

# 海洋生态系统服务价值及评估研究进展

吴素文<sup>1,2</sup>, 宋军<sup>1,2</sup>, 张燕<sup>1,2,3</sup>, 袁泽轶<sup>4</sup>, 张跃<sup>1,2</sup>

(1. 大连海洋大学 海洋科技与环境学院, 辽宁 大连 116023; 2. 大连海洋大学 应用海洋学研究所, 辽宁 大连 116023; 3. 辽宁省近岸海洋环境科学与技术重点实验室, 辽宁 大连 116023; 4. 国家海洋信息中心, 天津 300171)

**摘 要:** 从服务产生的过程和学科两个角度对海洋生态系统服务概念进行了分析, 以实际评估为出发点, 讨论并优化了海洋生态系统服务的功能分类, 并在此分类基础上, 对各种功能进行分析, 尤其是调节服务功能的评估方法及适用性, 最后针对海洋生态系统服务价值评估未来的研究趋势进行展望。

**关键词:** 海洋生态系统服务; 功能分类; 价值评估; 研究进展

**中图分类号:** P76 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2022)01-0104-13

## 1 引言

海洋不仅为地球上的生物提供赖以生存的环境, 更为人类提供资源与服务。随着资源的过度利用、污染和自然灾害等情况的发生, 生态系统不断遭到破坏, 人类必须采取必要的手段和措施维持生态系统的稳定性。这就需要我们了解海洋生态系统服务的产生机制和具体类型, 针对具体的生态系统服务功能采取相应的维护措施和管理手段, 使生态系统发挥最大的效用为人类提供福利。人类开发自然资源必须采取生态补偿措施, 使生态破坏者和生态保护受益者分别付出成本和支付费用, 同时使生态保护者得到激励, 因此, 有必要对资源开发所造成的生态损失定量评估。由此可见, 海洋生态系统服务价值及评估研究对海洋资源可持续开发利用、国民经济核算、海洋生态系统服务有偿使用、生态赔偿或补偿和海岸带综合管理等均具有重要支撑作用。许多学者围绕海洋生态系统服务理论<sup>[1-3]</sup>、评估方法<sup>[4-6]</sup>和应用实践<sup>[7-9]</sup>开展了诸多研究。

本文将梳理已有研究成果, 从海洋生态系统服务及价值概念发展、生态系统功能分类即评估指标体系、评估方法及应用等方面进行讨论分析, 最后对未来研究中需要进一步拓展的内容提出建议, 以期为海洋生态系统服务价值评估研究提供借鉴。

## 2 海洋生态系统服务内涵及发展

生态系统服务的理念最早由 Holdren 等<sup>[10]</sup>在 1974 年提出。1997 年, Costanza 等<sup>[11]</sup>通过大量研究, 从社会科学的视角提出生态系统的产品和服务都属于生态系统服务范畴<sup>[12]</sup>。同年, Daily<sup>[13]</sup>从生态学的学科视角指出生态系统服务是生态系统为人类生存提供的生态过程以及条件的统称<sup>[15]</sup>。2003 年, 千年生态系统评估机构 (Millennium Ecosystem Assessment, MEA) 经过大量分析和研究<sup>[14]</sup>, 将生态系统服务阐述为人类从生态系统中得到的好处或者惠益<sup>[15]</sup>。这 3 种定义方法是目前最普遍的主流观点, 且受到绝大部分学者的认可和引

收稿日期: 2021-01-06; 修回日期: 2021-05-11。

**基金项目:** 辽宁省自然科学基金指导计划项目(2019-ZD-0729); 国家自然科学基金项目(41206013, 41430963); 国家重点研发计划项目(2019YFC1407700); 自然资源部海洋环境信息保障技术重点实验室开放基金; 自然资源部海洋信息技术创新中心开放基金; 辽宁省“兴辽英才计划”项目(XLYC1807161); 大连市高层次人才创新支持计划(2017RQ063); 大连海洋大学“湛蓝学者工程”; 辽宁省教育厅项目(QL201905); 空间海洋遥感与应用研究重点实验室开放基金重点课题(201601003); 国家科技支撑计划项目(2014BAB12B02); 国家建设高水平大学公派研究生项目(留金出[2008]3019; [2012]2013); 辽宁省高等学校海洋产业技术研究院项目; 海洋公益性行业科研专项(201205018)。

**作者简介:** 吴素文(1988-), 女, 助理工程师, 硕士在读, 主要从事海洋环境科学研究。E-mail: 1971409133@qq.com

**通讯作者:** 张燕(1979-), 女, 副教授, 博士, 主要从事环境海洋学研究。E-mail: zhyang@dlou.edu.cn

用<sup>[16-19]</sup>。海洋生态系统服务被认为是生态系统服务概念在海洋生态系统的具休解释,它的提出缩短了海洋生态管理和社会发展的差距<sup>[8]</sup>。目前,海洋生态系统服务并没有被广为接受的定义<sup>[20]</sup>,我国以及外国学者基于不同的立场和角度对其进行界定。

从服务产生的过程角度,有两种定义方法。一种是张朝晖等<sup>[11-21]</sup>借助服务实现的途径、载体及对人们产生的效应这3个方面将海洋生态系统服务定义为:以海洋生态系统和生物多样性为载体,凭借系统之中相应的生态过程来完成,同时针对人类有益的一切效应集合。王其翔等<sup>[13,20]</sup>将海洋生态服务体系从4个层面来界定,分别是服务对象、物质基础、产生过程和实现途径,通过细致研究可以看出其涵盖了3方面内容,包括生物组分、系统本身以及系统功能的产生。另一种定义方法是从学科视角来阐明海洋生态系统服务。Daily等<sup>[13,21-22]</sup>从生态学角度强调服务产生的条件和过程,而Boyd等<sup>[23-25]</sup>从经济学角度强调了服务产生的产品和服务,从海洋生态系统服务价值层面来讲,其涵盖的内容就是服务以及产品效用<sup>[26]</sup>。沈满洪等<sup>[15]</sup>基于经济学角度合并生态学观点,认为海洋生态系统服务主要是借助海洋生态系统本身的功能结构以及生态过程,基于服务和物品等方式间接或直接为人类提供效用。综上所述,海洋生态系统服务研究应该充分结合生态学和经济学视角进行综合分析<sup>[27-28]</sup>。

### 3 海洋生态系统服务功能分类

生态系统服务功能分类是对其价值评估的基础,是生态系统服务价值及评估研究的基本内容之一。最初,Costanza等<sup>[11]</sup>把全球生态系统服务具体划分成17类,Daily<sup>[13]</sup>划分成13类。MEA把生态系统服务具体划分成4类<sup>[14]</sup>,分别是供给服务、调节服务、文化服务和支持服务,同时把4种服务划分成21小类。de Groot等<sup>[29]</sup>把生态系统划分为4个功能,分别是生产、调节、栖息地和信息,将生态系统服务演变成4类,包括供给服务、调节服务、栖息地服务和文化服务,共包含22种服务。本文及其他主要功能分类对比见表1。

以上为诸多学者广为接受的生态系统服务功

能主流分类方式。最初人们对生态系统服务分类只是单纯列举其功能的多样性<sup>[15]</sup>。例如,Costanza列举的17种服务中与海洋相关的服务有13种,但在对海洋生态系统价值评估时,却只考虑了其中10种,忽略了气候调节、侵蚀控制和沉积物滞留以及基因资源3种重要服务的价值。Daily的分类则以倾向生态系统服务的性质和价值为目的,列举生命维持功能,13种服务中与海洋相关的有11种,概括性较高。MEA综合了Costanza和Daily的观点,认为有些服务是重叠的,为了避免重复计算,以实际评估为目的,首次把生态系统服务归纳为4类。de Groot的分类是由功能分类演变而来,并将服务归纳为4大类,22种服务中海洋可提供的服务有20种,但在对海洋相关的生态系统进行评估时,只对其中18种服务进行估值,并未对海洋提供的空气质量调节和生物控制的服务价值进行研究。以上分类方式虽各不相同,但无论哪种分类方式均涉及人类生存所需的物质来源、精神需求和生存环境。海洋生态系统服务功能分类是根据其内容和作用将具体服务划分归入各分类体系中<sup>[2,30]</sup>。海洋生态系统服务功能分类主要关注3个问题:一是以海洋生态系统功能为基础,不同生态系统类型其功能也不同,需针对具体的海洋生态系统类型分析其生态功能类型;二是避免重复性,同一种生态过程可能提供多种服务,一种服务也可由多个生态过程共同作用产生,在归类时需注意避免服务的重复性;三是分类体系的建立必须便于对服务价值开展实际应用评估。目前,应用范围最广的分类体系是MEA分类模式。本文在MEA分类框架下,对海洋生态系统服务功能子类别进行分析讨论。

#### 3.1 供给服务

供给服务也称商品生产服务<sup>[19]</sup>。MEA分类中,涉及海洋的有食物、燃料、生物化学和基因资源。陈尚等<sup>[4,31-32]</sup>从经济学生产要素角度考虑,在此基础上将氧气生产视为生产环境与条件要素,归入供给服务范围。Liquete等<sup>[33]</sup>将海洋生态系统服务的供给服务分为食物供应、蓄水和供水以及生物原料与生物燃料。本文认为,基因资源是其他商品生产的基础<sup>[19]</sup>,但更多的价值体现在育苗育种和基因工程

表1 生态系统服务经典分类

Table 1 Classic classification of ecosystem services

Costanza	Daily	MEA	de Groot
气体调节*	空气和水的净化*	供给服务	食物*
气候调节*	减轻水旱灾害*		水*
干扰调节*	废物的解毒和分解*		原材料*
水调节	土壤与土壤肥力的产生与更新		遗传资源*
水供应	农作物和天然植被的授粉		药用资源*
侵蚀控制和沉积物滞留*	控制绝大多数潜在的农业害虫*		观赏资源*
土壤形成	种子的散布和营养物质的转移*	调节服务	空气质量调节*
营养循环*	维持生物多样性,人类从中获得农业、医药和工业企业的关键要素*		气候调节*
废物处理*	防止太阳的有害紫外线*		干扰调节*
授粉	气候部分稳定*		水流调节
生物控制*	极端温度与风浪作用力的缓和*		废物处理*
避难所*	支持多种人类文化*	文化服务	侵蚀预防*
食物生产*	提供能够提升人类精神的美学和智力刺激*		营养循环*
原材料*		审美价值*	授粉
基因资源*		灵感*	生物控制*
娱乐*		教育价值*	育儿所服务*
文化*		位置感*	遗传多样性*
		文化遗产*	美学信息*
		支持服务	娱乐*
		土壤形成	文化和艺术的灵感*
		营养循环*	精神体验*
		初级生产*	认知发展*

注: \*为海洋相关的生态系统服务

药物研发的应用上,其价值通过科研来实现,因此将基因资源归入文化服务的科研价值。氧气生产虽然能够产出氧气供应,但由于氧气不像鱼类和藻类能够在市场上进行直接交易,它作为维持人类生存环境必不可少的要素具有调节大气组成的功能。氧气生产不宜单独作为一种服务,而是作为产生调节服务的一种功能过程。蓄水与供水的产生并没有海洋生态系统生物组分的参与,不属于海洋生态系统服务。燃料、生物化学及生物原料与生物燃料都可归纳为原材料。因此将供给服务分为食品供给和原材料供给。本文及其他主要供给服务分类对比见表2。

表2 海洋生态系统供给服务的主要分类对比

Table 2 Comparison of main categories of marine ecosystem supply services

MEA	陈尚	Liquete	本文
食物	食物生产	食物供应	食品供给
燃料	原料生产	生物原料与生物燃料	原材料供给
生物化学			
基因资源	基因资源提供		
	氧气生产		
		蓄水与供水	

注:位于同一行的分类表示意义相同或相近(下同)

### 3.2 调节服务

海洋调节服务是指海洋生态系统通过生物地球化学循环和海洋生物圈过程调节水质、气候、干扰和各种生物过程等产生的服务<sup>[24,34]</sup>。调节服务经由多种生态过程而实现,因此,一些学者认为调节服务属于功能过程,不属于服务<sup>[23,35]</sup>,本文赞同只要有人类受益,功能和过程就是生态系统服务的观点<sup>[36]</sup>。一般认为,海洋的调节服务功能主要包括:氧气释放和吸收有害气体,使空气质量得到调节和改善的大气调节功能;吸收温室气体从而调节气候的气候调节功能,但海洋产生氧气和吸收二氧化碳的过程是同时进行的,所以有时候也将气体调节和气候调节归为一类<sup>[15]</sup>;体现海水自净能力的水质净化功能;海洋生态系统进行生物控制并调节有害生物和疾病的功能;海洋生态系统对自然灾害如风暴或台风等起到的缓冲、防护和控制侵蚀功能。MEA等基于调节服务实现的生态过程划分了调节服务的子类。MEA<sup>[14]</sup>指出,与海洋相关的调节服务有气候调节、水净化和疾病调节,此疾病调节指的是人类病原体数量的调节。相较MEA的分类,张朝晖等<sup>[2]</sup>增加了空气质量调节,并把侵蚀控制和风暴防护统称为干扰调节。另外,张朝晖的有害生物与疾病的生物调节与控制是生物群落的病害调控。张彪等<sup>[37]</sup>提出了生态安全保障服务的概念,与海洋相关的类别有气候调节、大气调节、水质净化和物种保护,虽表达不同但内涵相近。本文在分类方式上将MEA的疾病调节(人类)和张朝晖的有害生物与疾病的生物调节与控制(生物群落)归纳为生物控制,最终把海洋生态系统调节服务划分为:大气调节、气候调节、水质净化、干扰调节和生物控制。本文及其他主要调节服务分类对比见表3。

### 3.3 文化服务

将海洋生态系统支持多种人类文化、提升人类精神美学和智力刺激的服务称为海洋文化服务<sup>[13,34]</sup>。文化服务的分类一般沿用Costanza等<sup>[11]</sup>的思路分为娱乐和文化两种。Peterson等<sup>[38]</sup>认为海洋生态系统除了能够提供滨海旅游休闲和文化用途外,还具有科研价值。国内学者石洪华等<sup>[6,22]</sup>在Costanza分类基础上,也增加了科研价值这项服务。MEA的分类虽然详实,但并未提及科研价值。晁晖等<sup>[25]</sup>将海洋文化服务分为基因资源、休闲娱乐和文化服务3类,科研价值除了以海洋生物基因资源为基础进行研发,还包括将海洋作为实验场进行的科研活动,本文认为使用科研价值这一分类比基因资源更加准确。Hattam等<sup>[39]</sup>通过专家咨询的方式提出更多元化的分类,将海洋生态系统文化服务分为认知发展、精神体验、休闲娱乐旅游、设计灵感、审美体验、文化多样性和文化遗产。考虑到服务分类标准应以人类福利为目的<sup>[36]</sup>,且分类过于具体不利于价值评估的应用,本文最终将海洋文化服务归纳为科研价值、休闲娱乐和文化用途3类。本文及其他主要文化服务分类对比见表4。

### 3.4 支持服务

支持服务属于基础服务。早期,人们就意识到营养循环是生态系统服务的重要组成部分,但没有对其进行归类,直到2003年MEA将营养循环和初级生产同时归入支持服务<sup>[14]</sup>。国内学者沿用MEA的研究结论,结合Daily的生态学思想,把海洋生态系统支持服务分为初级生产、营养循环和物种多样性维持3种<sup>[6,15]</sup>。de Groot等<sup>[29]</sup>则提出了遗传多样性服务。实际上生物多样性除了包含物种多样性和

表3 海洋生态系统调节服务的主要分类对比

Table 3 Comparison of main categories of marine ecosystem regulation services

MEA	张朝晖	张彪	本文
	空气质量调节	大气调节	大气调节
气候调节	气候调节	气候调节	气候调节
水净化	水质净化调节	水质净化	水质净化
疾病调节	有害生物与疾病的生物调节与控制	物种保护	生物控制
	干扰调节		干扰调节

表4 海洋生态系统文化服务的主要分类对比

Table 4 Comparison of main categories of marine ecosystem cultural services

MEA	Hattam	晁晖	本文
娱乐和生态旅游	休闲娱乐旅游	休闲娱乐	休闲娱乐
审美价值	审美体验		
精神和宗教价值	文化多样性 精神体验		
文化遗产	文化遗产	文化服务	文化用途
灵感	设计灵感		
教育价值	认知发展		
位置感		基因资源	科研价值

表5 海洋生态系统支持服务的主要分类对比

Table 5 Comparison of main categories of marine ecosystem support services

MEA	沈满洪、石洪华	de Groot	本文
营养循环	营养循环		物质循环
初级生产	初级生产		初级生产
	物种多样性维持	遗传多样性 育儿场所	生物多样性维持 提供生境

遗传多样性以外,还包括生态系统多样性和功能多样性<sup>[40]</sup>,不能简单地将物种多样性、遗传多样性和生物多样性等同,因此更严谨的分类是使用生物多样性维持服务<sup>[26]</sup>。关于支持服务存在一些争议,有学者认为支持服务是产生服务的一种手段<sup>[35]</sup>,因此未将其列入生态系统服务分类体系<sup>[41]</sup>;de Groot认为栖息地为生物提供了育儿场所,保证了生态系统正常运行,才使其他服务成为可能,因此提出生境服务。综合国内外的研究成果,本文认为支持服务不仅可提供初级生产、物质循环和生物多样性维持,还可提供生境<sup>[2]</sup>。本文及其他主要支持服务分类对比见表5。

## 4 海洋生态系统服务价值评估

### 4.1 评估方法

生态系统为人类直接或间接提供的利益即为生态系统服务价值,该价值由商品价值和生态系统功能价值两部分组成<sup>[11]</sup>。由于生态系统的价值不能全部体现在商品市场中,对生态系统的评价存在困难,且具有很大的不确定性,但评价工作又与人类对生态系统的选择和决定密不可分,因此生态系统

服务价值评估一直是生态经济学研究的热点。Daily<sup>[13]</sup>对生态系统服务的概念、类型和评估方法做了比较系统的研究,然而只是停留在理论阶段。Costanza等<sup>[11]</sup>评估了16个生物群落的17个生态系统服务功能的经济价值。首先估算每种生态系统类型单位面积生态系统功能的价值,通过计算各类生态系统类型的面积与其单位价值的乘积,对全球生态系统服务价值进行货币化,最终认为全球每年的生态系统服务价值平均为33万亿美元,是每年全球国民生产总值的1.8倍。尽管该数值如此巨大,但Costanza认为由于许多因素的不确定性,上述数字仍是保守估计。陈仲新等<sup>[42]</sup>和谢高地等<sup>[43]</sup>等参照Costanza的评估框架,结合中国特有的生态系统类型和社会经济状况对其进行改进,估算了中国陆地和近海的生态效益价值,其数值均十分可观。国内外学者围绕生态系统服务价值评估方法开展了诸多研究,主要采用的方法包括旅行费用法、重置成本法和条件价值法等。

在海洋生态系统服务价值评估过程中,食品供给和原材料供给属于直接使用价值,主要采用市场价值法,通过研究对象的商品市场价格直接评估经济价值,该方法比较成熟,易于操作和实现。物质

循环、初级生产、生物多样性维持和提供生境属于间接使用价值和非使用价值,仅作为构成生态系统功能基础的生态过程,其价值已经反映在其他3类服务中,将其纳入估价可能导致重复计算<sup>[24]</sup>。调节服务和文化服务属于直接使用价值和间接使用价值,是目前研究的热点领域,本文将结合近几年研究成果进行讨论。

气候调节主要是通过海洋生物泵、碳酸盐泵和溶解度泵的作用降低空气二氧化碳含量<sup>[44]</sup>。海洋生态系统的功能价值强调生物的作用,因此只考虑有生物组分参与的生物泵和碳酸盐泵吸收二氧化碳。气候调节价值量计算分为物质的量和价值的量两部分。气候调节物质的量,即海洋生态系统固定的二氧化碳的量,开阔大洋的物质的量主要由浮游植物和漂浮的大型藻类光合作用产生。我国海岸线绵长,近岸生态系统类型丰富,以杭州湾为界,具有明显南北差异,杭州湾以南以基岩性海岸、红树林和热带珊瑚礁为主,以北以砂质、基岩性海岸和淤泥质海滩为主。近岸海域物质的量的计算需结合评估海域近岸生态类型来确定,例如,红树林、珊瑚礁和海草床作为滨海3大生态系统类型,其固碳价值一直是研究的重点领域。养殖生态系统是近岸生态系统的另一个重要组成部分,养殖海域的物质的量由养殖大型藻类的光合作用产生,养殖贝类以二氧化碳为原料形成壳体实现永久去除。但应注意某些以浮游植物和藻类为食的生物属于次级生产,其固碳量已涵盖在前者中,应避免重复计算。综上所述,本文将物质的量总结为生物泵固碳、滨海湿地固碳和养殖生物固碳。采用替代成本法计

算价值的量,固碳的单价可采用造林成本、碳税或二氧化碳排放权的市场交易价格替代。我国造林成本为260.9元/t C,该值为1990年的数值,参考价值较低。碳税法和二氧化碳排放权交易(简称“碳交易”)价格法是目前常用的替代方法,然而目前我国并未正式推行碳税制度,当前常用的固碳替代价格为瑞典碳税150美元/t C,未必适用于我国海域实际情况。碳税作为一个税种,其值相对固定,变更程序复杂,灵活性较差;相对而言,碳交易将二氧化碳作为市场上一种可交换的产品,调整程序简单且更为灵活。2021年2月1日《碳排放权交易管理办法(试行)》正式施行,全国碳市场正式启动,因此,本文认为,采用评估当年碳交易的平均市场价格作为固碳的价格替代更为合理。已有研究评估指标与本文评估指标对比情况见表6。

大气调节一般通过氧气生产量的价值进行核算。大气调节价值量计算分为物质的量和价值的量两部分。主流观点认为大气调节物质的量,即海洋生态系统产生的氧气量,主要由浮游植物和大型藻类的产氧量确定。开阔大洋的氧气由浮游植物和漂浮大型藻类产生,近岸海域物质的量的计算需结合海域近岸生态类型确定,因此物质的量评估内容总结为浮游植物和漂浮大型藻类固碳、滨海湿地(海草床和红树林)固碳以及养殖生物(大型藻类)固碳。价值的量采用替代成本法计算,其生态系统制氧的单价可采用造林成本法和工业制氧成本法替代。我国造林成本为1990年固定价格352.93元/t O<sub>2</sub>,参考价值较低。2002年调查的工业制氧成本价格为400元/t O<sub>2</sub>,由于存在价格波动,需以评估年份的我

表6 气候调节价值评估

Table 6 Evaluation of climate regulation value

功能类别	评估内容及方法	已有研究评估指标	本文评估指标
气候调节	物质的量	浮游植物、海带、海草 <sup>[45]</sup>	生物泵(浮游植物、漂浮大型藻类);滨海湿地(海草床、红树林、珊瑚礁);养殖生物(大型藻类、贝类)
		浮游植物、大型藻类、鱼类、甲壳类、贝类、藻类、其他 <sup>[46]</sup>	
		浮游植物、大型藻类、养殖贝类 <sup>[7]</sup>	
	价值的量	替代成本法	
		造林成本法 <sup>[47]</sup>	碳交易的平均市场价格
		碳税法 <sup>[47]</sup>	
		碳交易价格法 <sup>[48]</sup>	

表 7 大气调节价值评估  
Table 7 Evaluation of atmospheric regulation value

功能类别	评估内容及方法		已有研究评估指标	本文评估指标
大气调节	物质的量		浮游植物、大型藻类 <sup>[9,11,16]</sup>	浮游植物、漂浮大型藻类；滨海湿地（海草床、红树林）；养殖生物（大型藻类）
	价值的量	替代成本法	造林成本法 <sup>[47]</sup> 工业制氧成本 <sup>[49]</sup>	评估年份钢铁业液化空气法制造氧气的平均生产成本

国工业制氧平均生产成本为准。已有研究评估指标与本文评估指标对比情况见表 7。

水质净化的价值分为物质的量和价值的量两部分。我国海洋污染物以氮和磷为主。目前,海洋生态系统净化污染物的量有 3 种计量方式:以生物体内氮、磷含量计、以排海污染物量计和以环境容量计。环境容量法的计算结果取决于评估海域对水质标准的要求。水质标准高,则价值量低;水质标准低,则价值量高,结果不具有唯一性。本文倾向于将另外两种方法相结合。对于水质污染严重地区,污染物排放量已超过海域的自净能力,仅以排海污染物量难以准确定量,需结合评估海域实际水质;对于一类和二类优良水质海域,可采用排海污染物量法;对于三类以上污染较严重海域,可采用评估海域能够吸收污染的生物体内氮和磷含量计算。具体生物体需结合评估海域实际生态类型来确定,主要涵盖浮游植物、湿地植被和养殖生物(鱼类、甲壳类、贝类和藻类等)。价值的量可采用价值转移法直接计算,该方法虽然简单易操作,无需预先计算水质净化物质的量,但通常引用 Costanza 的全球生态价值当量,未必适用于我国的发展状况和生态系统现状。在已知物质的量的前提

下,可采用替代成本法计算其价值,以人工污水处理成本替代水质净化服务的单价。目前常采用的城市污水处理厂成本,一般取值为氮 1.5 元/kg,磷 2.5 元/kg,本文认为应结合评估年份重新核算处理成本。已有研究评估指标与本文评估指标对比情况见表 8。

生物控制多指海洋生态系统对赤潮的自我调控,其价值可以用避免灾害损失的经济数据计算。已知同期其他海域发生赤潮造成的损失,利用评估海域面积占其他已知海域面积的比重,计算评估海域赤潮损失,作为生物控制的价值。

我国对干扰调节价值的研究较少,目前多采用有调节区与无调节区损失差值计算<sup>[2]</sup>,或采用人工防波堤结构替代成本的重置成本方法<sup>[54]</sup>。几十年来,中国主要依靠海堤来抵御沿海的台风、风暴潮和灾害性海浪。1980—2015 年期间,中国沿海工程的长度从 5 322 km 增加到 13 316 km,尽管它们为减少沿海的台风、风暴潮和灾害性海浪造成的总经济损失做出了巨大贡献,但人工防波堤防御能力不如沿海湿地有效<sup>[55]</sup>。另外,人工建造的替代方案并不是最具成本效益的服务方式,重置成本法高估了台风、风暴潮和灾害性海浪防护服务的净效益。对

表 8 水质净化价值评估  
Table 8 Evaluation of water purification value

功能类别	评估内容及方法		已有研究评估指标	本文评估指标
水质净化	物质的量		生物体氮、磷含量 <sup>[46]</sup> 排海污染物量 <sup>[50]</sup> 环境容量 <sup>[51]</sup>	一类、二类水质海域:排海污染物量;其他水质海域:生物体含氮、磷量
	价值的量	价值转移法 替代成本法	已有研究成果中特定生态系统单位面积价值 <sup>[52]</sup> 人工处理成本 <sup>[53]</sup>	评估年份处理成本

此,国外学者采用预期损害函数法,对海岸防护服务进行建模,并估计包括沼泽、红树林、珊瑚礁、海草床、沙滩和沙丘等近岸生态系统在沿海区域避免的预期损害或死亡来作为台风、风暴潮和灾害性海浪防护的价值<sup>[56]</sup>。另一种方法为通过建立沿海保护能力、沿海暴露和人类保护需求3个指标构建生态系统服务级联模型,以评估沿海生态系统波能衰减、洪水调节、侵蚀控制或泥沙淤积服务价值。这种分析可以在不同的时空尺度上进行复制,因此也适用于我国<sup>[57]</sup>。

国内外学者常采用各种不同形式的问卷调查方式评估文化服务价值,例如条件价值法、选择实验法和幸福指数法等<sup>[58-61]</sup>,对于主观性较强的文化服务来说,是相对合理的评估方法。我国学者还结合替代成本法对休闲娱乐和科研价值进行评估。休闲娱乐价值采用评估海域景区收入作为休闲娱乐替代价值,科研价值则采用以评估海域为研究对象或实验场地发表的论文数量及投入的科研经费来替代<sup>[48]</sup>。

## 4.2 评估应用

海洋生态系统具有独特的流动性、异地实现性和局地依赖性等特点,价值评估难度远大于陆地。国内外的研究主要集中在珊瑚礁<sup>[62]</sup>、海草床<sup>[63]</sup>、红树林<sup>[15]</sup>、河口<sup>[64]</sup>和湿地<sup>[65]</sup>等典型的生态系统类型。海洋生态系统价值评估应用主要分为两种类型:现存价值评估和损失价值评估。

海洋生态系统服务现存价值评估可以为政府决策提供指导,依据评估结果对海域进行合理开发、选择性开发或进行保护。Brenner等<sup>[66]</sup>使用价值转移法对西班牙卡塔兰海岸地区生态系统的非市场价值进行估算,研究发现评估区域生态系统服务年流量价值贡献比重最大的依次为生境40.9%、营养循环17.2%、水供应12.7%、审美和娱乐9%和干扰调节8.7%等。由此可见,对于一个海洋生态系统,不同服务类型价值的权重也不同,权重较高的“核心”服务对于人类福祉的贡献最大,在价值评估时应当作为重点并着重保护,而权重极小的价值类型可以适当取舍并进行合理开发。Badola等<sup>[67]</sup>结合问卷调查和避免损害成本法将评估区域印度比塔卡尼卡划分为堤坝保护区域、无保护区域和红树林

保护区域,并对红树林的海岸防护价值进行估算。结果显示,在没有红树林保护但有堤坝保护的村庄,每户家庭所遭受的损失最大(153.74美元),其次是没有任何保护的村庄(44.02美元)和受红树林保护的村庄(33.31美元)。由此可见,人工海防虽然建造和维修费用昂贵,但是防护效果并不明显。对于政府来说,应当综合考虑开发带来的经济收益与面对自然灾害支出的人工维修费用,决定是否维持生态系统的自然状态。在项目规划之前,应该充分权衡自然生态系统与经济利益的利弊。

近年来,人们把海洋生态系统服务价值研究转向因为某些人为因素产生生态系统服务损失价值的研究上<sup>[68]</sup>,即海洋生态系统损失价值评估。海洋生态系统服务具备公共物品性和异地实现性,使得人们误以为享受到的服务是“免费”的,往往只有在其丧失时,才引起关注<sup>[69]</sup>。隋玉正等<sup>[70]</sup>采用直接市场法、影子工程法、替代花费法和成果参照等方法对浙江省洞头县围填海造陆导致的海岛周围海域生态系统服务价值损失进行评估,研究表明,供给服务价值损失最大,占总服务价值的85.73%。洞头县的主要食品供给服务主要来源于自身的资源性海洋生物,这表明,围填海造成的生态价值损失严重影响了当地居民的社会福利水平。Navrud等<sup>[71]</sup>在对溢油造成海洋生态价值损失的研究中发现,被调查的挪威居民家庭对溢油损失问卷调查的响应率仅为17.2%~20.7%,这说明人们对于海洋生态系统服务的认识程度较低。在接受条件价值法评估的家庭中,人们对于避免溢油损害的支付意愿随着损害的增加而增大,这表明,当溢油发生时人们才意识到溢油威胁到了自身的利益,人们愿意支付更多的费用避免更大的损失。由此可见,对于发生生态价值损失后的价值评估能够提醒人们海洋生态系统的重要性,从而采取一定的补偿和赔偿措施修复环境和弥补损失,但其更重要的意义是为自然资源管理和保护决策提供信息。Derous等<sup>[72]</sup>基于地理信息系统软件形成生态价值区域图,用于支持海域空间规划、海洋产业布局和海洋防灾减灾的海洋管理决策。

## 5 展望

随着海洋资源不合理开发利用和环境污染等

问题的日益严重,海洋生态系统服务的概念、分类体系和评估方法越来越受到关注,概念和分类的进步能够促进生态系统服务框架和分类系统的协调,有效推进价值评估。由于海洋生态系统运行机制十分复杂,现有的知识储备和技术水平往往难以反映其实际价值,海洋生态系统服务价值评估在未来仍有很大的发展空间。针对已有的问题,海洋生态系统价值评估方法与应用可以在以下方面进行拓展:

(1)建立体现主要功能、标准化和避免重复的评估指标体系。现有的评估往往都是以人的认知为标准,导致一些生态系统功能被忽视。应当充分认识当前和未来生态系统的功能价值,尤其是对人类有益的重要的生态功能价值。利用主要的生态功能构建标准化的评估指标体系,使不同区域的评估结果具有可比性。目前的评估指标体系只是针对特定功能设定的,不同区域的评估结果因其不同的评估指标体系和数据可靠度等原因差异较大。未来应当着重研发更加科学合理的评估指标体系,强化参数之间的联系,针对特定研究区域选择最优化的指标体系。在计算价值量时,不应单独考虑某一种功能的价值量,而应将各指标综合考察,避免功能价值的重复计算。

(2)开展海洋微生物碳泵(marine Microbial Carbon Pump, MCP)固碳价值研究。二十年来,我国在海洋碳汇研究领域取得了长足进展。我国科学家提出的MCP被科学杂志评论为“庞大碳库的幕后推手”,而如此高效的生物固碳价值在目前的海洋生态价值评估领域中却未曾体现,使得气候调节价值被严重低估。因此,应完善海洋生态系统固碳的评价体系,不仅要考虑生物泵和碳酸盐泵沉淀埋藏的有机碳和无机碳,更要考虑MCP固碳的产物——惰性溶解有机碳,将工作重点放在MCP固碳价值的研究中<sup>[73]</sup>。

(3)生态价值的评估应当将生态系统正效应和负效应综合考虑。虽然海洋总体上是碳汇区域,但实际上海洋既能吸收大气中的二氧化碳,也能向大气释放二氧化碳。例如,我国南海是碳源,东海是碳汇,黄海和渤海维持吸收和释放的平衡,可见海洋碳汇具有明显的时空差异性<sup>[44]</sup>。目前对气候调节价值的研究,只考虑海洋生态系统的碳汇作用,造

成固碳价值偏高。因此,在评估固碳价值时必须考虑评估区域所属海域状况,扣除海洋碳源产生的负效应。目前水质净化价值仅考虑海洋生态系统对有机物和营养盐等污染物的自净去除作用,该方法仅适用于无人工养殖海域的自然生态系统;而在沿岸养殖区域,养殖动物投喂过程中剩余饲料以及未被消化的饲料所形成的排泄物,使水体造成不同程度的污染。因此,对于养殖生态系统水质净化价值的计算,应扣除养殖水体自身污染源产生的负效应。

(4)结合我国国情提高方法适用性。我国广阔的海域面积提供了大量的海洋生物资源和服务功能,但在价值评估的实践中仍存在不足。例如评估参数的选用,气候调节通常采用瑞典碳税作为二氧化碳的价格替代,对此,需加快我国碳税率推行速度,使价值评估的结果更能体现我国经济发展水平;气候调节和大气调节采用造林成本法作为二氧化碳和氧气的价格替代,需避免使用时间较久远的参数并及时更新,从而体现我国经济发展的时效性。我国海水养殖面积和产量多年来位居世界第一,主要养殖对象为贝类和藻类等。作为海洋经济的重要产业,海水养殖业在解决食物供给问题上发挥的作用有目共睹,而其碳汇的作用是近几年才被关注的。目前我国通过收获海水养殖的贝类和藻类可直接从海中移除170余万吨的碳,由于海水养殖在近海碳循环、固碳过程及量化的研究刚刚起步,渔业碳汇的计量标准、潜力评估和政策法规均有待建立和完善。因此,有必要对已经初步建立的渔业碳汇计量方法以及我国渔业碳汇的潜力和价值评估进行充分地研究,推进渔业低碳经济的迅速发展。

(5)强化海洋生态价值评估的多学科融合。海洋生态价值评估应该强化与环境生态学、人口统计学、社会经济学、社会福利学、海洋学和微生物学等学科的联系。一方面,可以利用学科交叉性,为评估工作提供理论支撑;另一方面,可增加价值评估结果的实用性,体现生态系统为人类服务的意义。

**致谢:**感谢国家科技资源共享服务平台——国家海洋科学数据中心大连分中心(<http://odc.dlou.edu.cn/>)的数据资料支持。

#### 参考文献:

[1] 张朝晖, 石洪华, 姜振波, 等. 海洋生态系统服务的来源与实现

- [J]. 生态学报, 2006, 25(12): 1574-1579.
- Zhang Z H, Shi H H, Jiang Z B, et al. Sources and implementation of marine ecosystem services[J]. Chinese Journal of Ecology, 2006, 25(12): 1574-1579.
- [2] 张朝晖, 姜振波, 孙丕喜, 等. 海洋生态系统服务的分类与表征[C]//中国生态经济学会2006年年会论文集. 青岛: 中国生态经济学会, 2007: 148-153.
- Zhang Z H, Jiang Z B, Sun P X, et al. Classification and characteristics of marine ecosystem services[C]//2006 Annual Meeting of China Eco-economic Society. Qingdao: China Society of Ecological Economics, 2007: 148-153.
- [3] 王其翔, 唐学玺. 海洋生态系统服务的产生与实现[J]. 生态学报, 2009, 29(5): 2400-2406.
- Wang Q X, Tang X X. Production and realization of marine ecosystem services[J]. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(5): 2400-2406.
- [4] 陈尚, 任大川, 夏涛, 等. 海洋生态资本理论框架下的生态系统服务评估[J]. 生态学报, 2013, 33(19): 6254-6263.
- Chen S, Ren D C, Xia T, et al. Marine ecological capital: Valuation methods of marine ecosystem services[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(19): 6254-6263.
- [5] 郭晶. 海洋生态系统服务非市场价值评估框架: 内涵、技术与准则[J]. 海洋通报, 2017, 36(5): 490-496.
- Guo J. Nonmarket valuation framework for marine ecosystem services: concepts, techniques and principles[J]. Marine Science Bulletin, 2017, 36(5): 490-496.
- [6] 石洪华, 郑伟, 陈尚, 等. 海洋生态系统服务功能及其价值评估研究[J]. 生态经济, 2007, 23(3): 139-142.
- Shi H H, Zheng W, Chen S, et al. Study on marine ecosystem service and its value assessment[J]. Ecological Economy, 2007(3): 139-142.
- [7] 张朝晖, 吕吉斌, 叶属峰, 等. 桑沟湾海洋生态系统的服务价值[J]. 应用生态学报, 2007, 18(11): 2540-2547.
- Zhang Z H, Lü J B, Ye S F, et al. Values of marine ecosystem services in Sanggou Bay[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2007, 18(11): 2540-2547.
- [8] 何海军, 温家声, 张锦炜, 等. 海南红树林湿地生态系统服务价值评估[J]. 生态经济, 2015, 31(4): 145-149.
- He H J, Wen J S, Zhang J W, et al. Ecological functions assessment of mangrove wetland in Hainan Province[J]. Ecological Economy, 2015, 31(4): 145-149.
- [9] 王兆礼, 张汉华, 朱长波, 等. 深澳湾养殖生态系统服务功能价值评估[J]. 海洋环境科学, 2014, 33(3): 378-382.
- Wang Z L, Zhang H H, Zhu C B, et al. Evaluation function of mariculture ecosystem service in Shen'ao Bay[J]. Marine Environmental Science, 2014, 33(3): 378-382.
- [10] Holdren J P, Ehrlich P R. Human population and the global environment[J]. American Scientist, 1974, 62(3): 282-292.
- [11] Costanza R, d'Arge R, de Groot R, et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital[J]. Nature, 1997, 387(6630): 253-260.
- [12] 李慧峰, 李继龙, 陈新军, 等. 基于文献计量学的海洋生态价值评估研究进展分析[J]. 中国渔业经济, 2018, 36(1): 107-112.
- Li H F, Li J L, Chen X J, et al. Status and trends of marine ecosystem value assessment research based on bibliometrics[J]. Chinese Fisheries Economics, 2018, 36(1): 107-112.
- [13] Daily G C. Nature's services: societal dependence on natural ecosystems[M]. Washington DC: Island Press, 1997: 3-4.
- [14] Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being: a framework for assessment[M]. Washington DC: Island Press, 2003: 50-59.
- [15] 沈满洪, 毛狄. 海洋生态系统服务价值评估研究综述[J]. 生态学报, 2019, 39(6): 2255-2265.
- Shen M H, Mao D. Review of the evaluation of marine ecosystem services value[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019, 39(6): 2255-2265.
- [16] 解雪峰, 吴涛, 蒋国俊, 等. 乐清湾海洋生态系统服务价值评估[J]. 应用海洋学学报, 2015, 34(4): 496-500.
- Xie X F, Wu T, Jiang G J, et al. Value assessment of marine ecosystem services in Yueqing Bay[J]. Journal of Applied Oceanography, 2015, 34(4): 496-500.
- [17] 石洪华, 郑伟, 丁德文, 等. 典型海洋生态系统服务功能及价值评估——以桑沟湾为例[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(2): 101-104.
- Shi H H, Zheng W, Ding D W, et al. Valuation of typical marine ecosystem services——A case study in Sanggou Bay[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(2): 101-104.
- [18] 郑伟, 石洪华, 陈尚, 等. 从福利经济学的角度看生态系统服务功能[J]. 生态经济, 2006, 22(6): 78-81.
- Zheng W, Shi H H, Chen S, et al. Perception to ecosystem service function on the view point of welfare economics[J]. Ecological Economy, 2006(6): 78-81.
- [19] Chee Y E. An ecological perspective on the valuation of ecosystem services[J]. Biological Conservation, 2004, 120(4): 549-565.
- [20] 王其翔, 唐学玺. 海洋生态系统服务的内涵与分类[J]. 海洋环境科学, 2010, 29(1): 131-138.
- Wang Q X, Tang X X. Connotation and classification of marine ecosystem services[J]. Marine Environmental Science, 2010, 29(1): 131-138.
- [21] 欧阳志云, 王如松. 生态系统服务功能、生态价值与可持续发展[J]. 世界科技研究与发展, 2000, 22(5): 45-50.
- Ouyang Z Y, Wang R S. Ecosystem services and their economic valuation[J]. World Sci-Tech R & D, 2000, 22(5): 45-50.
- [22] 陈尚, 张朝晖, 马艳, 等. 我国海洋生态系统服务功能及其价值评估研究计划[J]. 地球科学进展, 2006, 21(11): 1127-1133.
- Chen S, Zhang Z H, Ma Y, et al. Program for service evaluation of marine ecosystems in China waters[J]. Advances in Earth Science, 2006, 21(11): 1127-1133.

- [23] Boyd J, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units[J]. *Ecological Economics*, 2007, 63(2/3): 616-626.
- [24] Hein L, van Koppen K, de Groot R S, et al. Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services[J]. *Ecological Economics*, 2006, 57(2): 209-228.
- [25] 晁晖, 刘欣. 海洋生态系统服务价值化研究[J]. *海洋预报*, 2013, 30(3): 86-91.
- Chao H, Liu X. Study on marine ecosystem service and the value assessment[J]. *Marine Forecasts*, 2013, 30(3): 86-91.
- [26] 郑伟, 石洪华. 海洋生态系统服务的形成及其对人类福利的贡献[J]. *生态经济*, 2009, 25(8): 178-180.
- Zheng W, Shi H H. Formation of marine ecosystem services and their contribution to human welfare[J]. *Ecological Economy*, 2009 (8): 178-180.
- [27] 郑华, 李屹峰, 欧阳志云, 等. 生态系统服务功能管理研究进展[J]. *生态学报*, 2013, 33(3): 702-710.
- Zheng H, Li Y F, Ouyang Z Y. Progress and perspectives of ecosystem services management[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2013, 33(3): 702-710.
- [28] May P H. Value or incentive? Getting society to pay for conservation[J]. *Ecology*, 2001, 82(9): 2667-2668.
- [29] de Groot R, Brander L, van der Ploeg S, et al. Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units[J]. *Ecosystem Services*, 2012, 1(1): 50-61.
- [30] 陈尚, 任大川, 夏涛, 等. 海洋生态资本价值结构要素与评估指标体系[J]. *生态学报*, 2010, 30(23): 6331-6337.
- Chen S, Ren D C, Xia T, et al. Marine ecological capital: its value's constituent and assessment indicators[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6331-6337.
- [31] 马玉艳, 屠建波, 张秋丰, 等. 天津滨海新区围填海工程对海洋生态系统服务功能价值的损失评估[J]. *海岸工程*, 2017, 36(3): 64-70.
- Ma Y Y, Tu J B, Zhang Q F, et al. Loss appraisal on sea reclamation project to marine ecosystem service function value in Binhai New Area of Tianjin[J]. *Coastal Engineering*, 2017, 36(3): 64-70.
- [32] 陈尚, 任大川, 李京梅, 等. 海洋生态资本概念与属性界定[J]. *生态学报*, 2010, 30(23): 6323-6330.
- Chen S, Ren D C, Li J M, et al. Marine ecological capital: concept and attributes[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6323-6330.
- [33] Lique C, Piroddi C, Drakou E G, et al. Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: a systematic review[J]. *PLoS One*, 2013, 8(7): e67737.
- [34] de Groot R S, Wilson M A, Boumans R M J. A typology for the classification, description and valuation of ecosystem functions, goods and services[J]. *Ecological Economics*, 2002, 41(3): 393-408.
- [35] Wallace K J. Classification of ecosystem services: problems and solutions[J]. *Biological Conservation*, 2007, 139(3/4): 235-246.
- [36] Fisher B, Turner R K. Ecosystem services: classification for valuation[J]. *Biological Conservation*, 2008, 141(5): 1167-1169.
- [37] 张彪, 谢高地, 肖玉, 等. 基于人类需求的生态系统服务分类[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010, 20(6): 64-67.
- Zhang B, Xie G D, Xiao Y, et al. Classification of ecosystem services based on human demand[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2010, 20(6): 64-67.
- [38] Peterson C H, Lubchenco J. Marine ecosystem services[M]//Daily G C. *Nature's Services: Societal Dependence on Natural Ecosystems*. Washington DC: Island Press, 1997: 1-7.
- [39] Hattam C, Atkins J P, Beaumont N, et al. Marine ecosystem services: linking indicators to their classification[J]. *Ecological Indicators*, 2015, 49: 61-75.
- [40] Nunes P A L D, van den Bergh J C J M. Economic valuation of biodiversity: sense or nonsense?[J]. *Ecological Economics*, 2001, 39(2): 203-222.
- [41] Kermagoret C, Claudet J, Derolez V, et al. How does eutrophication impact bundles of ecosystem services in multiple coastal habitats using state-and-transition models[J]. *Ocean & Coastal Management*, 2019, 174: 144-153.
- [42] 陈仲新, 张新时. 中国生态系统效益的价值[J]. *科学通报*, 2000, 45(1): 17-22.
- Chen Z X, Zhang X S. Value of ecosystem services in China[J]. *Chinese Science Bulletin*, 2000, 45(10): 870-876.
- [43] 谢高地, 张彩霞, 张昌顺, 等. 中国生态系统服务的价值[J]. *资源科学*, 2015, 37(9): 1740-1746.
- Xie G D, Zhang C X, Zhang C S, et al. The value of ecosystem services in China[J]. *Resources Science*, 2015, 37(9): 1740-1746.
- [44] 刘茜, 郭香会, 尹志强, 等. 中国邻近边缘海碳通量研究现状与展望[J]. *中国科学: 地球科学*, 2018, 48(11): 1422-1443.
- Liu Q, Guo X H, Yin Z Q, et al. Carbon fluxes in the China Seas: an overview and perspective[J]. *Science China Earth Sciences*, 2018, 61(11): 1564-1582.
- [45] Mangi S C, Davis C E, Payne L A, et al. Valuing the regulatory services provided by marine ecosystems[J]. *Environmetrics*, 2011, 22(5): 686-698.
- [46] 马欢, 秦传新, 陈丕茂, 等. 柘林湾海洋牧场生态系统服务价值评估[J]. *南方水产科学*, 2019, 15(1): 10-19.
- Ma H, Qin C X, Chen P M, et al. Valuation of ecosystem service of marine ranching in Zhelin Bay[J]. *South China Fisheries Science*, 2019, 15(1): 10-19.
- [47] 《中国生物多样性国情研究报告》编写组. 中国生物多样性国情研究报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1997.
- Editorial Committee of State Report on Biodiversity of China Committee. State report on biodiversity of China[M]. Beijing: China Environmental Science Press, 1997.
- [48] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. GB/T 28058-2011 海洋生态资本评估技术导则

- [S]. 北京: 中国标准出版社, 2012.
- General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of China. GB/T 28058-2011 Technical directives for marine ecological capital assessment[S]. Beijing: Standards Press of China, 2012.
- [49] 潘文斌, 唐涛, 邓红兵, 等. 湖泊生态系统服务功能评估初探——以湖北保安湖为例[J]. 应用生态学报, 2002, 13(10): 1315-1318.
- Pan W B, Tang T, Deng H B, et al. Lake ecosystem services and their ecological valuation——a case study of Baoan Lake in Hubei Province[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13 (10): 1315-1318.
- [50] 郝林华, 何帅, 陈尚, 等. 海洋生态系统调节服务价值评估方法及应用——以温州市为例[J]. 生态学报, 2020, 40(13): 4264-4278.
- Hao L H, He S, Chen S, et al. Evaluation method and application on regulating service value in marine ecosystem: Wenzhou city's practice[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(13): 4264-4278.
- [51] 李晓. 罗源湾生态系统服务价值空间差异研究[D]. 福州: 福建师范大学, 2011.
- Li X. Marine ecosystem services in Luoyuan Bay of Fujian province: valuation and spatial difference[D]. Fuzhou: Fujian Normal University, 2011.
- [52] Trégarot E, Failler P, Maréchal J P. Evaluation of coastal and marine ecosystem services of Mayotte: indirect use values of coral reefs and associated ecosystems[J]. International Journal of Biodiversity Science, Ecosystem Services & Management, 2017, 13(3): 19-34.
- [53] 赵同谦, 欧阳志云, 王效科, 等. 中国陆地地表水生态系统服务功能及其生态经济价值评价[J]. 自然资源学报, 2003, 18(4): 443-452.
- Zhao T Q, Ouyang Z Y, Wang X K, et al. Ecosystem services and their valuation of terrestrial surface water system in China[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(4): 443-452.
- [54] Bockstael N E, Freeman A M, Kopp R J, et al. On measuring economic values for nature[J]. Environmental Science & Technology, 2000, 34(8): 1384-1389.
- [55] Liu X, Wang Y B, Costanza R, et al. Is China's coastal engineered defences valuable for storm protection? [J]. Science of the Total Environment, 2019, 657: 103-107.
- [56] Barbier E B. Valuing the storm protection service of estuarine and coastal ecosystems[J]. Ecosystem Services, 2015, 11: 32-38.
- [57] Liqueste C, Zulian G, Delgado I, et al. Assessment of coastal protection as an ecosystem service in Europe[J]. Ecological Indicators, 2013, 30: 205-217.
- [58] 吴静茹. 海滩游憩资源的非使用价值评估——以青岛市黄岛区金沙滩为例[J]. 环球市场信息导报, 2017(14): 4-6.
- Wu J R. Non use value evaluation of beach recreational resources ——Take golden beach, Huangdao District, Qingdao as an example[J]. Global Market Information Guide, 2017(14): 4-6.
- [59] Cabana D, Ryfield F, Crowe T P, et al. Evaluating and communicating cultural ecosystem services[J]. Ecosystem Services, 2020, 42: 101085.
- [60] Bryce R, Irvine K N, Church A, et al. Subjective well-being indicators for large-scale assessment of cultural ecosystem services[J]. Ecosystem Services, 2016, 21: 258-269.
- [61] Brown G, Hausner V H. An empirical analysis of cultural ecosystem values in coastal landscapes[J]. Ocean & Coastal Management, 2017, 142: 49-60.
- [62] Pascal N, Allenbach M, Brathwaite A, et al. Economic valuation of coral reef ecosystem service of coastal protection: a pragmatic approach[J]. Ecosystem Services, 2016, 21: 72-80.
- [63] Tuya F, Haroun R, Espino F. Economic assessment of ecosystem services: monetary value of seagrass meadows for coastal fisheries [J]. Ocean & Coastal Management, 2014, 96: 181-187.
- [64] Everard M, Kangabam R, Tiwari M K, et al. Ecosystem service assessment of selected wetlands of Kolkata and the Indian Gangetic Delta: multi-beneficial systems under differentiated management stress[J]. Wetlands Ecology and Management, 2019, 27(2/3): 405-426.
- [65] Engle V D. Estimating the provision of ecosystem services by Gulf of Mexico coastal wetlands[J]. Wetlands, 2011, 31(1): 179-193.
- [66] Brenner J, Jimenez J A, Sarda R, et al. An assessment of the non-market value of the ecosystem services provided by the Catalan coastal zone, Spain[J]. Ocean & Coastal Management, 2010, 53: 27-38.
- [67] Badola R, Hussain S A. Valuing ecosystem functions: an empirical study on the storm protection function of Bhitarkanika mangrove ecosystem, India[J]. Environmental Conservation, 2005, 32(1): 85-92.
- [68] 李亚燕. 基于生态资本评估的海洋溢油生态价值损害及补偿研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2015.
- Li Y Y. Research on oil spill ecological value damage and compensation based on the assessment of ecological capital[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2015.
- [69] Daily G C, Söderqvist T, Aniyar S, et al. The value of nature and the nature of value[J]. Science, 2000, 289(5478): 395-396.
- [70] 隋玉正, 李淑娟, 张绪良, 等. 围填海造陆引起的海岛周围海域海洋生态系统服务价值损失——以浙江省洞头县为例[J]. 海洋科学, 2013, 37(9): 90-96.
- Sui Y Z, Li S J, Zhang X L, et al. Appraisal on the value loss of marine ecosystem services about island reclamation: a case study of Dongtou[J]. Marine Sciences, 2013, 37(9): 90-96.
- [71] Navrud S, Lindhjem H, Magnussen K. Valuing marine ecosystem services loss from oil spills for use in cost-benefit analysis of preventive measures[M]//Nunes P A L D, Svensson L E,

- Markandya A. Handbook on the Economics and Management of Sustainable Oceans. Cheltenham: Edward Elgar Publishing, 2017.
- [72] Derous S, Agardy T, Hillewaert H, et al. A concept for biological valuation in the marine environment[J]. *Oceanologia*, 2007, 49(1): 99-128.
- [73] 焦念志. 研发海洋“负排放”技术支撑国家“碳中和”需求[J]. *中国科学院院刊*, 2021, 36(2): 179-187.
- Jiao N Z. Developing ocean negative carbon emission technology to support national carbon neutralization[J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2021, 36(2): 179-187.

## Research progress on the value and assessment of marine ecosystem services

WU Suwen<sup>1,2</sup>, SONG Jun<sup>1,2</sup>, ZHANG Yan<sup>1,2,3</sup>, YUAN Zeyi<sup>4</sup>, ZHANG Yue<sup>1,2</sup>

(1. School of Marine Science and Environment Engineering, Dalian Ocean University, Dalian 116023 China; 2. Operational Oceanographic Institution, Dalian Ocean University, Dalian 116023 China; 3. Key Laboratory of Nearshore Marine Environmental Science and Technology of Liaoning Province's University, Dalian 116023 China; 4. National Marine Data and Information Service, Tianjin 300171 China)

**Abstract:** The research on the value and assessment of marine ecosystem services plays an important supporting role in national economic accounting, paid use of marine ecosystem services, ecological compensation, marine or coastal spatial planning and integrated coastal management. This paper analyzes the concept of marine ecosystem services from the perspective of the process of service generation and discipline, and discusses and optimizes the functional classification of the marine ecosystem services based on actual assessment. Moreover, each function of the classification is analyzed, especially the assessment methods and applicability of the regulatory service function. Finally, the future research trend of marine ecosystem services value assessment is prospected, which may provide reference for its future research.

**Key words:** marine ecosystem services; functional classification; value assessment; research progress