测定这些参数,所以在评估海洋生态资本时,暂时没有考虑扣除。因此,基于第一个方法评估的气候调节服务值将有所高估。采用第二种方法,即基于海气界面二氧化碳通量监测数据来评估气候调节服务,结果会更准确,反映了海洋生态系统对大气中二氧化碳温室气体的净吸收量。但是,我国近海进行海气界面二氧化碳通量监测的站位非常少,绝大多数海域的气候调节服务还是只能采用第一种方法。采用我国北京和上海环境交易所的二氧化碳排放权的单位价格计算海洋生态系统的气候调节服务价值,而不是造林成本法。造林获得的收益不仅包括调节气候,还包括生产氧气、防风固沙、涵养水源、调节空气质量、保持水土及维持营养物质等多种服务,所以采用单位造林成本法计算海洋生态系统气候调节服务不合适。此外,采用国外二氧化碳排放价格(如瑞典碳税法、欧美航空碳税法)也不适用于我国情况。因为我国的商品和服务定价体系与其它国家或市场主体)定价体系不同,不能简单地按照汇率换算就用到我国。这个原则也适用于所有的生态系统服务要素的价格数据采用。

对于废弃物处理服务评估,利用环境容量进行评估,反映的是生态环境可持续利用前提下评估海域能够实现废弃物处理的最大服务能力。利用废弃物排海数据进行评估,反映的是海域实际产生的废弃物处理服务价值。目前我国近海大部分海域没有进行环境容量评估,废弃物排海数据容易获得。利用废弃物排海数据进行评估时主要考虑排海废水的数量。

对于休闲娱乐服务评估,分区旅行费用法适用于景区知名度较高、游客较多并且来源地分布广泛的滨海旅游景区,而且旅行费用与旅行距离存在显著正相关关系。而个人旅行费用法主要适用于当地或邻近地区游客为主的景区,同时不同游客到景

区旅游的次数呈现出较为离散的特征。

科研服务的价值评估理论上最好采用科研成果转化的经济效益评估,但难以获得相关统计数据。采用成本法评估价值也是环境经济学经常采用的评估方法。科研服务的价值量利用评估海域相关科研成果的政府科研经费投入进行评估。科技论文是科研成果的主要形式,也是容易统计的指标。全国的海洋科研投入容易获得,但是具体评估海域的科研投入很难获得。采用发表的评估海域有关的科研论文数量来间接评估投入到评估海域的科研成本。用每篇海洋科技论文的平均科研成本乘以评估海域论文数,可得评估海域科研服务价值量。根据国家海洋局 2006 年 8 月发布的《2005 年海洋科技年报》推算每篇海洋类科技论文的平均科研经费投入 35.76 万元。

对于物种和生态系统多样性维持服务评估,进行问卷调查主要在评估海域临近的城镇进行,这些地区的居民是物种及生态系统多样性维持服务的主要受益群体。城镇居民较为集中,随机抽样调查可行性较强,城镇居民的相关社会经济资料也较为全面、详细和易得。而农村居民较分散,进行调查需要太多的人力、物力和财力。

根据以往研究评估山东 7 个沿海地市海洋生态资本的情况,海洋生态资本价值构成中,海洋生物资源现存量价值占 11%,生态系统服务价值占 89%。生态系统服务价值中,供给服务价值占 37.2%,调节服务价值占 1.5%,文化服务价值占 58.6%,支持服务价值占 2.7%。说明近海生态系统服务主要来自供给服务和文化服务,主要依赖于养殖业和海洋旅游业的贡献。通过近海生态环境开发利用活动分析,说明本文选择的海洋生态系统服务评估要素是海洋生态系统服务的主体,所推荐的评估方法兼顾了科学合理性、数据可获得性、可比较性的平衡。

## References:

- [ 1 ] Chen S, Ren D C, Li J M, Xia T, Wang D, Du G Y, Wang Q X, Ke S Y, Wang L, Wang M, Zhao Z Y. Marine ecological capital: concept and attributes. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6323-6330.
- [ 2 ] Serageldin I. Sustainability and the Wealth of Nations-First Steps in an Ongoing Journey. Washington, D.C: World Bank.1996.
- [ 3 ] Costanza R, D' Arge R, De Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'neill T, Paruelo J, Raskin R G, Sutton P, Vandenbelt M. The Value of the World's Ecosystem Services and Natural Capital. *Nature*, 1997, 387: 253-260.
- [ 4 ] Daly H E. Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystem. Washington DC: Island Press.1997.
- [ 5 ] Ouyang Z Y, Wang X K, Miao H. A primary study on Chinese terrestrial ecosystem services and their ecological-economic value. *Acta Ecologica Sinica*, 1999, 19(5): 607-613.
- [ 6 ] Millennium Ecosystem Assessment(MA). Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington DC: Island Press, 2005.
- [ 7 ] Chen S, Zhang Z H, Ma Y, Shi H H, Ma A Q, Zheng W, Wang Q X, Peng Y L, Liu J. Program for service evaluation of marine ecosystems in China waters. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(11): 1127-1133.
- [ 8 ] Han W D, Gao X M, Lu C Y, Lin P. The Ecological Values of Mangrove Ecosystems in China. *Ecologic Science*, 2000, (19): 40-46.
- [ 9 ] Peng B R, Hong H S. Evaluation of Coastal Ecosystem Services—Theory and Application. Beijing: Ocean Press, 2006.
- [ 10 ] Yang Q W, Lan C Y, Xin K. Evaluation on the value of the ecosystem services of the coastal zone in Guangdong and Hainan. *Marine Environmental Science*, 2003(22): 25-29.
- [ 11 ] Zhang Z H, Lv J B, Ye S Y, Zhu M Y. Values of marine ecosystem services in Sanggou Bay. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 11(18): 2540-2547.
- [ 12 ] Shi H H, Zheng W, Ding D W, Lv J B, Zhang X L. Valuation of typical marine ecosystem services a case study in Sanggou Bay. *Marine Environmental Science*, 2008, 27(2): 101-104
- [ 13 ] Zheng W. Valuation of Marine Ecosystem Services and Its Application[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
- [ 14 ] Wu S S, Liu R Z, Qi L M, Liang X B. Value Assessment of Marine Ecosystem Service in Bohai Sea. *China Population Resources and Environment*, 2008, 18(2): 65-69
- [ 15 ] Wang Q X. Assessment of Yellow Sea Ecosystem Service[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [ 16 ] Chen S, Re D C, Li J M, Xia T, Wang D, Du G Y, Wang Q X, Ke S Y, Wang M, Wang L, Zhao Z Y. Marine ecological capital: its value's constituent and assessment indicators. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6331-6337.
- [ 17 ] Chen S, Du G Y, Xia T, Wang M, Zhao Z Y. Valuation of Ecological Capital of Shandong Coastal Waters. Beijing: Ocean Press, 2012.
- [ 18 ] Wang M, Chen S, Xia T, Du G Y, Wang W, Zhang T. Valuation of ecological capital in Shandong coastal waters: provisioning service value. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(19): 5561-5570.
- [ 19 ] Wang L, Chen S, Re D C, Ke S Y, Li J M, Wang D. Valuation of Species Diversity Maintenance Service in Luoyuan Bay Based on Continent Valuation Method. *Advances In Earth Science* 2010, 25(8): 974-980.
- [ 20 ] Li J M, Zhang G Q, Chen S, Li L. An Empirical Analysis of Marine Ecological Capital's Contribution to Regional Economy of Luoyuan Bay. *The Journal of Ocean University of China*, 2012, No.1: 43-47.

## 参考文献:

- [ 1 ] 陈尚,任大川,李京梅,夏涛,王栋,杜国英,王其翔,柯淑云,王丽,王敏,赵志远. 海洋生态资本概念与属性界定. 生态学报,2010,30(23):6323-6330.
- [ 5 ] 欧阳志云,王效科,苗鸿. 中国陆地生态系统服务功能及其生态经济价值的初步研究. 生态学报,1999,19(5):607-613.
- [ 8 ] 韩维栋,高秀梅,卢昌义,林鹏. 中国红树林生态系统生态价值评估. 生态科学,2000,(1):40-46.
- [ 9 ] 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.
- [ 10 ] 杨清伟,蓝崇钰,辛琨. 广东—海南海岸带生态系统服务价值评估. 海洋环境科学,2003(22):25-29.
- [ 11 ] 张朝晖,吕吉斌,叶属峰,朱明远. 桑沟湾海洋生态系统的服务价值. 应用生态学报,2007,11(18):2540-2547.
- [ 12 ] 石洪华,郑伟,丁德文,吕吉斌,张学雷. 典型海洋生态系统服务功能及价值评估——以桑沟湾为例. 海洋环境科学,2008,4(27):101-104.
- [ 13 ] 郑伟. 海洋生态系统服务及其价值评估应用研究. 中国海洋大学博士论文,2008:62-128.
- [ 14 ] 吴姗姗,刘容子,齐连明,梁湘波. 渤海海域生态系统服务功能价值评估. 中国人口资源与环境,2008,18(2):65-69.
- [ 15 ] 王其翔. 黄海海洋生态系统服务评估. 中国海洋大学博士学位论文,2009:72-118.
- [ 16 ] 陈尚,任大川,夏涛,李京梅,杜国英,王栋,王其翔,柯淑云,王丽,王敏,赵志远. 海洋生态资本价值结构要素与评估指标体系. 生态学报,2010,30(23):6331-6337.
- [ 17 ] 陈尚,杜国英,夏涛,王敏,赵志远. 2012. 山东近海生态资本评估. 北京:海洋出版社.
- [ 18 ] 王敏,陈尚,夏涛,杜国英,王蔚,张涛. 山东近海生态资本价值评估——供给服务价值. 生态学报. 2011,31(19):5561-5570.
- [ 19 ] 王丽,陈尚. 基于条件价值法评估罗源湾生物多样性维持服务价值. 地球科学进展. 2010,25(8):974-979
- [ 20 ] 李京梅,张国庆,陈尚,李蕾. 罗源湾海洋生态资本对区域经济贡献度的实证分析. 中国海洋大学学报(社会科学版),2012, No.1:43-47.

# ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33 ,No.19 Oct. ,2013 ( Semimonthly )

## CONTENTS

A review of ecosystem services and research perspectives .....	MA Fengjiao, LIU Jintong, A. Egrinya Eneji (5963)
Sexual interference in non-human primates .....	YANG Bin, WANG Chengliang, JI Weihong, et al (5973)
Density-dependent effect on reproduction of rodents; a review .....	HAN Qunhua, GUO Cong, ZHANG Meiwen (5981)
Proximate and ultimate determinants of food chain length .....	WANG Yuyu, XU Jun, LEI Guangchun (5990)
Mechanism of biological control to plant diseases using arbuscular mycorrhizal fungi .....	..... LUO Qiaoyu, WANG Xiaojuan, LI Yuanyuan, et al (5997)
Advances in effects of conservation tillage on soil organic carbon and nitrogen .....	..... XUE Jianfu, ZHAO Xin, Shadrack Batsile Dikgwatlhe, et al (6006)
Habitat selection of the pre-released giant panda in Wolong Nature Reserve .....	..... ZHANG Mingchun, HUANG Yan, LI Desheng, et al (6014)
Activity rhythm and behavioral time budgets of wild Reeves's Pheasant ( <i>Syrnaticus reevesii</i> ) using infrared camera .....	..... ZHAO Yuze, WANG Zhichen, XU Jiliang, et al (6021)
The energy budget of tree sparrows <i>Passer montanus</i> in wind different speed and duration .....	..... YANG Zhihong, WU Qingming, DONG Haiyan, et al (6028)
Nest site characteristics of <i>Petaurista caniceps</i> in Baima Snow Mountain Nature Reserve .....	..... LI Yanhong, GUAN Jinke, LI Dayong, HU Jie (6035)
Effects of habitat fragmentation on the genetic diversity of <i>Pachycondyla luteipes</i> on islands in the Thousand Island Lake, East China .....	..... LUO Yuanyuan, LIU Jinliang, HUANG Jieliang, et al (6041)
The molecular genetic relationship between the pollinators of <i>Ficus pumila</i> var. <i>pumila</i> and <i>Ficus pumila</i> var. <i>aukeotsang</i> .....	..... WU Wenshan, CHEN Youling, SUN Lingli, et al (6049)
The genetic evolutionary relationships of two <i>Eupristina</i> species on <i>Ficus altissima</i> .....	..... CHEN Youling, SUN Lingli, WU Leilei, et al (6058)
Metal uptake and root morphological changes for two varieties of <i>Salix integra</i> under cadmium stress .....	..... WANG Shufeng, SHI Xiang, SUN Haijing, et al (6065)
Effects of phthalic acid on seed germination, membrane lipid peroxidation and osmoregulation substance of radish seedlings .....	..... YANG Yanjie, WANG Xiaowei, ZHAO Kang, et al (6074)
The morphological and physiological responses of <i>Tamarix ramosissima</i> seedling to different irrigation methods in the extremely arid area .....	..... MA Xiaodong, WANG Minghui, LI Weihong, et al (6081)
Response characteristics of photosynthetic and physiological parameters in <i>Ziziphus jujuba</i> var. <i>spinosa</i> seedling leaves to soil water in sand habitat formed from seashells .....	..... WANG Rongrong, XIA Jiangbao, YANG Jihua, et al (6088)
Effects of ceramsite mulching on soil water content, photosynthetic physiological characteristics and growth of plants .....	..... TAN Xuehong, GUO Xiaoping, ZHAO Tingning (6097)
Dynamics of tannin concentration and nutrient resorption for branchlets of <i>Casuarina equisetifolia</i> plantations at different ages .....	..... YE Gongfu, ZHANG Shangju, ZHANG Lihua, et al (6107)
Sulfur contents in leaves and branches of dominant species among the three forest types in the Pearl River Delta .....	..... PEI Nancai, CHEN Bufeng, ZOU Zhijin, et al (6114)
Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus on growth dynamics of <i>Bauhinia faberi</i> seedlings .....	..... SONG Chengjun, QU Laiye, MA Keming, et al (6121)
Characteristics of ion accumulation and seed germination for seeds from plants cultured at different concentrations of nitrate nitrogen and salinity .....	..... ZHOU Jiachao, FU Tingting, ZHAO Weiwei, et al (6129)
Physio-ecological effects of endophyte infection on the host grass with elevated CO <sub>2</sub> .....	..... SHI Zhibing, ZHOU Yong, LI Xia, et al (6135)
Effects of pretreatment on germination of <i>Typha domingensis</i> and <i>Phragmites australis</i> .....	..... MENG Huan, WANG Xuehong, TONG Shouzheng, et al (6142)
Transfer characteristics of cadmium from soil to <i>Salix × aureo-pendula</i> .....	..... ZHANG Wen, WEI Hong, SUN Xiaocan, et al (6147)
Effect of Close-to-Nature management on the natural regeneration and species diversity in a masson pine plantation .....	..... LUO Yinghua, SUN Dongjing, LIN Jianyong, et al (6154)
Population dynamics and seed banks of the threatened seagrass <i>Halophila beccarii</i> in Pearl Bay, Guangxi .....	..... QIU Guanglong, FAN Hangqing, LI Zongshan, et al (6163)
Effects of biological crusts on dew deposition and evaporation in the Southern Edge of the Mu Us Sandy Land, Northern China .....	..... YIN Ruiping, WU Yongsheng, ZHANG Xin, et al (6173)
Life history characteristics and spatial distribution of <i>Populus pruinosa</i> population at the upper reaches of Tarim River .....	..... HAN Lu, XI Linqiao, WANG Jiaqiang, et al (6181)
Interactive effects of short-term nitrogen enrichment and simulated grazing on ecosystem respiration in an alpine meadow on the Tibetan Plateau .....	..... ZONG Ning, SHI Peili, JIANG Jing, et al (6191)

- The correlation between soil water salinity and plant community distribution under micro-topography in Songnen Plain ..... YANG Fan, WANG Zhichun, WANG Yunhe, et al (6202)
- Comparison of TSP, PM<sub>2.5</sub> and their water-soluble ions from both inside and outside of Dafushan forest park in Guangzhou during rainy season ..... XIAO Yihua, LI Jiong, KUANG Yuanwen, et al (6209)
- Fish community ecology in rocky reef habitat of Ma'an Archipelago II. Spatio-temporal patterns of community structure ..... WANG Zhenhua, ZHAO Jing, WANG Kai, et al (6218)
- Interannual variation in the population dynamics of snailfish *Liparis tanakae* in the Yellow Sea ..... CHEN Yunlong, SHAN Xiujuan, ZHOU Zhipeng, et al (6227)
- Spatial and temporal variation of soil macro-fauna community structure in three temperate forests ..... LI Na, ZHANG Xueping, ZHANG Limin (6236)
- Community structure and species biodiversity of fig wasps in syconia of *Ficus superba* Miq. var. *japonica* Miq. in Fuzhou ..... CHEN Youling, CHEN Xiaoqian, WU Wenshan, et al (6246)
- Marine ecological capital: valuation methods of marine ecosystem services ..... CHEN Shang, REN Dachuan, XIA Tao, et al (6254)
- Geomorphologic regionalization of China aimed at construction of nature reserve system ..... GUO Ziliang, CUI Guofa (6264)
- Impact of ecological vegetation construction on the landscape pattern of a Loess Plateau Watershed ..... YI Yang, XIN Zhongbao, QIN Yunbin, et al (6277)
- Spatial heterogeneity of soil moisture across a cropland-grassland mosaic: a case study for agro-pastoral transition in north of China ..... WANG Hongmei, WANG Zhongliang, WANG Kun, et al (6287)
- The regional diversity of changes in growing duration of spring wheat and its correlation with climatic adaptation in Northern China ..... E Youhao, HUO Zhiguo, MA Yuping, et al (6295)
- Response of soil physical-chemical properties to rocky desertification succession in South China Karst ..... SHENG Maoyin, LIU Yang, XIONG Kangning (6303)
- Prediction of the effects of climate change on the potential distribution of mire in Northeastern China ..... HE Wei, BU Rencang, LIU Hongjuan, et al (6314)
- Soil nitrogen mineralization and associated temperature sensitivity of different Inner Mongolian grasslands ..... ZHU Jianxing, WANG Qiufeng, HE Nianpeng, et al (6320)
- Effects of land use on soil nutrient in oasis-desert ecotone in the middle reach of the Heihe River ..... MA Zhimin, LÜ Yihe, SUN Feixiang, et al (6328)
- Assessment on heavy metal pollution status in paddy soils in the northern Chengdu Plain and their potential ecological risk ..... QIN Yusheng, YU Hua, FENG Wenqiang, et al (6335)
- Relationship between the temporal-spatial distribution of longline fishing grounds of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) and the thermocline characteristics in the Central Atlantic Ocean ..... YANG Shenglong, MA Junjie, ZHANG Yu, et al (6345)
- Biological nitrogen fixation in the upper water column in the south Taiwan Strait during summer 2011 ..... LIN Feng, CHEN Min, YANG Weifeng, et al (6354)
- Storage and drivers of forests carbon on the Beichangshan Island of Miaodao Archipelago ..... SHI Honghua, WANG Xiaoli, WANG Ai, et al (6363)
- Impact of changes in vegetation types on soil C mineralization and associated temperature sensitivity in the Changbai Mountain forests of China ..... WANG Dan, LÜ Yuliang, XU Li, et al (6373)
- Analysis of relationship between genetic structure of Chinese Pine and mountain barriers ..... MENG Xiangxiang, DI Xiaoyan, WANG Mengben, et al (6382)
- Soil organic carbon interpolation based on auxiliary environmental covariates: a case study at small watershed scale in Loess Hilly region ..... WEN Wen, ZHOU Baotong, WANG Yafeng, et al (6389)
- Eco-management benefit analysis of industrial resources from life cycle perspective: a case study of a virtual symbiosis network ..... SHI Xiaoqing, LI Xiaonuo, YANG Jianxin (6398)
- The game analysis between poverty and environment in ecologically fragile zones ..... QI Xinhua, YE Shilin, CHENG Yu, et al (6411)
- The coupling development of economy and environment under the background of World Expo in Shanghai ..... NI Yao, YUE Wenzhe, ZHANG Yuntang, et al (6418)

# 《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,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,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

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

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

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

本期责任副主编 陈利顶 编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报  
(SHENGTAI XUEBAO)  
(半月刊 1981 年 3 月创刊)  
第 33 卷 第 19 期 (2013 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 33 No. 19 (October, 2013)

编 辑 《生态学报》编辑部  
地址:北京海淀区双清路 18 号  
邮政编码:100085  
电话:(010)62941099  
www.ecologica.cn  
shengtaixuebao@rcees.ac.cn

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