

DOI: 10.20103/j.stxb.202311242569

刘丹丹, 李京梅, 李淑琴, 刘娟. 海洋生态损害和管理政策响应: 生态生产函数构建与补偿政策设计. 生态学报, 2024, 44(18): 8062-8071.

Liu D D, Li J M, Li S Q, Liu J. How to link marine ecological damage and management policy responses: ecological production function construction and compensation policy design. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(18): 8062-8071.

海洋生态损害和管理政策响应: 生态生产函数构建与补偿政策设计

刘丹丹¹, 李京梅^{1,2,*}, 李淑琴¹, 刘娟²

¹ 中国海洋大学经济学院, 青岛 266100

² 中国海洋大学海洋发展研究院, 青岛 266100

摘要: 识别影响人类福利的海洋生态系统结构、过程、功能的关键因子及其关系, 建立紧密联系生态变化和人类福利的海洋环境管理政策并对海洋生态损害行为进行针对性调控, 有助于实现海洋生态系统服务供给可持续, 实现人与自然的和谐共生目标。通过构建联接生态投入和服务产出的生态生产函数, 刻画海洋生态受损和人类福利变化间的关系; 筛选海洋生态损害表征要素并进一步解析受损要素特征; 分别从货币补偿和生态修复双层面设计海洋生态管理响应方式。研究结论有助于搭建从损害要素到补偿政策的因果链条, 从而为海洋生态损害的责任认定、货币补偿与生态修复方案选择提供标准化、业务化的技术支持。

关键词: 海洋生态损害; 生态生产函数; 管理政策响应; 海洋生态损害补偿

How to link marine ecological damage and management policy responses: ecological production function construction and compensation policy design

LIU Dandan¹, LI Jingmei^{1,2,*}, LI Shuqin¹, LIU Juan²

¹ School of Economics, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

² Institute of Marine Development, Ocean University of China, Qingdao 266100, China

Abstract: Identifying the pivotal factors and their interconnections within the structural, procedural, and functional dynamics of marine ecosystems, which impact human welfare, lays the groundwork for establishing marine environmental management policies closely linked to ecological change and human well-being. Providing targeted regulation of marine ecological damage based on these policies will contribute to realizing the sustainability of marine ecosystem services and achieving the goal of harmonious coexistence between humans and nature. Focusing on the development of a theoretical framework for the management of the marine environment that links changes in marine ecology, human well-being and management policy responses, an ecological production functions were constructed to establish a causal link between ecological inputs and service outputs, which depict the relationship between marine ecological damage and changes in human welfare. Ecological production functions describe the impact of changes in ecological factors resulting from natural conditions or human activities on the supply of final ecosystem services. Changes in ecosystem components and structure affect ecosystem processes, which trigger changes in the provision of ecosystem services. These changes in the supply of final ecosystem services can lead to changes in their value, thus affecting human well-being. On the top of that, some indicators are selected to characterize marine ecological damage, including marine biological resource elements represented by plankton, swimming organisms, benthic organisms, and others, representative elements of marine environmental quality

基金项目: 国家社会科学基金重大项目 (16ZDA049)

收稿日期: 2023-11-24; 网络出版日期: 2024-07-12

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jingmeili66@163.com

represented by pollutant concentrations and hydrodynamic indicators, and elements of marine biodiversity represented by habitat area and species and functional diversity. Marine ecological damage indicators can define and measure biophysical features of ecosystems that directly affect human well-being, facilitating social explanations of ecological conditions. Both monetary compensation and ecological restoration approaches are chosen to promote the establish of an ecosystem-based marine management system. Marine ecosystem restoration aims to maintain the non-degradation of marine ecosystem services at the macro level. The monetary compensation standard for marine ecological damage is based on the theoretical foundation of maximizing socio-economic welfare and follows the logic of value determination, value loss, and value compensation to calculate compensation for ecological damage, aiming to make up for the loss of personal welfare caused by damage to the marine environment. Research findings can help to build a causal chain from marine ecological damage indicators to compensation policies, which can provide standardized and operational technical support for the identification of marine ecological damage responsibility, selection of monetary compensation, and ecological restoration schemes.

Key Words: marine ecological damage; ecological production function; management policy response; marine ecological damage compensation

海洋是地球上最大的生态系统,在气候调节、生物多样性保育和人类社会可持续发展等方面具有重要意义。海洋生态系统也是严重受到不断扩张的全球经济影响的生态系统之一。20 世纪以来,随着沿海地区人口增加与城镇化进程的加快,海洋捕捞、油气和矿产资源开采开发等经济活动迅速增加,大量海岸带基础设施建设项目开工,海洋航运运力规模持续壮大,全球海洋经济呈现蓬勃发展态势。与此同时,海洋生态系统在多重胁迫影响下已经发生了显著的变化,如生物资源数量减少和质量下降、水体富营养化、重要栖息地面积衰减、生物多样性丧失等^[1]。尽管生态系统遇到损害时具有自我恢复能力,但当环境冲击强烈或持久时,生态系统可能会越过一个阈值而发生突然、灾难性的结构变化,导致生态系统丧失自我恢复力,或其恢复面临很大的困难或高昂的成本^[2]。因此,在认知海洋生态系统变化诱因和变化现状的基础上,进行海洋生态损害管理政策响应,是实施基于生态系统管理,以阻止或扭转海洋生态系统衰退局面的重要议题。

自党的十八大首次提出生态文明建设和海洋强国战略以来,十八届三中全会、四中全会、五中全会明确要求用严格的法律制度保护生态环境,加快生态文明制度建设。生态文明建设,环境保护是关键,治理生态环境损害是环境保护的重要内容^[3]。2015 年中共中央、国务院《生态文明体制改革总体方案》,明确提出建立“充分反映资源消耗、环境损害、生态效益的生态文明绩效评价考核和责任追究制度”^[4],之后《生态环境损害赔偿制度改革试点方案》《生态环境损害赔偿管理规定》陆续颁布,生态环境损害赔偿制度顶层设计日趋完善,海洋生态损害治理和海洋生态文明工作持续推进。目前我国已进入“十四五”规划的新时期,干预和约束海洋资源利用中的生态环境影响仍是海洋强国建设的重要目标。深化对海洋生态环境突出问题及成因根源的科学认知,加快补齐基础性、关键性能力短板,建立紧密联系生态变化和人类福利的海洋环境管理政策,增强人们应对生态环境挑战的能力,已成为我国完善海洋生态环境治理体系、推动海洋生态文明战略实施的新要求。

建立良好的海洋环境管理政策响应主要面临两个问题,分别是信息的匮乏和制度的失效^[2]。一方面,由于人们对生态系统要素和过程与生态系统为人类提供的福祉之间的关系缺乏认识,同时对人类活动如何导致环境变化从而影响人类福祉也不甚了解,导致管理政策难以捕获主要生态损害要素,损害界定困难,影响环境损害纠纷的司法处理,生态环境修复难以开展^[5]。另一方面,海洋环境管理政策制定通常是零散的和滞后的。过去十年海洋管理方法大量增加和普及,如渔获量和捕捞努力控制、海洋保护区建设等,各国对特定区域人类活动进行监管也日益严格,但这些管理方法过于依赖地方政策和立法,保护方法零碎不成体系,不能充分反映海洋环境保护对经济和社会的重要性,导致政策制定和决策方式产生系统性偏差^[6-7]。近年来,“基于生态系统的管理(ecosystem-based management, EBM)”成为综合管理生态健康和人类活动的主流范式,如何开

展基于生态系统的海洋管理成为国内外学者研究的热点问题。国外学者就基于海洋生态系统的管理的概念特征^[8-9]、生态学和社会科学理论基础^[10-11]、利益相关者分析^[12-13]、管理逻辑和行动框架^[14-16]等方面进行了系统分析,完善了海洋生态环境变化与管理响应之间的逻辑链条,提供了海洋生态环境管理的理论依据和实践经验。国内学者主要围绕基于生态系统的海洋综合管理的概念、原则、行动框架等方面进行理论探索,并梳理相关国家管理实践经验^[19-20],对于科学开展基于生态系统的海洋综合管理、促进海洋生态文明建设发挥了重要作用,但关于如何科学表征海洋生态损害?海洋生态损害、人类福利损失和管理政策响应之间的逻辑关系是什么?如何设计政策对人类用海行为进行针对性调控,以控制和修复海洋生态损害,实现海洋生态系统服务供给可持续等问题鲜有系统研究。

本文聚焦于建立链接海洋生态变化、人类福利变动和管理政策响应的海洋环境管理理论框架,并在此基础上提出“生态-经济-社会”内在逻辑协调一致的海洋生态损害补偿制度设计建议。研究针对海洋生态损害,筛选和解析海洋生态损害的表征信息与要素特征;根据环境变化与人类福利之间的关系,建立海洋生态生产函数关系;从生态修复和货币补偿双层面论述海洋生态损害补偿的方式,联接海洋生态变化和管理政策响应,助力我国海洋生态环境治理能力提升。

1 海洋生态损害信息表征

海洋生态损害表征要素反映了影响人类福利的海洋生态环境变化的关键信息。清晰准确的海洋生态损害表征要素筛选是建立生态生产函数进行海洋生态损害分析的第一步,也是确保后续海洋管理政策响应科学性和针对性的逻辑起点。

1.1 海洋生态损害概念

海洋生态损害是由于人类的直接或间接活动(包括向海域排放污染物质、能量,或人为改变海域自然条件等),致使海洋生态要素和功能发生严重的不利变化,并最终导致海洋生态系统为人类提供福祉的能力减弱或丧失的现象^[21-23]。海洋生态损害是一个多维的动态过程,理解海洋生态损害的概念需要明晰以下三个关键环节:(1)海洋生态系统要素、结构和功能受损。其中要素变化可以分为对生物和非生物的影响,包括鱼类、贝类、鸟类等海洋生物数量及生物多样性的减少,以及碳、硫、氮等参加物质循环和能量流动的无机物质的变化。海洋生态系统要素的损害进一步导致海洋生态系统过程与功能受损,例如海洋生物资源的光合作用受阻或减弱、实现碳循环的生物泵作用受阻或减弱、将有机物转换复原成无机元素的矿化作用受阻或减弱等;(2)海洋生态系统服务衰减。每种海洋生态系统服务都来源于海洋生态系统要素,并通过一定生态功能得以实现。因此,海洋生态系统中要素结构和功能发生变化后,海洋生态系统服务也会相应减弱或加强。特别的,由于海洋生态系统的各个组成部分相互制约、相互影响,因此当某项海洋生态系统服务衰减时,通常也会对其他服务的数量和质量产生影响^[24];(3)人类福祉下降。海洋生态系统服务是人类福祉的重要来源,人类作为海洋生态损害施害主体,为满足自身福祉而直接或间接消费海洋生态系统服务,过度消费海洋生态环境资源,会造成海洋生态系统服务的退化,进而限制人类福祉的提升^[25]。

综上,海洋生态损害实物载体为海洋生态系统组分和功能的系统性损伤,包括了海洋生态系统内的生物因子、无机环境及生态过程(即生物与生物、生物与环境的相互作用)损害,进而造成海洋生态系统服务能力的下降,最终体现为人类福利损失。海洋生态损害内涵的复杂性要求进行海洋生态损害评估和管理需筛选准确反映海洋生态损害内涵的海洋生态损害表征要素,以关联生态条件和社会福利分析,并支撑这些生态信息的政策应用。

1.2 海洋生态损害表征要素

损害表征要素可以定义和测量直接影响人类福利的生态系统的生物物理特征,促进对生态条件和变化的社会解释^[26]。在评估海洋生态损害时,往往用受损明显的损害受体作为评估海洋生态损害的表征要素。国家海洋局在2017年发布的《海洋生态损害评估技术指南》中指出可通过“比较事件发生前后海洋生态系统水

质、沉积物、生物、水动力等主要生态因子的变化进行综合评估海洋生态系统损害程度”。结合海洋生态损害的概念构成,海洋生态损害评估主要表征要素包含以下方面(图 1):①海洋生物资源损害,如鱼类、甲壳动物、浮游生物、底栖生物、海鸟等数量、密度和质量的损失;②海洋环境损害,包括水质和沉积环境中污染物含量的变化情况,如重金属、石油类、营养盐等污染物浓度变化,以及水文和水动力条件改变,如盐度、温度和海水交换率变化等;③生物多样性损害,如栖息地面积下降、自然岸线保有率下降和生物多样性指数的变化等。上述海洋生态系统要素受损后会进一步削弱生态系统功能,影响生态系统的物质循环、能量流动和信息传递等,进而引起生态系统服务的衰减和人类福利损失。此外,在分析不同类型的用海行为时,仍要根据事件本身的特征和受益人的异质性、管理目标的异质性来确定具体的评估指标。

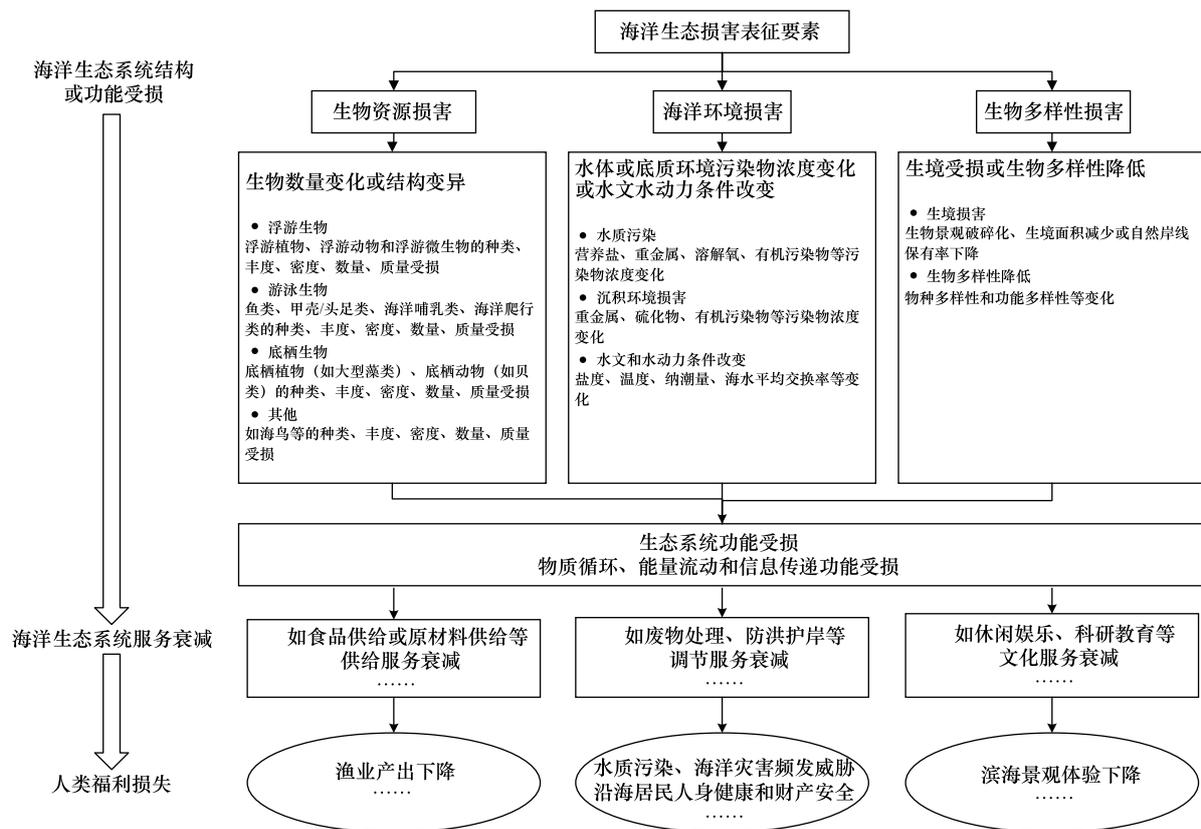


图 1 海洋生态损害表征要素

Fig.1 Elements of characterization of marine ecological damage

特别说明,海洋生态损害表征要素的筛选需遵循最终效果原则。损害的重复计算是海洋生态损害量化的一个难点问题。海洋生态系统组分、功能和服务具有非线性的依赖关系,这些成分之间复杂的因果关系容易导致海洋生态损害评估指标的分类存在重复,致使在量化损害价值时产生重复计算,从而影响海洋生态补偿金额和修复规模的确定。以海洋生态损害最终指标而非中间指标作为量化依据是解决重复计算问题的主要方法之一。最终指标是指对人类福祉有直接影响的表征要素,如海洋生态系统的生物和环境指标;中间指标则是以复杂方式组合间接影响人类福祉的要素,如海洋生态系统功能指标。最终效果原则要求在选取海洋生态损害评估指标时应以海洋生态损害因果链终端的受损指标为评估对象,同一层次的各指标间应避免存在因果关系。该原则旨在减少中间环节损害对评估结果的干扰,避免以每一级损害为对象进行评估可能造成的重复计算问题。因此,在海洋生态损害评估和补偿标准确定过程中,遵循最终效果原则,可以保证所有的生态变化体现在福利计算中,最终指导海洋生态损害补偿手段的选择。

2 生态生产函数构建:联接损害信息与人类福利

科学评估生态系统变化并将评估结果用于环境管理决策面临的关键挑战之一是如何解释生态系统结构、功能改变和服务变动的关系,以便将生态系统服务变化水平的信息传达给经济学家,并进一步进行环境管理决策^[27]。这一挑战本质上可具体为完成生态系统结构和功能向生态系统商品和服务的转换的生态生产函数的确定。

2.1 生态生产函数

生态系统及其所提供的服务功能对于人类的福祉和经济发展有着巨大的经济和社会价值,通过建立生态系统结构、功能和服务与人类福利之间的关系,我们可以更好地管理和保护生态系统,从而实现可持续发展和绿色经济^[28]。尽管当前用来衡量生态系统服务价值和人类福祉的方法取得了卓有成效的进步,但建立完整的生态变化与人类福祉的联系,还需建立体现生态系统结构及其提供的效益之间多维且非线性关系的度量方法^[29]。生态生产函数是定量描述生态系统结构和功能与生态系统服务供给之间的生物物理关系的方法^[26,30]。通过建立生态生产函数表征生态变化和生态系统服务间的关系,可以更有效评估环境变化对人类福利的影响。

生产函数是经济学概念,定义了投入和产出之间的关系,描述了在技术水平不变的情况下,生产中所投入的生产要素的数量与所能生产的最大产出量之间的关系^[31]。基于生态系统与人类福祉间的关系,生态生产函数将生物资源或生态功能视为经济活动的“投入”,将人类从生态系统中获得的服务和产品视为“产出”^[32-33],见式(1)。

$$S=f[X(e,h),Z] \quad (1)$$

式中, S 为人类获得的生态系统服务的数量, X 表示生态要素投入数量,包括生态系统组分和功能。 Z 表示影响生态系统服务供给的其他因素。其中,生态要素的投入数量 X 也受众多因素的影响,大致可分为自然条件 e 和人类活动 h 两类。生态生产函数描述了自然条件或人类活动引发的生态要素变动对最终生态系统服务供给的影响。由于最终生态系统服务供给的变化,会导致其所提供的价值发生变化,从而对人类的福利水平产生影响。因此,生态生产函数所反映的关系则代表了生态变化和人类福利之间的接口,为完整刻画生态变化对人类福利的影响奠定了基础。

2.2 运用生态生产函数进行海洋生态损害管理

在众多海洋生态系统健康的压力源中,人类活动已成为影响生物群落和生态系统的重要因子之一,全球 41% 的海洋区域已受到人类开发活动的严重影响^[34]。受资源过度开发利用、环境污染等影响,海洋的某些物理化学特性发生显著改变,如升温、酸化、脱氧和营养盐减少等,这种变化正在影响海洋生态系统健康和人类社会的可持续发展^[35]。聚焦人类活动引发的海洋生态损害现象,并运用生态生产函数分析海洋生态损害机理,理解海洋生态结构和功能破坏如何降低海洋资源和服务的供给进而影响人类福利,有助于世界各国尤其是沿海国家实现对海洋生态损害的科学治理。

海域使用活动会造成海域环境污染或海岸带地形地貌改变,影响海洋生态系统结构和功能,削弱海洋生态系统向人类提供服务的能力^[21]。因此,基于海洋生态损害的生态生产函数表示如下:

$$\Delta S=f[\Delta C(R),\Delta F(R),Z'] \quad (2)$$

式中, ΔS 表示人类获得的海洋生态系统服务的减少,如公众在海滩或水体上进行娱乐活动的天数、海洋捕捞吨数等,反映了人们从海洋生态系统中的获益的变化。 ΔC 和 ΔF 分别表示海洋生态系统组分和功能的变化,如海洋渔业资源数量减少或海水污染物浓度上升等,这两个变量反映了海洋生态要素的变动。 R 表示破坏海洋资源或环境的人类活动,例如未受管制的用海行为或突发环境事件等负面活动,这些活动改变海洋生态系统结构或功能,影响海洋生态系统服务供给。 Z' 表示影响海洋生态系统服务供给的其他因素。

进一步将生态生产函数纳入海洋生态损害管理框架(图 2):首先,基于生态监测和社会调查等方式搜集

用海行为或突发环境事件对海洋生态环境的损害事实,获取关键损害表征要素的实物量变化情况,建立致损行为和损害要素间的因果关系。其次,运用生态生产函数建立海洋生态要素投入和服务供给的数学关系,描述生态系统要素受损对最终海洋生态系统服务边际影响。最后,价值化海洋生态系统服务损失,从而体现对人类福利的损害,指导海洋生态环境管理政策设计。设计响应海洋生态环境管理政策,即对受损的生态环境进行修复,或通过货币补偿抵补公众福利水平的下降,建立“致损行为→生态生产函数→政策响应(约束致损行为)”的逻辑闭环,为海洋生态环境管理决策和政策设计提供科学依据。

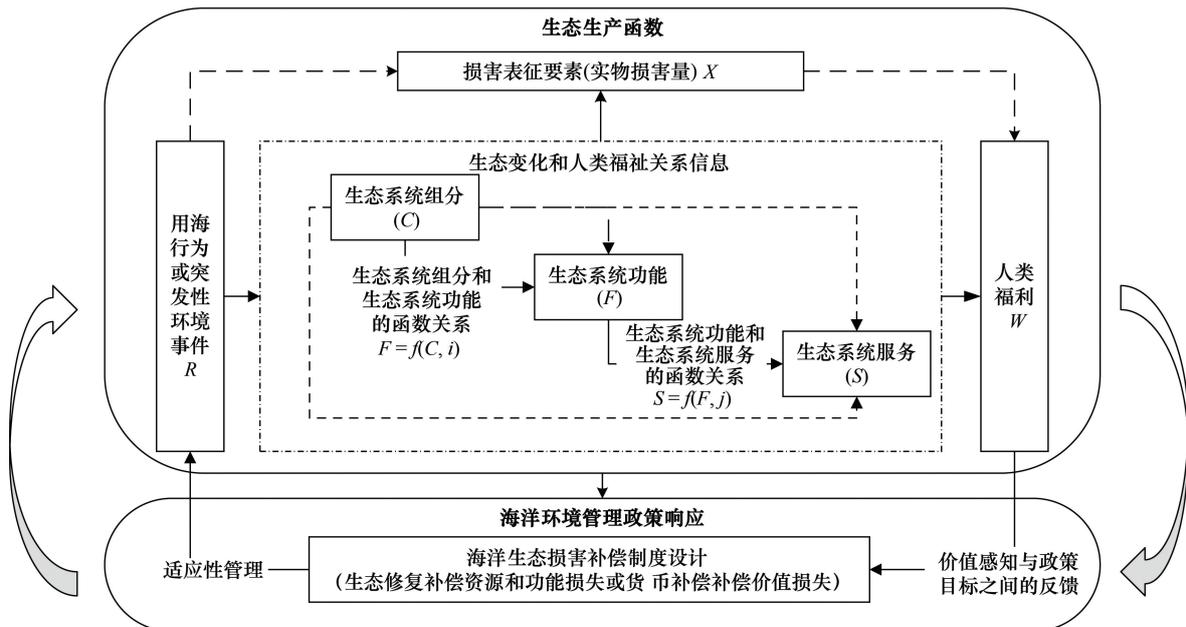


图2 运用生态生产函数进行海洋生态损害管理的机理图

Fig.2 A mechanistic map of marine ecological damage management using ecological production functions

i 为除生态系统组分外其他影响生态系统功能的因素, j 为除生态系统功能外其他影响生态系统服务供给的因素

3 海洋生态损害管理政策响应

响应指的是对环境威胁或挑战做出的实际行动或策略。海洋环境管理政策响应的目标是在提供社会利益的同时,维护和保护生态结构和功能以及由此产生的生态系统服务^[36]。海洋生态损害补偿是海洋环境管理政策响应方式之一。海洋资源和环境遭到破坏后,可选择的补偿方式主要有两种:第一种是生态修复,它要求损害者或第三方机构将受损的海洋资源或环境恢复到基线状态,以确保生态功能水平不下降;第二种是货币补偿,它要求损害的责任方以货币的形式来补偿其损害的海洋生态系统服务价值,以确保公众环境福利水平不降低。

3.1 生态修复

海洋生态修复是在海洋生态系统遭到退化、损害和破坏后,积极采取干预措施在促进生态系统自我恢复基础上,将生态系统的结构和功能恢复到健康、稳定和可持续利用状态的有益活动的总称^[37]。生态修复的目标是保持生态功能的基准水平不变。为实现这一目标需要采用生物资源增殖或生境重建等实物修复项目开展生态修复工作,以抵消生态系统服务损失,实现生态损害的内部化^[38]。减轻和补偿环境损害或栖息地丧失所需的生态修复量通常基于实现生态等效的目标。生态等效指修复工程提供的服务应该等于损害事件造成的海洋生态损害总损失量^[39],如图3。具体而言,某海洋生态损害事件在 $t_N \sim t_M$ 时期发生,导致某生物资源减少、生态系统服务功能下降、栖息地破坏等生态损害 R_t , d_t 为资源或服务在时间 t 的损失程度,海洋生态损害的

总损失量以 L 表示。损害事件发生后及时开展修复项目的规模为 S , 跨期 $t_1 \sim t_L$ 生态修复工程, b_t 为修复工程提供的资源或服务在时间 t 的增益程度, 海洋生态修复工程所提供的总收益量以 G 表示。当因损害事件造成的生态损害总损失量正好等同于修复工程增加的生态修复总收益量时, 被称为实现生态等效, 用公式表征为:

$$\underbrace{\sum_{t=t_N}^{t_M} (R_t \times d_t) \times (1+r)^{T-t}}_L = S \times \underbrace{\sum_{t=t_1}^{t_L} (1 \times b_t) \times (1+r)^{T-t}}_G \quad (3)$$

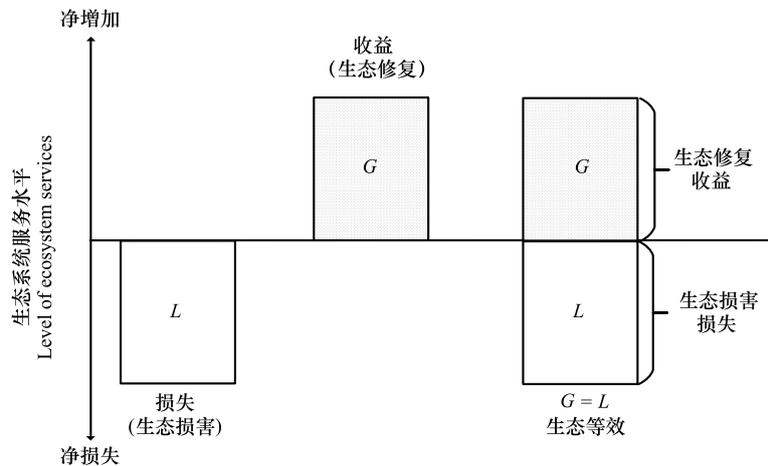


图3 生态等效分析示意图

Fig.3 Schematic diagram of ecological equivalence analysis

L: 海洋生态总损失量; G: 海洋生态修复工程提供的总收益量

由于生态损害损失量 L 和生态修复收益量 G 是动态变化的, 受自然恢复速率、生态修复时间、生态修复项目规模等多因素影响。因此, 生态等效通过平衡海洋资源或生态系统服务在一段时间内的收益和损失量, 确定抵消过去、现在和未来损害的必要补偿, 而不直接从经济角度对其进行估价^[39]。一般来说, 在利用生态等效分析法量海洋资源或服务功能损失并计算补偿修复标准时, 根据式(3)可推导海洋生境服务或资源损失补偿修复规模 S 的计算公式如下:

$$S = \frac{\sum_{t=t_N}^{t_M} (R_t \times d_t) \times (1+r)^{T-t}}{\sum_{t=t_1}^{t_L} (1 \times b_t) \times (1+r)^{T-t}} \quad (4)$$

综上, 海洋生态修复旨在宏观层面上维持海洋生态系统服务功能的非减性, 促进海洋生态系统的自我修复能力更新, 以充分实现生态补偿的核心要求, 即使受损的海洋生态系统能够恢复原有的服务功能。

3.2 货币补偿

海洋生态损害货币补偿标准基于社会经济福利最大化的理论依据, 循着价值决定、价值损失和价值补偿的逻辑主线, 计算生态损害补偿金, 是生态补偿标准的最直接最合理解释。货币补偿的目标是保持人们福利水平不变。经济学中一般使用补偿剩余 (compensating surplus, CS) 和等价剩余 (equivalent surplus, ES) 作为环境变化对个人福利影响的度量。其中, CS 衡量的是在新的价格水平与新的消费量条件下, 收入需变动多少才能使个体效用水平与初始水平无差异; ES 衡量的是在既定价格水平下, 收入需要变动多少才能使个体在现有效用水平上保持原来的环境资源和服务的消费量。当货币补偿金额等于个人所遭受的环境福利损失带来的收入变动时, 海洋环境损害所造成的个人福利损失被货币补偿弥补。用支出函数表示的 CS 和 ES 的计算公式如下:

$$CS(q_0, q_1) = e(P, q_0, u^0) - e(P, q_1, u^0) \quad (5)$$

$$ES(q_0, q_1) = e(P, q_0; u^0) - e(P, q_0; u^1) \quad (6)$$

式中, P 为各类环境资源和服务的价格向量 ($P = p_1, p_2, \dots, p_n$); q_0 为海洋环境资源和服务的个人初始消费量; q_1 为海洋生态损害发生后, 海洋环境资源和服务的个人消费量; u^0 为初始效用水平 (或福利水平), u^1 为海洋生态损害发生后的个人效用水平 (或福利水平)。

图 4 显示了 CS 和 ES 度量的海洋生态损害带来的个人福利影响。A 点为初始状态, B 点为海洋生态损害发生后的状态。CS 可解释为个体为了避免自身效用水平下降而愿意获得补偿的最小金额, 如果收入提高了 CS (即图中 B 点到 C 点的距离), 收入水平从 M_0 提升至 M_1 , 个人效用水平可从 u_1 回到 u_0 , 个体福利水平不变。ES 可解释为个体为了避免海洋环境资源和服务消费量下降而愿意付出的最大金额, 如果收入减少 ES (即图中 A 点到 D 点的距离), 收入水平从 M_0 下降至 M_2 , 海洋环境资源和服务的消费量可从 q_1 回到初始水平 q_0 。

海洋生态损害货币补偿标准确定以海洋生态系统服务价值评估为依据, 效用价值论是生态系统服务价值评估的理论基础, 该理论从个人对物品效用的主观心理评价 (即物品满足个人需求的能力) 角度来解释价值及其形成过程^[40-41]。海岸带资源的稀缺和生态环境质量的下降成为海岸带资源具有价值的必要条件。因此对海岸带自然资源的生态价值损失的补偿即为海洋生态损害补偿。根据生态系统服务价值理论, 海洋生态损害货币补偿标准计算公式如下^[39]:

$$P = \frac{(1+r)^n - 1}{(1+r)^n r} \times \sum_{i=1}^l V_i \quad (7)$$

式中, P 代表海洋生态损害货币补偿金额, r 为折现率, n 为补偿年限, i 代表受损的海域各项生态系统服务, V_i 代表第 i 种生态系统服务的价值。货币补偿可以通过提取相应的补偿费用, 提高海洋资源开发成本, 管理海洋生态损害行为。补偿费用可用于恢复、维护和改善海岸带生态功能, 保证海洋可持续性利用。

选取海洋生态损害补偿方式是建立海洋环境管理政策响应的关键问题。货币补偿和生态修复两种方式的选择需要考虑到致损的行为主体或责任方的修复能力以及环境是否可以恢复原状等问题, 灵活采取补偿办法。

4 结论和展望

20 世纪 90 年代以来, 不断增加海洋和海岸带开发强度对海洋生态系统造成了巨大的压力和影响, 海洋及海岸带生态系统处于健康状态的占比多年不足 30%; 主要渔业种群因过度捕捞和毁灭性渔业活动崩溃, 海洋食物链和食物网受损; 大规模围填海造地、海洋污染和外来物种入侵等海洋生态损害行为导致生物多样性降低、海洋栖息地大量退化和丧失, 海洋生态损害已成为一个常态化现象。在海洋生态损害发生之后, 基于生态和生产的联系, 建立生态生产函数, 并根据消费者福利水平的下降, 设计相应的管理政策, 是止损减损的必要手段。本文构建了一个基于生态生产函数的海洋环境管理理论框架, 该理论框架详细阐述了海洋生态损害从组分、功能、服务到人类福利受损的动态过程和损害表征要素, 把生态损害的发生和管理政策的响应联接起

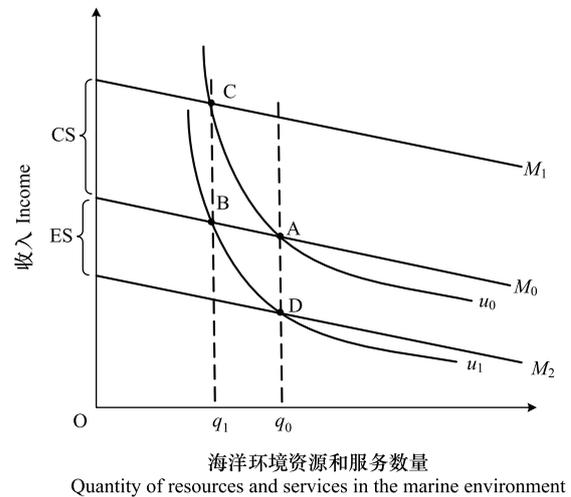


图 4 海洋生态损害造成的福利损失的经济计量

Fig.4 Economic measurement of welfare loss from marine ecological damage

CS: 补偿剩余; ES: 等价剩余; q_0 : 海洋环境资源和服务的个人初始消费量; q_1 : 海洋生态损害发生后海洋环境资源和服务的个人消费量; M_0 : 初始收入水平; M_1 : 接受货币补偿后的收入水平; M_2 : 支付货币补偿后的收入水平; u_0 : 初始效用水平 (或福利水平); u_1 : 为海洋生态损害发生后的个人效用水平 (或福利水平); A、B、C、D 表示不同收入和效用水平下的均衡状态点

来,以克服海洋生态环境管理中信息的缺失和制度的失效问题,为海洋生态环境管理和保护行动选择提供参考。具体应用可体现在以下领域:

(1)海洋生物多样性和栖息地保护。当前我国海洋生物多样性保护政策主要集中于以物种保护为核心的海洋保护区建设。但生态系统的机能和复原力不仅取决于单一物种的数量水平,也取决于种内、种间及物种和非生物环境间的生物、物理和化学作用。本文建立的海洋生态损害评估逻辑,着眼于生态系统管理的角度,充分考虑了海洋生态系统组分、结构和功能的相互作用,对海洋生物多样性维持而言,其意义高于单纯的物种保护^[42]。

(2)海洋空间规划与海洋开发活动管理。海洋空间规划的目标是更有效地组织海洋空间的利用,调整各种利用方式之间的相互关系,以在满足开发需求的同时平衡海洋生态系统的保护需求,该方式可以同时满足生态、经济和社会目标^[43]。2016年,我国国务院颁布了《全国海洋功能区划》,旨在从用海方式的角度着手,解决我国海洋生态损害问题。然而,该规划主要侧重于解决不同用海模式之间的矛盾,却未充分考虑一系列可量化的指标,用以反映生态系统要素、结构和服务功能的受损程度^[19]。本文建立的海洋生态损害评估指标体系和补偿方法一定程度上弥补了《区划》的不足,该框架综合考虑海洋开发活动及其导致的受损要素,描述了海洋生态损害发生的致损原因、损害要素及由此引发的人类福利损失。并在众多表征生态变化的指标中,筛选出与社会福利变动密切、表征有效的指标,有助于协调和平衡海洋生态、经济和社会功能,指导海洋资源的可持续开发。将评估指标体系辅助于海洋空间规划,是推进基于生态系统的海洋管理的发展进程的重要一步。

(3)海洋生态损害补偿制度的司法建设。我国海洋经济的发展已经进入生态破坏的频发阶段,生态损害、环境污染事件以及求偿案件的数量急剧增加。海洋生态损害补偿制度涉及海洋生态修复与海洋货币补偿两大部分,现有法律政策以及实践均未能形成完整且完善的海洋生态损害补偿/赔偿制度。现实中仍需立足我国海洋资源开发与海洋经济发展国情,充分借鉴国际上自然资源损害评估与补偿管理实践,构建海洋生态损害修复和赔偿制度,同时设计海洋生态损害修复、赔偿的市场化运作机制,鼓励经济主体选择对自己最适宜的行动,实现既定政策目标,为我国海洋生态环境管理营造良好的法律政策环境。

参考文献(References):

- [1] United Nations Office of Legal Affairs. The Second World Ocean Assessment. New York: United Nations, 2021.
- [2] TEEB. 生态系统和生物多样性经济学:生态和经济基础. 李俊生、翟生强、胡理乐译. 北京:中国环境出版社, 2012.
- [3] 廖兵兵, 叶温平. 生态文明视域下海洋生态环境损害赔偿范围研究. 中国海商法研究, 2022, 33(4): 3-14.
- [4] 中国政府网. 中共中央国务院印发《生态文明体制改革总体方案》(2015-09-21) [2023-07-11]. https://www.gov.cn/guowuyuan/2015-09/21/content_2936327.htm.
- [5] 中华人民共和国生态环境部. 生态环境损害鉴定评估技术标准体系建设情况说明(2020-09) [2023-07-11]. <https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202009/W020210319364927293714.pdf>.
- [6] 李加林, 沈满洪, 马仁锋, 杨红生, 陈一宁, 孙才志, 刘明, 韩喜球, 胡志丁, 马学广. 海洋生态文明建设背景下的海洋资源经济与海洋战略. 自然资源学报, 2022, 37(4): 829-849.
- [7] 张卫彬, 朱永倩. 海洋命运共同体视域下全球海洋生态环境治理体系建构. 太平洋学报, 2020, 28(5): 92-104.
- [8] Arkema K K, Abramson S C, Dewsbury B M. Marine ecosystem-based management: from characterization to implementation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2006, 4(10): 525-532.
- [9] Curtin R, Prellezo R. Understanding marine ecosystem based management: a literature review. *Marine Policy*, 2010, 34(5): 821-830.
- [10] Crowder L, Norse E. Essential ecological insights for marine ecosystem-based management and marine spatial planning. *Marine Policy*, 2008, 32(5): 772-778.
- [11] Alexander K A, Hobday A J, Cvitanovic C, Ogier E, Nash K L, Cottrell R S, Fleming A, Fudge M, Fulton E A, Frusher S, Kelly R, Macleod C K, Pecl G T, van Putten I, Vince J, Watson R A. Progress in integrating natural and social science in marine ecosystem-based management research. *Marine and Freshwater Research*, 2019, 70(1): 71.
- [12] Gelcich S, Defeo O, Iribarne O, Del Carpio G, DuBois R, Horta S, Isacch J P, Godoy N, Coayla Peñaloza P, Castilla J C. Marine ecosystem-

- based management in the Southern Cone of South America: Stakeholder perceptions and lessons for implementation. *Marine Policy*, 2009, 33(5): 801-806.
- [13] Alexander K, Haward M. The human side of marine ecosystem-based management (EBM): 'Sectoral interplay' as a challenge to implementing EBM. *Marine Policy*, 2019, 101: 33-38.
- [14] Ruckelshaus M, Klinger T, Knowlton N, DeMaster D P. Marine ecosystem-based management in practice: scientific and governance challenges. *BioScience*, 2008, 58(1): 53-63.
- [15] Cook G S, Fletcher P J, Kelble C R. Towards marine ecosystem based management in South Florida: investigating the connections among ecosystem pressures, states, and services in a complex coastal system. *Ecological Indicators*, 2014, 44: 26-39.
- [16] Piet G, Delacámara G, Lago M, Rouillard J, Martin R, Duinen R V. Making ecosystem-based management operational. Deliverable 8.1. European Union's Horizon 2020 Framework Programme for Research and Innovation grant agreement. 2018
- [17] 孟伟庆, 胡蓓蓓, 刘百桥, 周俊. 基于生态系统的海洋管理: 概念、原则、框架与实践途径. *地球科学进展*, 2016, 31(5): 461-470.
- [18] 张继伟, 李青生, 郭晓峰, 蒋金龙, 王翠. 基于生态系统的海洋管理: 发展历程、概念、原则、框架和建议. *环境与可持续发展*, 2019, 44(1): 82-89.
- [19] 刘慧, 苏纪兰. 基于生态系统的海洋管理理论与实践. *地球科学进展*, 2014, 29(2): 275-284.
- [20] 王斌, 杨振姣. 基于生态系统的海洋管理理论与实践分析. *太平洋学报*, 2018, 26(6): 87-98.
- [21] 沈满洪. 海洋生态损害补偿及其相关概念辨析. *中国环境管理*, 2019, 11(4): 34-38.
- [22] 胡求光, 沈伟腾, 陈琦. 中国海洋生态损害的制度根源及治理对策分析. *农业经济问题*, 2019, 40(7): 113-122.
- [23] 李京梅, 苏红岩. 海洋生态损害补偿标准的关键问题探讨. *海洋开发与管理*, 2018, 35(9): 27-33.
- [24] 张朝晖, 周骏, 吕吉斌, 丁德文. 海洋生态系统服务的内涵与特点. *海洋环境科学*, 2007, 26(3): 259-263.
- [25] 王大尚, 郑华, 欧阳志云. 生态系统服务供给、消费与人类福祉的关系. *应用生态学报*, 2013, 24(6): 1747-1753.
- [26] Boyd J, Ringold P, Krupnick A, Johnson R J, Weber M A, Hall K M. Ecosystem services indicators: improving the linkage between biophysical and economic analyses. *International Review of Environmental and Resource Economics*, 2015, 8(3-4): 359-443.
- [27] National Research Council. *Valuing Ecosystem Services: Toward Better Environmental Decision-making*. Washington, D. C.: The National Academies Press, 2005.
- [28] Wainger L, Mazzotta M. Realizing the potential of ecosystem services: a framework for relating ecological changes to economic benefits. *Environmental Management*, 2011, 48(4): 710-733.
- [29] Fisher B, Kerry Turner R. Ecosystem services: classification for valuation. *Biological Conservation*, 2008, 141(5): 1167-1169.
- [30] 江波, Christina P. Wong, 欧阳志云. 湖泊生态服务受益者分析及生态生产函数构建. *生态学报*, 2016, 36(8): 2422-2430.
- [31] 陈菲琼. *微观经济学*. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [32] Boyd J, Krupnick A. Using ecological production theory to define and select environmental commodities for nonmarket valuation. *Agricultural and Resource Economics Review*, 2013, 42(1): 1-32.
- [33] Munns W R Jr, Rea A W, Mazzotta M J, Wainger L A, Saterson K. Toward a standard lexicon for ecosystem services. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 2015, 11(4): 666-673.
- [34] Halpern B S, Walbridge S, Selkoe K A, Kappel C V, Micheli F, D'Agrosa C, Bruno J F, Casey K S, Ebert C, Fox H E, Fujita R, Heinemann D, Lenihan H S, Madin E M P, Perry M T, Selig E R, Spalding M, Steneck R, Watson R. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 2008, 319(5865): 948-952.
- [35] 蔡榕硕, 韩志强, 杨正先. 海洋的变化及其对生态系统和人类社会的影响、风险及应对. *气候变化研究进展*, 2020, 16(2): 182-193.
- [36] Elliott M. Marine science and management means tackling exogenic unmanaged pressures and endogenic managed pressures: a numbered guide. *Marine Pollution Bulletin*, 2011, 62(4): 651-655.
- [37] 李京梅, 刘娟. 海洋生态修复: 概念、类型与实施路径选择. *生态学报*, 2022, 42(4): 1241-1251.
- [38] 李京梅, 李娜. 填海造地生态补偿制度建立初探. *海洋开发与管理*, 2015, 32(5): 97-102.
- [39] Aronson J, Clewell A F, Blignaut J N, Milton S J. Ecological restoration: a new frontier for nature conservation and economics. *Journal for Nature Conservation*, 2006, 14(3-4): 135-139.
- [40] Gastineau P, Taugourdeau E. Compensating for environmental damages. *Ecological Economics*, 2014, 97: 150-161.
- [41] 李文华. *生态系统服务功能价值评估的理论、方法与应用*. 北京: 中国人民大学出版社, 2008.
- [42] 董宁平. 生态系统方法用于湿地资源管理的设想. *环境与可持续发展*, 2006, 31(4): 50-52.
- [43] Ehler Charlesm, Fanny Douvere. *海洋空间规划——循序渐进走向生态系统管理*. 何广顺, 李双建, 刘佳, 等, 译. 北京: 海洋出版社, 2010.