

DOI: 10.20103/j.stxb.202311292599

赖敏, 欧阳玉蓉, 吴耀建, 戴娟娟, 方婧, 傅世锋. 面向区域层面的海洋生态修复综合效益评估指标体系. 生态学报, 2024, 44(16): 6965-6975.

Lai M, Ouyang Y R, Wu Y J, Dai J J, Fang J, Fu S F. Indicator system for assessing the comprehensive benefits of marine ecological restoration at the regional level. Acta Ecologica Sinica, 2024, 44(16): 6965-6975.

面向区域层面的海洋生态修复综合效益评估指标体系

赖 敏¹, 欧阳玉蓉^{1,2,3}, 吴耀建^{1,2,3}, 戴娟娟¹, 方 婧¹, 傅世锋^{1,*}

1 自然资源部第三海洋研究所, 厦门 361005

2 自然资源部海洋生态保护与修复重点实验室, 厦门 361005

3 福建省海洋生态保护与修复重点实验室, 厦门 361005

摘要: 海洋生态修复是遏制海洋生态系统退化的重要途径, 海洋生态修复综合效益评估是全面检验海洋生态修复质量、厘清修复目标与行动差距的关键手段。当前, 我国在海洋生态修复领域的已有研究尚欠缺从多要素、多工程类型融合、多维价值角度进行的累积效益分析和对“目标-成本-效益”三者的协同策略探讨, 故本研究立足于我国海洋生态修复的技术特点、实施进展和政策需求, 在对海洋生态修复、综合效益概念及内涵界定的基础上, 以生态效益、经济效益和社会效益为核心构架, 研究提出了面向市(县)级层面的海洋生态修复综合效益评估指标体系及相应的评估方法、分级标准。生态效益类指标包括海水水质变化率、岸线生态化率、渔业资源量变化率和生态系统恢复指数, 用于衡量海洋生态修复对海洋生态系统状况、区域生存发展条件的改善作用; 经济效益指标主要有经济投入产出比, 用于衡量海洋生态修复所带来的有效经济成果; 社会效益指标包括社会公众参与度、生态效果满意度、居民收入影响程度和生产生活影响程度, 用于衡量公众对海洋生态修复的认同感和海洋生态修复对社会公平的维护情况。该评估指标体系能为管理部门开展相关评估工作、多目标决策提供技术支撑, 为海洋生态修复的效益研究提供新的方法思路。

关键词: 海洋生态修复; 综合效益; 指标体系; 评估方法

Indicator system for assessing the comprehensive benefits of marine ecological restoration at the regional level

LAI Min¹, OUYANG Yurong^{1,2,3}, WU Yaojian^{1,2,3}, DAI Juanjuan¹, FANG Jing¹, FU Shifeng^{1,*}

1 Third Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Xiamen 361005, China

2 Key Laboratory of Marine Ecological Conservation and Restoration, Ministry of Natural Resources, Xiamen 361005, China

3 Fujian Provincial Key Laboratory of Marine Ecological Conservation and Restoration, Xiamen 361005, China

Abstract: Marine ecological restoration is a crucial strategy for stopping the degradation of the marine ecosystem, and the comprehensive benefit assessment of the restoration is a crucial tool for evaluating all of its attributes and identifying any gaps between the goals and the actions. Currently, the analysis of cumulative benefits from the perspectives of multiple factors, multiple projects, and multiple dimensions of value, and the investigation of synergistic strategies for the target-cost-benefit triad are still lacking in China's marine ecological restoration research. In view of this, this article proposed an indicator system for the comprehensive benefits of marine ecological restoration at the city (county) level and established the corresponding assessment methods and grading standards, taking ecological benefits, economic benefits and social benefits as the core framework. The rate of change in seawater quality, the rate of shoreline ecologization, the rate of change in the quantity of fishery resources, and the ecosystem restoration index were indicators that fell under the category of ecological benefits, which were used to gauge the effect of marine ecological restoration on the improvement of the quality of

基金项目: 自然资源部海洋生态修复技术标准体系建设与规划编制研究; 中国—东盟海洋保护地网络建设项目 (HX04-210901)

收稿日期: 2023-11-29; **网络出版日期:** 2024-06-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fushifeng@tio.org.cn

marine ecosystems and the conditions for the survival and development of the region. The economic input-output ratio served as the main indicator of economic benefits, which were used to gauge the value realization capacity of ecological restoration on marine ecological products. Social benefit indicators included social public involvement, satisfaction with ecological consequences, influence on residents' lives, and influence on production and life, which were used to gauge how well the general public viewed the preservation of social fairness and the benefits of marine ecological restoration. Throughout the process of building the assessing indicator system, consideration was given to the effective integration of the system with relevant policy planning, technical standards, and management practices of marine ecological restoration, in addition to the applicability of the assessing indicators, the scientific validity of the assessing methods, data availability, and the rationality of the assessing classification, which helped make research findings more applicable and broadly applicable. It's crucial to point out that the time-space scale constraint of a full benefit evaluation led to this study's construction of the ecological restoration indicator calculation method just from the vegetation community and ecological space viewpoints. In the long-term follow-up assessment, the ecological restoration effect assessment component needs to be strengthened. Furthermore, case verification is required for the assessment indication and scoring threshold determination to increase the trustworthiness of technical approaches. The assessment indicator system can give government administrative departments the technical assistance to complete pertinent assessment work and multi-objective decision-making. It can also offer new approaches and concepts for the advantageous study of marine ecological restoration.

Key Words: marine ecological restoration; comprehensive benefits; indicator system; assessment methods

近半个世纪以来,在人口数量激增、陆地资源环境约束趋紧的时代背景下,社会发展需求、科技水平进步双重因素极大地推动了全球海洋开发建设和海洋经济增长,但同时造成海洋生产力下降、滨海湿地萎缩、海洋环境质量恶化、生物资源和生物多样性衰退等问题凸显,严重威胁了海洋生态健康和沿海地区可持续福祉。海洋生态修复作为遏制海洋生态系统退化的重要途径,越来越受到世界各国的高度关注,并成为海洋学、生态学等研究领域的热点议题^[1]。我国自 20 世纪 80 年代开始制定海洋生态修复行动计划,着力推进沿海防护林体系建设工作,“十三五”以来,更将海洋整治修复拓展到近岸海域、海岛、海岸带等全域海洋空间范围,陆续组织了滨海湿地修复、岸线岸滩修复、海湾综合整治等一系列重点工程建设^[2],累计修复海岸线 1500 km、滨海湿地 3 万 hm^2 ^[3]。目前,全国局部海域红树林、盐沼、海草床等典型生境正在逐步恢复,区域海洋环境质量得到明显改善,但海洋生态系统脆弱的总体形势还未发生根本性改变,近岸海域生态状况稳中趋好的基础尚不牢固,沿海各地的生态修复进展并不均衡。与此同时,前期要素化、片段化、局地性且相对分散的生态修复模式割裂了海洋生态系统的整体性、系统性以及内在规律特征^[4],进而削弱了工程措施的实用性和生态系统恢复效率,间接加重了生态投资的经济负担,甚至可能造成社会信任压力。在此背景下,开展海洋生态修复综合效益评估不仅可以全面了解海洋生态修复对区域生态、社会经济福祉的增进作用,厘清修复目标与行动之间的差距,更重要的是,能为后续科学制定或调整工作计划、统筹安排项目建设内容、合理分配投资预算等提供有力的决策依据,促进实现海洋生态修复的可持续性。

在效益评估的理论与实践探索中,基于不同评估目的的“效益”内涵及范畴界定往往各有侧重,而效益评估的内容、方法和指标设计又同评估主体对生态修复的认知理解、实施对象、目标定位、技术要求、监测能力等密不可分,这就导致生态修复效益评估结果在不同项目、不同研究、不同区域之间难以相互比较。另一方面,当前我国在海洋领域的已有研究大多聚焦于单要素^[5-7]、单一工程类型^[8-9]、局地空间^[10-11]的生态修复效果评价,尤为欠缺从多要素、多工程类型融合、多维价值角度进行的累积效益分析^[12]和对“目标-成本-效益”三者的协同策略探讨^[13]。鉴于此,本文立足于我国海洋生态修复的技术特点、实施进展和政策需求,以生态效益、经济效益和社会效益为核心构架,研究提出了面向市(县)级层面的海洋生态修复综合效益评估指标体系,并建立了相应的评估方法和分级标准,以期管理部门开展相关评估工作、多目标决策提供技术支撑,为海洋生态修复的效益研究提供新的方法思路。

1 概念及内涵界定

1.1 海洋生态修复

海洋生态修复指利用大自然的自组织、自调节能力和适当的人工辅助作用,将退化、受损或被破坏海洋生态系统的结构、功能恢复到健康、稳定及可持续利用状态的过程^[14-15],本质上是对“人海”关系的再调适^[16]。2021 年自然资源部办公厅印发《海洋生态修复技术指南(试行)》^[17],分别明确了六类典型生态系统、四类综合型生态系统的修复措施与基本要求,大致概括为:①典型生态系统恢复与重建,包括生境修复、生物群落修复、有害生物防治、保育管理等措施;②岸线整治与生态修复,包括海岸侵蚀防护、近岸构筑物清除、海滩修复养护、海岸植被修复、海堤生态化建设等措施;③河口/海湾综合整治修复,包括环境质量整治、生物资源恢复、生境保护修复等措施;④海岛生态修复,包括地形地貌保护修复、植被/植物资源保护修复、动物及其栖息地保护修复、海岛污染处理等措施。相较于陆域生态修复,海洋生态修复所涉及的空间区域复杂、生态系统类型多样且技术难度大^[18],修复成本甚至是陆域的 10—400 倍^[19]。在构建综合效益评估指标体系时,应充分考虑海洋生态修复的自身特点,最先必须满足的条件是评估对象的全面覆盖,其次才是评估指标的科学选取、评估方法的合理运用等。

1.2 综合效益

“效益”、“成效”、“效果”三个词都与结果有关,普遍被用于表达人类活动对自然生态系统、社会经济系统产生的积极作用。根据《新华词典》中的解释,效益指效果和收益,效果指由某种动因或原因所产生的结果,成效指所获得的预期的好效果。在英文语境下,“效益”比较贴近“benefits”的意思,而“成效”、“效果”一般被翻译成“effectiveness”。由此可见,“效益”强调的是结果的价值和益处,成效、效果则更侧重于结果的实际情况和影响。迄今为止,我国已发布关于成效评估^[20]、监测和效果评估^[21]、单一效益评估^[22-23]的生态修复技术标准,评估内容主要涉及生物群落结构、生态功能及过程、环境质量、人类活动要素等,但对综合效益评估的应用研究相对滞后^[24-25]。在理论研究领域,学者们通常引入生态系统服务的概念及价值化方法,阐释从生态修复到生态平衡、生态系统良性循环再到人类福祉提升的传递过程,然后利用成本效益分析^[26-27]、生态系统服务净增益测算^[28]、多目标分析^[29]等手段,开展生态修复效益量化评估。这里需要指出的是,生态效益、经济效益和社会效益共同构成了人类社会的价值判断标准,换言之,综合效益涵盖了生态效益、经济效益和社会效益;其次,生态效益不完全等同于生态系统服务,例如,人类期望从生态系统得到的是宜人气候、清洁空气、稳定水源等终端产品或服务,而不是固碳、空气净化、水源涵养等过程服务^[30-31];再者,海洋生态修复工程单元一般都在几公顷至几十公顷之间,有些生态系统服务(如气候调节)的评估指标(温度、湿度)不太适用于如此小范围的生态恢复状况诊断^[5]。基于以上分析和文献调研,本文最终给出了海洋生态修复综合效益的定义,即海洋生态修复所引起的生态系统变化及其对区域生存发展条件、经济产出、社会环境等方面所产生的效果和影响。

2 评估指标体系构建

2.1 构建原则

在构建海洋生态修复综合效益评估指标体系时,至少应遵循以下几点原则:①科学性,指标框架应逻辑清晰、层次分明,能有效地反映修复行为对海洋生态系统恢复、区域社会经济贡献的实质性贡献,评估指标应具有很好的代表性,能够准确、灵敏地反映海洋生态系统状况、区域生存发展条件的改善程度以及社会经济影响大小;②可操作性,评估指标应含义明确、易于度量,尽可能引用或参考现行标准规范,指标测算方法应易于掌握、适用性强,以保证评估工作顺利进行,指标测算所需的数据资料应易于获取,尽可能选择社会公共信息来源或通过合理(如时间、经费等)的监测调查手段获得;③系统性,综合效益评估应系统地回顾海洋生态修复投资、设计、修复、管护等全过程,统筹估量各环节对海洋生态系统恢复、区域社会经济贡献的促进作用,评估

内容应全面反映海洋生态修复的生态效益、经济效益和社会效益,以保证评估结论的综合性和完整性。

2.2 构建思路

2.2.1 评估范围

评估的时空范围直接关系到评估内容确定、评估指标设计和数据资料收集,是海洋生态修复综合效益评估指标体系研究的起点和基础。单要素或单个工程的评估范围通常以生态修复建设的自然地理单元、实施期限等为界定依据,空间规模、时间跨度变幅较大且可能存在行政区跨界的情况。本研究围绕海洋生态修复综合效益的基本内涵,遵从海洋生态系统恢复的时间规律,建立了面向市(县)级层面的海洋生态修复综合效益评估指标体系(表1)。基于该指标体系的综合效益评估,评估周期宜为5年,原则上与区域国民经济和社会发展规划期限相对应,以规划基准年为评估基准年,以规划目标年为评估年,评估对象为在既定的时空范围内开展或完成的所有海洋生态修复项目。

表1 海洋生态修复综合效益评估指标体系

Table 1 Indicator system for assessing the comprehensive benefits of marine ecological restoration

一级指标 Level 1 indicator	二级指标 Level 2 indicator	三级指标 Level 3 indicator	指标解释 Interpretation of indicators
A1 生态效益 A1 Ecological benefit	B1 生态恢复状况	C1 海水水质变化率	海水水质指数的变化程度,反映生态修复对海水水质提升的贡献
		C2 岸线生态化率	大陆生态岸线长度占比的变化比率,反映生态修复对岸线生态功能提升的贡献
		C3 渔业资源变化率	海洋渔业资源量的变化程度,反映生态修复对海洋渔业资源恢复的贡献
		C4 生态系统恢复指数	衡量一定时期内海洋生态系统质量状况变化的评价指数,反映生态修复对海洋生态系统恢复的总体贡献
A2 经济效益 A2 Economic benefit	B2 经济效率	C5 经济投入产出比	经济产出与经济成本的比值,反映生态修复的经济投入产出效率
A3 社会效益 A3 Social benefit	B3 社会认同	C6 社会公众参与度	公众参与海洋生态修复活动的积极程度
		C7 生态效果满意度	公众对海洋生态修复在环境质量状况改善、海洋生态功能提升等方面的认可程度
	B4 社会公平	C8 居民收入影响程度	海洋生态修复对居民家庭收入的影响大小
		C9 生产生活影响程度	海洋生态修复对居民生产生活条件的影响大小

2.2.2 指标框架

该指标体系以生态效益、经济效益和社会效益为核心构架,由3个一级指标、4个二级指标和9个三级指标所组成。在生态效益方面,设置了生态恢复状况1个二级指标,用于衡量生态修复对海洋生态系统状况、区域生存发展条件的改善作用^[32-34];其中,以生态系统恢复指数来表征海洋生态系统的状况变化,以海水水质变化率、岸线生态化率、渔业资源量变化率来表征区域生存发展条件的变化情况。在经济效益方面,设置了经济效率1个二级指标,用于衡量海洋生态修复所带来的有效经济成果,并以经济投入产出比来表征经济效率的高低。在社会效益方面,设置了社会认同、社会公平2个二级指标,用于衡量公众对海洋生态修复的认同感、海洋生态修复对社会公平的维护情况;其中,以社会公众参与度、生态效果满意度来表征公众对海洋生态修复行为、效果的认可程度,以居民收入影响程度、生产生活影响程度来表征公众在获得居民收入、生产生活条件方面的平等程度。

3 评估指标测算及评分

3.1 生态效益指标

3.1.1 海水水质变化率

根据 GB3097—1997《海水水质标准》^[35],海水水质是按海域使用功能和保护目标(而非按生态系统健康

需求)进行等级划分的,因此可以用海水水质等级的变化情况来衡量海洋生态修复对“清洁海洋”这一区域生存发展条件的满足程度。海水水质变化率的计算公式如下:

$$R_{wQ} = \frac{I'_{wQ} - I''_{wQ}}{I''_{wQ}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, R_{wQ} 为海水水质变化率(%); I'_{wQ} 为评估年的海水水质指数; I''_{wQ} 为评估基准年的海水水质指数。其中,海水水质指数的计算公式如下:

$$I_{wQ} = \sum \left(\frac{N_i}{N} \times S_{wQi} \right) \quad (2)$$

式中, I_{wQ} 为海水水质指数; i 为海水水质等级数,参照 GB3097—1997《海水水质标准》规定的分级方法,将海水水质划分为一类、二类、三类、四类、劣四类 5 个等级; S_{wQi} 为第 i 类海水水质标准赋值,一类、二类、三类、四类、劣四类海水水质标准赋值分别为 5、4、3、2、1; N_i 为第 i 类海水水质标准的监测站位数; N 为海水水质监测站位总数。

结合《中国海洋生态环境状况公报》(2018—2021 年)和《中国近岸海域环境质量公报》(2017 年)数据,由公式(1)和公式(2)得到 2017—2021 年、2019—2021 年全国近岸海域海水水质指数的年增长率分别为 3.91% 和 3.71%,然后,利用基于趋势外推法,推算出 5 年期的海水水质变化率至少不低于 18%。综合考虑近岸海水水质的多因素叠加影响(尤其是陆源截污的贡献且难以剥离),以及海水水质持续向好的趋势会随着海水水质的不断提升而逐渐变缓,这里将海水水质变化率指标值划分为 ≤ 0 、 >0 — $<10\%$ 、 $\geq 10\%$ 3 个评分等级,分别对应 0、 $\frac{\text{指标值}}{0.10} \times 100$ 、100 3 个评分标准;若所有监测站位的海水水质均已达标,则得分 100。

3.1.2 岸线生态化率

作为陆海之间的重要缓冲带,生态岸线及近岸湿地在抵御海洋极端灾害、保护海洋生物栖息地、提供亲海空间等方面发挥了不可替代的作用。生态岸线包括自然岸线和生态恢复岸线,在此,用大陆生态岸线长度占比的变化情况来衡量海洋生态修复对“安全屏障”这一区域生存发展条件的满足程度。岸线生态化率的计算公式如下:

$$R_{EC} = \frac{A'_{EC} - A''_{EC}}{A''_{EC}} \times 100\% \quad (3)$$

式中, R_{EC} 为岸线生态化率(%); A'_{EC} 为评估年的大陆生态岸线长度占比(%); A''_{EC} 为评估基准年的大陆生态岸线长度占比(%)。其中,大陆生态岸线长度占比的计算公式如下:

$$A_{EC} = \frac{L_{EC}}{L_{TC}} \times 100\% \quad (4)$$

式中, A_{EC} 为大陆生态岸线长度占比(%); L_{EC} 为大陆自然岸线和生态恢复岸线长度之和(km); L_{TC} 为大陆岸线总长度(km)。

以省统计年鉴、“十四五”海洋生态环境保护规划为依据,获取大陆岸线总长度、自然岸线保有率、岸线整治修复目标等省级数据信息;然后利用公式(3)和公式(4),预估沿海省份的岸线生态化率。受资料所限,这里以海南、广西、福建、浙江、江苏、山东为估算对象,以大陆自然岸线保有长度作为大陆生态岸线长度基线数据,且假设评估期内的大陆自然岸线长度不变,由此计算得到 2020—2025 年以上六个省份的岸线生态化率均值(5.2%)、最大值(12.8%)和最小值(2.88%)。由于评估基准年的大陆生态岸线长度占比计算过程缺少生态恢复岸线长度数据和“自然岸线长度不变”这一假设的影响,岸线生态化率的计算结果会略为偏高,因此将岸线生态化率指标值划分为 ≤ 0 、 >0 — $<5\%$ 、 $\geq 5\%$ 3 个评分等级,分别对应 0、 $\frac{\text{指标值}}{0.05} \times 100$ 、100 3 个评分标准。

3.1.3 渔业资源量变化率

海洋蕴藏着丰富的生物资源,在不破坏生态平衡的前提下,海洋向人类提供食物的能力是陆地耕种的1000倍^[36],在此,用渔业资源量的变化情况来衡量海洋生态修复对“食物来源”这一区域生存发展条件的满足程度。渔业资源量变化率的计算公式如下:

$$R_{FR} = \frac{W'_{FR} - W''_{FR}}{W''_{FR}} \times 100\%$$
 (5)

式中, R_{FR} 为渔业资源量变化率(%); W'_{FR} 为评估年的游泳动物资源量(kg/km²); W''_{FR} 为评估基准年的游泳动物资源量(kg/km²)。

结合《中国渔业统计年鉴》(2004—2021年)中的海洋捕捞量数据和蔡莉^[37]的研究成果,可推断出我国海洋渔业资源一直处于退化状态且退化趋势有所缓解,由此认为,近期我国海洋渔业资源的恢复目标仍以遏制退化趋势为主。另一方面,即便在以渔业资源恢复为主要目标的河口、海湾等区域开展投放人工鱼礁、增殖放流等重要修复措施,短期内(3—5年)海洋渔业资源状况也难以得到明显改善;更何况,海洋生态修复对象不仅有河口、海湾等综合型海洋生态系统,还包括红树林、盐沼、珊瑚礁、海草床等典型海洋生态系统,而后者根本无法在短期内实现功能性恢复,海洋渔业资源状况就更难得到改善。综上,将指标值划分为 $\leq -5\%$ 、 $-5\% < \text{指标值} < 5\%$ 、 $\geq 5\%$ 3个评分等级,分别对应0、 $\frac{\text{指标值} + 0.05}{0.10} \times 100$ 、100 3个评分标准。

3.1.4 生态系统恢复指数

根据各类海洋生态系统的修复规模、恢复效果而设置了该指标,用于衡量海洋生态修复对海洋生态系统状况的总体改善情况。生态系统恢复指数的计算公式如下:

$$I_{ES} = \frac{\sum (A_i \times B_i)}{\sum A_i}$$
 (6)

式中, I_{ES} 为生态系统恢复指数; i 为海洋生态系统类型; A_i 为第 i 类海洋生态系统的生态修复面积(hm²); B_i 为第 i 类海洋生态系统的生态恢复系数。其中,生态恢复系数的计算公式如下:

$$B_i = \frac{1}{j} \sum \frac{B_{ij}}{100}$$
 (7)

式中, B_i 为第 i 类海洋生态系统的生态恢复系数; B_{ij} 为第 i 类海洋生态系统的第 j 个生态恢复指标评分值,确定方法见表2; i 为海洋生态系统类型; j 为生态恢复指标数量。

表2 生态恢复指标的测算方法及评分标准

Table 2 Methodology and scoring criteria for ecological restoration indicators

生态系统类型 Ecosystem types	指标名称 Indicator name	计算公式 Formula	评分标准 ^[38—45] Scoring scheme
红树林 Mangroves	红树林盖度变化率	$R_{MG} = \frac{I'_{MG} - I''_{MG}}{I''_{MG}} \times 100\%$ (8)	指标值范围
		式中, R_{MG} 为红树林盖度变化率(%); I'_{MG} 为评估年的红树林盖度(%); I''_{MG} 为评估基准年的红树林盖度(%)	≤0 >0—<15% ≥15%
盐沼 Salt marshes	盐沼植被盖度变化率	$R_{SM} = \frac{I'_{SM} - I''_{SM}}{I''_{SM}} \times 100\%$ (9)	指标值范围
		式中, R_{SM} 为盐沼植被盖度变化率(%); I'_{SM} 为评估年的盐沼植被盖度(%); I''_{SM} 为评估基准年的盐沼植被盖度(%)	≤0 >0—<10% ≥10%
			评分值
			0 0 100
			0 $\frac{\text{指标值}}{0.10} \times 100$ 100

续表

生态系统类型 Ecosystem types	指标名称 Indicator name	计算公式 Formula	评分标准 ^[38—45] Scoring scheme			
珊瑚礁 Coral reefs	活珊瑚覆盖率变化	$R_{LC} = \frac{I'_{LC} - I''_{LC}}{I''_{LC}} \times 100\% \quad (10)$ 式中, R_{LC} 为活珊瑚覆盖率变化(%) ; I'_{LC} 为评估年的活珊瑚覆盖率(%) ; I''_{LC} 为评估基准年的活珊瑚覆盖率(%)	指标值范围	≤0	>0—<50%	≥50%
		评分值	0	$\frac{\text{指标值}}{0.50} \times 100$	100	
海草床 Seagrass beds	海草盖度变化率	$R_{SW} = \frac{I'_{SW} - I''_{SW}}{I''_{SW}} \times 100\% \quad (11)$ 式中, R_{SW} 为海草盖度变化率(%) ; I'_{SW} 为评估年的海草盖度(%) ; I''_{SW} 为评估基准年的海草盖度(%)	指标值范围	≤0	>0—<15%	≥15%
		评分值	0	$\frac{\text{指标值}}{0.15} \times 100$	100	
牡蛎礁 Oyster reefs	牡蛎礁斑块面积变化率	$R_{PA} = \frac{I'_{PA} - I''_{PA}}{I''_{PA}} \times 100\% \quad (12)$ 式中, R_{PA} 为牡蛎礁斑块面积变化率(%) ; I'_{PA} 为评估年的牡蛎礁斑块面积(m²) ; I''_{PA} 为评估基准年的牡蛎礁斑块面积(m²)	指标值范围	≤0	>0—<50%	≥50%
		评分值	0	$\frac{\text{指标值}}{0.50} \times 100$	100	
河口、海湾 Estuaries, bays	滨海湿地面积变化率	$R_{CW} = \frac{I'_{CW} - I''_{CW}}{I''_{CW}} \times 100\% \quad (13)$ 式中, R_{CW} 为滨海湿地面积变化率(%) ; I'_{CW} 为评估年的滨海湿地面积(hm²) ; I''_{CW} 为评估基准年的滨海湿地面积(hm²)	指标值范围	≤0	>0—<10%	
		评分值	0	$\frac{\text{指标值}}{0.10} \times 100$	100≥10%	
	纳潮量变化率	$R_{TU} = \frac{I'_{TU} - I''_{TU}}{I''_{TU}} \times 100\% \quad (14)$ 式中, R_{TU} 为纳潮量变化率(%) ; I'_{TU} 为评估年的纳潮量(m³) ; I''_{TU} 为评估基准年的纳潮量(m³)	指标值范围	≤0	>0—<10%	≥10%
		评分值	0	$\frac{\text{指标值}}{0.10} \times 100$	100	
评分说明:根据具体的修复目标来确定河口、海湾的生态恢复指标。若以生境、生物资源恢复为主要修复目标,滨海湿地面积变化率为必选指标;若以水动力改善为主要修复目标,纳潮量变化率为必选指标;可以两者都选。						
砂质海岸 Sandy shores	养滩长度	通过实地调查或影像解译获取	指标值范围	0	>0—<2km	≥2km
			评分值	0	$\frac{\text{指标值}}{2} \times 100$	100
	干滩宽度	通过实地调查或影像解译获取	指标值范围	0	>0—<50m	≥50m
			评分值	0	$\frac{\text{指标值}}{50} \times 100$	100
评分说明:对比养滩长度、干滩宽度的评分结果,按照“就低不就高”原则来确定砂质海岸的生态恢复指标评分值。						
海岛(岛陆部分) Sea Islands (land portion of island)	海岛植被盖度变化率	$R_{IG} = \frac{I'_{IG} - I''_{IG}}{I''_{IG}} \times 100\% \quad (15)$ 式中, R_{IG} 为海岛植被盖度变化率(%) , I'_{IG} 为评估年的海岛植被盖度(%) , I''_{IG} 为评估基准年的海岛植被盖度(%)	指标值范围	≤0	>0—<30%	100
		评分值	0	$\frac{\text{指标值}}{0.30} \times 100$	≥30%	

生态系统恢复指数属于复合型指标,这里主要以省级“十四五”海洋生态环境保护规划的目标修复类型、面积作为其指标评分的基础依据。考虑到不同生态系统类型的修复难度有所不同,而公式(6)、公式(7)中涉及的修复类型与规划目标又无法完全对应,以及指标评分的设定要求不宜过高,同时应体现海洋生态修复的积极作用,本研究从整体性角度出发,将重建性修复背景下生态恢复系数的最高评分标准设定为“0.80, 100分”,将人工辅助修复背景下生态恢复系数的最高评分标准设定为“0.40, 100分”,进而结合规划目标修复面积数据,计算得到最高评分标准下的生态系统恢复指数(0.76)。照此,将生态系统恢复指数的指标值划分为

0、>0—<0.75、≥0.75 3 个评分等级,分别对应 0、 $\frac{\text{指标值}}{0.75} \times 100$ 、100 3 个评分标准。

3.2 经济效益指标

海洋生态修复是促进沿海地区将“碧海银滩”生态优势转化为“金山银山”发展优势的重要途径之一。在此,用经济投入产出比来衡量海洋生态修复对海洋生态产品的价值变现能力。经济投入产出比的计算公式如下:

$$R_{ER} = \frac{V_{ER}}{C_{ER}} \tag{16}$$

式中, R_{ER} 为经济投入产出比; C_{ER} 为海洋生态修复成本(万元); V_{ER} 为海洋生态修复产出(万元)。其中,海洋生态修复成本的计算公式如下:

$$C_{ER} = C_{DE} + C_{MP} + C_{LM} + C_{RA} + C_{PR} + C_{OC} \tag{17}$$

式中, C_{ER} 为海洋生态修复成本(万元); C_{DE} 为生态修复所需的工程费(万元); C_{MP} 为设备及所需补充生物物种等材料的购置费(万元); C_{LM} 为管护所需的相关费用(万元); C_{RA} 为替代工程建设所需的土地(海域)购置费(万元); C_{PR} 为转产转业安置费(万元); C_{OC} 为工程建设其他费(万元)。

海洋生态修复产出的计算公式如下:

$$V_{ER} = V_{EC} + V_{RI} + V_{CF} + V_{CT} + V_{CL} \tag{18}$$

式中, V_{ER} 为海洋生态修复产出(万元); V_{EC} 为生态补偿类收入(万元); V_{RI} 为海洋生态资源指标交易额(万元); V_{CF} 为农渔业增收额(万元); V_{CT} 为滨海旅游增收额(万元); V_{CL} 为滨海景观溢价(万元)。农渔业增收额、滨海旅游增收额和滨海景观溢价的确定方法见表 3。

海洋生态修复以海洋生态系统恢复、区域生存发展条件提升为初衷,而非以营利为主要目的。针对到海洋生态修复的前期投资大、实施周期长、见效慢、收益少等特点,将经济投入产出比指标值划分为 0、>0—<0.80、≥0.80 3 个评分等级,分别对应 0、 $\frac{\text{指标值}}{0.80} \times 100$ 、100 3 个评分标准。

表 3 海洋生态修复部分经济产出的确定方法

Table 3 Methodology for determining partial economic benefits for marine ecological restoration

经济产出类型 Type of economic output	计算公式 Formula	参数说明 Description of parameters
农渔业增收额 Increased income from agriculture and fisheries	$V_{CF} = I'_{CF} - I''_{CF}$ (19) 式中, V_{CF} 为农渔业增收额(万元); I'_{CF} 评估年的农渔业收入(万元); I''_{CF} 评估基准年的农渔业收入(万元)	农渔业收入的计算公式如下: $I_{CF} = I_{CL} \times A_{CL} + I_{FS} \times A_{FS}$ (20) 式中, I_{CF} 为农渔业收入(万元); I_{CL} 为农业单产(万元/hm ²); I_{FS} 为海水养殖单产(万元/hm ²); A_{CL} 为耕地面积(hm ²); A_{FS} 为海水养殖面积(hm ²)
滨海旅游增收额 Increased income from coastal tourism	$V_{CT} = \sum (I'_{CTi} - I''_{CTi})$ (21) 式中, V_{CT} 为滨海旅游增收额(万元); i 为滨海旅游景区数量; I'_{CTi} 为评估年第 i 个旅游景区的滨海旅游收入(万元); I''_{CTi} 为评估基准年第 i 个旅游景区的滨海旅游收入(万元)	单个旅游景区滨海旅游收入的计算公式如下: $I_{CT} = \sum [N_{CTi} \times (T_{CTi} \times W_{CTi} + C_{CTi})]$ (22) 式中, I_{CT} 为滨海旅游收入(元); i 为客源地数量; T_{CTi} 为来自 i 地的游客的平均旅行时间(d 人 ⁻¹ 次 ⁻¹); W_{CTi} 为 i 地的平均工资水平(元 人 ⁻¹ d ⁻¹); C_{CTi} 为来自 i 地的游客的平均直接旅行费用 ^[46] (元 人 ⁻¹ 次 ⁻¹); N_{CTi} 为来自 i 地的游客数量(人 次 ⁻¹ a ⁻¹)
滨海景观溢价 Coastal view premium	$V_{CL} = \sum (I'_{CLi} - I''_{CLi})$ (23) 式中, V_{CL} 为滨海景观溢价(万元); i 为城镇滨海土地片区数量; I'_{CLi} 为评估年第 i 片区的城镇滨海土地景观价值(万元); I''_{CLi} 为评估基准年第 i 片区的城镇滨海土地景观价值(万元)	单个片区城镇滨海土地景观价值的计算公式如下: $I_{CL} = \sum (A_{CLi} \times P_{CLi} \times \delta_{CLi})$ (24) 式中, I_{CL} 为城镇滨海土地景观价值(万元); A_{CLi} 为第 i 类城镇滨海土地面积(海岸线向陆一侧 1000m 以内)(m ²); P_{CLi} 为第 i 类城镇滨海土地的基准价格(万元/m ²); δ_{CLi} 为滨海自然景观对第 i 类城镇滨海土地价格(包括商服用地、住宅用地和工业用地)的贡献率(%) ^[47]

3.3 社会效益指标

采用问卷调查法和百分制赋值法,对社会公众参与度、生态效果满意度、居民收入影响程度、生产生活影响程度进行评分。其中,从参与频次、参与途径、参与意愿等角度来衡量社会公众参与度的高低;根据公众对海洋生态修复在环境质量状况改善、海洋生态功能提升等方面的态度来衡量生态效果满意度的高低;从家庭收入高低、家庭收入渠道、家庭收入稳定性等角度来衡量海洋生态修复对居民收入的影响大小;从生产劳动及经营条件、资源利用与污水排放条件、日常出行条件等角度来衡量海洋生态修复对居民生产生活条件的影响大小(表4)。具体的评分方法步骤如下:①根据有效问卷中选择[3]的问卷数量占比,分别对单个问题的得分进行赋值, $\geq 80\%$ 、 $\geq 60\%—<80\%$ 、 $\geq 40\%—<60\%$ 、 $\geq 20\%—<40\%$ 、 $<20\%$ 的问卷数量占比赋值分别为5、4、3、2、1;②根据第1—3题的平均分,对社会公众参与度指标进行赋值,根据第4—6题的平均分,对生态效果满意度指标进行赋值;根据第7—9题的平均分,对居民收入影响程度指标进行赋值;根据第10—12题的平均分,对生产生活影响程度指标进行赋值。

将社会公众参与度、生态效果满意度、居民收入影响程度、生产生活影响程度指标值划分为0、 $>0—<4.5$ 、 ≥ 4.5 3个评分等级,分别对应0、 $\frac{\text{指标值}}{4.5} \times 100$ 、100 3个评分标准。

表4 社会效益调查问卷中的问题设计及赋值依据

Table 4 Question design and the basis for assigning values in the questionnaire for the social benefit survey

序号 Serial number	问题 Question	选项 Options		
1	近5年来,您是否参加过本市海洋生态修复相关活动?	[1]从不参加	[2]参加过,年次数 ≤ 2	[3]参加过,年次数 >2
2	本市海洋生态修复相关活动的参与途径有几种?	[1]1种及以下(或不清楚)	[2]2—3种	[3]4种及以上
3	您是否愿意参加本市海洋生态修复相关活动?	[1]不愿意	[2]一般愿意	[3]非常愿意
4	海洋生态修复是否改善了区域海洋生态环境状况?	[1]状况变差	[2]没有明显变化	[3]状况变好
5	海洋生态修复是否提升了区域滨海自然景观、亲海空间品质?	[1]品质变差	[2]没有明显变化	[3]品质变好
6	海洋生态修复是否增强了区域沿岸防灾减灾能力?	[1]能力减弱	[2]没有明显变化	[3]能力增强
7	海洋生态修复是否造成您的家庭收入发生变化?	[1]收入降低	[2]没有明显变化	[3]收入提高
8	海洋生态修复是否造成您的家庭收入渠道发生变化?	[1]渠道变窄	[2]没有明显变化	[3]渠道变宽
9	海洋生态修复是否影响您家庭收入的稳定性?	[1]影响,更不稳定	[2]几乎不影响	[3]影响,更加稳定
10	海洋生态修复是否影响您家的生产劳动及经营活动?	[1]影响,更加不便	[2]几乎不影响	[3]影响,更加便利
11	海洋生态修复是否影响您家的用能、用地、用水、排污等行为?	[1]影响,更加不便	[2]几乎不影响	[3]影响,更加便利
12	海洋生态修复是否影响您家的日常出行活动?	[1]影响,更加不便	[2]几乎不影响	[3]影响,更加便利

4 综合效益评估与分级

4.1 评估方法

利用综合指数法,进行海洋生态修复综合效益评估。综合效益指数的计算公式如下:

$$I_{CB} = \sum (G_{CBi} \times X_{CBi} \times Y_{CBi} \times Z_{CBi}) \quad (25)$$

式中, I_{CB} 为综合效益指数; G_{CBi} 为第*i*个三级指标的评分值; X_{CBi} 为第*i*个三级指标对应的一级指标权重; Y_{CBi} 为第*i*个三级指标对应的二级指标权重; Z_{CBi} 为第*i*个三级指标对应的三级指标权重;*i*为三级指标数量。

本研究建议以固定赋值、变动赋值相结合的方式确定评估指标权重。其中,A1、A2、A3一级指标的权重区间分别为0.50—0.70、0.15—0.30、0.15—0.30,综合考虑生态修复内容、目标、规模、进度等方面进行赋值,三

者总权重为 1.00; B1、B2、B3、B4 二级指标的权重分别为 1.00、1.00、0.50、0.50; C1、C2、C3、C4 三级指标的权重分别为 0.20、0.20、0.20、0.40, C5 评估指标的权重为 1.00, C6、C7、C8、C9 评估指标的权重分别为 0.50、0.50、0.50、0.50。

4.2 评估分级

将综合效益指数的评分结果划分为 ≥ 80 、 ≥ 60 — <80 、 ≥ 40 — <60 、 <40 4 个评分等级, 分别对应优良、中等、较差、差 4 个等级标准, 用于反映海洋生态修复综合效益的高低。

5 讨论与结论

(1) 海洋生态修复是守住海洋生态安全边界、提升海洋生态系统质量和稳定性的重要保障, 是海洋生态系统管理和决策的重要内容。本研究探索面向区域层面的海洋生态修复综合效益评估指标体系, 不仅关注评估指标的适用性、评估方法的科学性、数据资料的可得性和评估分级的合理性, 同时还兼顾与海洋生态保护修复相关政策规划、技术标准、管理办法的有效衔接。在评估内容上, 构建了适用于生态效益、经济效益、社会效益权衡/协同综合分析应用的指标框架, 可辅助多目标海洋生态修复策略的制定与落实; 在评估范围上, 选择以市(县)级行政区为评估单元, 以五年规划期为评估时限, 尽量满足政策执行的稳定性和政策滚动调整的灵活性要求; 在评估指标上, 将国土空间生态修复纲领性文件、现行国家(行业、团体)标准等作为指标筛选与测评的关键依据, 有利于增强研究结果的实用性和可推广性。

(2) 评估指标测算需要可靠的生态环境监测、社会经济调查数据支撑, 如果数据搜集范围过窄, 可能无法涵盖所有的评估要素, 反之则可能引入不必要的噪音, 干扰评估结果的准确性。本研究建议, 根据一般海洋生态修复项目单元的资源利用方式、利用规模、影响程度等判定综合效益评估的数据搜集范围, 海域部分以项目用海及用海外缘线向外扩展 8km 划定^[48], 陆域部分以项目用地及其主要影响的周边乡(镇)/街道划定, 但需要说明的是, 岸线生态化率指标的测算过程应考虑到评估期内沿岸产业开发、城镇建设占用岸线资源的情况, 所以要将大陆自然岸线、生态恢复岸线和大陆岸线总长度的调查范围扩大到整个被评估市(县)行政区。

(3) 本研究对部分评估指标及参数的测算方法做了适当的改进与完善。一是针对海水水质变化率指标, 为了更加灵敏地反映修复前后的海水水质提升程度, 以监测站位的海水水质等级变化(而非站位达标率变化)作为海水水质变化的主要评判依据; 二是针对生态系统恢复指数指标, 利用面积权重法整合了不同要素的生态修复效果贡献比例, 并在生态恢复指标筛选时, 预见因红树林、盐沼、珊瑚礁、海草床、牡蛎礁等典型生态系统和河口、海湾、砂质海岸、海岛等综合型生态系统存在空间交叉的可能性; 三是针对经济投入产出比指标, 提出了根据滨海土地基准价格、城镇滨海土地面积、滨海自然景观对城镇滨海土地价格的贡献率来确定滨海景观溢价的量化方法。

(4) 海洋生态系统状况的好坏体现在生物生产力、生物多样性、生态功能完整性、生态系统连通性等多方面。鉴于综合效益评估的时空尺度限定, 本研究仅从植被群落、生境条件等角度构建了生态恢复指标的测算方法, 相关的长效评估仍需增加生态修复效果的评估维度。另外, 评估指标及评分阈值的确定有待做进一步实证分析, 以增强技术方法的可信度。

参考文献(References):

- [1] 俞炜炜, 马志远, 张爱梅, 胡文佳, 陈光程, 刘云鹏, 陈彬. 海洋生态修复研究进展与热点分析. 应用海洋学学报, 2021, 40(1): 100-110.
- [2] 段克, 刘峥延, 梁生康, 李雁宾, 鲁栋梁. 海洋生态保护修复: 国际议程与中国行动. 中国科学院院刊, 2023, 38(2): 277-287.
- [3] 寇江泽, 史自强, 姚雪青, 窦瀚洋. 加强海洋生态文明建设为子孙后代留下一片碧海蓝天. 人民日报, 2023-7-24(18) [2023-11-27]. http://paper.people.com.cn/rmrb/html/2023-07/24/nw.D110000renmrb_20230724_1-18.htm.
- [4] 王燕, 邹长新, 林乃峰, 徐德琳, 曹学章, 曹秉帅, 仇洁, 顾羊羊. 基于生态监管的生态保护修复工程实施成效评估指标体系. 生态学报, 2023, 43(1): 118-127.
- [5] 吴一凡, 艾瑶, 郑忠禄, 庄敏, 丁振华. 厦门四个红树林湿地修复工程成效评估. 生态学杂志, 2023, 42(10): 2419-2424.
- [6] 郑新庆, 张涵, 陈彬, 俞炜炜. 珊瑚礁生态修复效果评价指标体系研究进展. 应用海洋学学报, 2021, 40(1): 126-141.

- [7] 陈石泉, 蔡泽富, 沈捷, 吴钟解, 陈益忠, 王道儒. 海南高隆湾海草床修复成效及影响因素. 应用海洋学学报, 2021, 40(1): 65-73.
- [8] 王文渊, 徐长坤, 孙家文. 人工海岸生态化改造及修复效果评价指标体系研究. 海岸工程, 2020, 39(1): 70-76.
- [9] 于小芹, 马云瑞, 余静. 基于熵权 TOPSIS 模型的山东省海岸带生态修复政策效果评价研究. 海洋环境科学, 2022, 41(1): 74-79.
- [10] 曹庆先, 林金兰, 宁秋云. 广西: 海洋生态保护修复的探索与实践. 中国土地, 2020(2): 57-58.
- [11] 邵晓龙, 邢美楠, 王金梅, 杨卉, 王雨, 刘红磊, 周滨, 王乃丽. 退塘还湿生态修复效果评估——以天津七里海湿地为例. 环境工程学报, 2022, 16(9): 3102-3112.
- [12] 李淑娟, 郑鑫, 隋玉正. 国内外生态修复效果评价研究进展. 生态学报, 2021, 41(10): 4240-4249.
- [13] 胡一帆, 王浩, 焦磊, 张立伟, 南维鸽, 董治宝. 青藏高原重大建设工程生态修复综合效益评估指标体系. 生态学报, 2022, 42(18): 7565-7576.
- [14] 全国海洋标准化技术委员会. GB/T 41339.1—2022 海洋生态修复技术指南第 1 部分: 总则. 北京: 中国标准出版社, 2022.
- [15] 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.
- [16] 丰爱平, 刘建辉. 海洋生态保护修复的若干思考. 中国土地, 2019, (2): 30-32.
- [17] 自然资源部办公厅. 海洋生态修复技术指南(试行). (2021-07-01) [2023-11-27]. <http://gi.mnr.gov.cn/202107/P020210714362082921879.pdf>.
- [18] 李衍祥. 浅析海洋生态保护和修复的实践问题. 中国土地, 2021, (10): 38-39.
- [19] DE Groot R S, Blignaut J, VAN DER Ploeg S, Aronson J, Elmqvist T, Farley J. Benefits of investing in ecosystem restoration. Conservation Biology, 2013, 27(6): 1286-1293.
- [20] 生态环境部. HJ 1272—2022 生态保护修复成效评估技术指南(试行). 北京: 中国环境科学出版社, 2022.
- [21] 全国海洋标准化技术委员会. GB/T 42642—2023 海洋底栖动物种群生态修复监测和效果评估技术指南. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [22] 国家林业局. LY/T 2093—2013 防护林体系生态效益评价规程. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [23] 全国畜牧业标准化技术委员会. NY/T 3461—2019 草原建设经济生态效益评价技术规程. 北京: 农业农村部, 2019.
- [24] 戚洪帅, 蔡锋, 刘建辉, 俞炜炜, 陈敏, 欧阳玉容, 赵绍华. 我国海洋生态修复技术标准现状及体系建设的思考. 应用海洋学学报, 2022, 41(2): 201-208.
- [25] 吴后建, 刘世好, 曹虹, 贺东北, 刘斯垚, 罗为检. 中国红树林生态修复成效评价标准体系探讨. 湿地科学, 2022, 20(5): 628-635.
- [26] Xu L F, Liu D D. Evaluation of the effect and investment benefit of Marine ecosystem protection and restoration. Frontiers in Ecology and Evolution, 2022, 10: 991198.
- [27] Li M Q, Liu S L, Wang F F, Liu H, Liu Y X, Wang Q B. Cost-benefit analysis of ecological restoration based on land use scenario simulation and ecosystem service on the Qinghai-Tibet Plateau. Global Ecology and Conservation, 2022, 34: e02006.
- [28] 赵廷阳, 夏成琪, 索鑫浩, 曹世雄. 生态修复项目成本-效益动态评估. 生态学报, 2021, 41(12): 4757-4764.
- [29] 彭建, 吕丹娜, 董建权, 刘焱序, 刘前媛, 李冰. 过程耦合与空间集成: 国土空间生态修复的景观生态学认知. 自然资源学报, 2020, 35(1): 3-13.
- [30] 王效科, 杨宁, 吴凡, 任玉芬, 王思远, 薄乖民, 蒋高明, 王玉宽, 孙玉军, 张路, 欧阳志云. 生态效益及其特性. 生态学报, 2019, 39(15): 5433-5441.
- [31] 王效科, 杨宁, 吴凡, 任玉芬, 王思远, 薄乖民, 蒋高明, 王玉宽, 孙玉军, 张路, 欧阳志云. 生态效益评价内容和评价指标筛选. 生态学报, 2019, 39(15): 5442-5449.
- [32] 于贵瑞, 王永生, 杨萌. 生态系统质量及其状态演变的生态学理论和评估方法之探索. 应用生态学报, 2022, 33(4): 865-877.
- [33] 于贵瑞, 王永生, 杨萌. 提升生态系统质量和稳定性的生态学原理及技术途径之探讨. 应用生态学报, 2023, 34(1): 1-10.
- [34] 全国环境管理标准化技术委员会. GB/T 42340—2023 生态系统评估生态系统格局与质量评价方法. 北京: 中国标准出版社, 2023.
- [35] 生态环境部. GB 3097—1997 海水水质标准. 北京: 中国标准出版社, 1997.
- [36] 陈童. "蓝色粮仓"里的多样营养. 光明日报, 2022-5-21(07) [2023-11-27]. https://epaper.gmw.cn/gmrb/html/2022-05/21/nbs.D110000gmrb_01.htm.
- [37] 蔡莉. 中国新东部海洋渔业资源人口承载力研究: 2010—2020. 北京: 中国社会科学出版社, 2012.
- [38] 中国海洋工程咨询协会. TCAOE 21.2—2020 海岸带生态减灾修复技术导则第 2 部分: 红树林. (2020-07-21) [2023-11-27]. <https://www.ttbz.org.cn/Pdfs/Index/ftype=stn&pms=37692>.
- [39] 中国海洋工程咨询协会. TCAOE 20.4—2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则第 4 部分: 盐沼. (2020-07-21) [2023-11-27]. <https://www.ttbz.org.cn/Pdfs/Index/ftype=stn&pms=37692>.
- [40] 中国海洋工程咨询协会. TCAOE 20.5—2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则第 5 部分: 珊瑚礁. (2020-07-21) [2023-11-27]. <https://www.ttbz.org.cn/Pdfs/Index/ftype=stn&pms=37692>.
- [41] 中国海洋工程咨询协会. TCAOE 21.5—2020 海岸带生态减灾修复技术导则第 5 部分: 海草床. (2020-07-21) [2023-11-27]. <https://www.ttbz.org.cn/Pdfs/Index/ftype=stn&pms=37692>.
- [42] 中国海洋工程咨询协会. TCAOE 21.5—2020 海岸带生态减灾修复技术导则第 6 部分: 牡蛎礁. (2020-07-21) [2023-11-27]. <https://www.ttbz.org.cn/Pdfs/Index/ftype=stn&pms=37692>.
- [43] 中国海洋工程咨询协会. TCAOE 20.5—2020 海岸带生态系统现状调查与评估技术导则第 9 部分: 河口. (2020-07-21) [2023-11-27]. <https://www.ttbz.org.cn/Pdfs/Index/ftype=stn&pms=37692>.
- [44] 全国环境管理标准化技术委员会. GB/T 29726—2013 海湾围填海规划环境影响评价技术导则. 北京: 中国标准出版社, 2013.
- [45] 中国海洋工程咨询协会. TCAOE 21.7—2020 海岸带生态减灾修复技术导则第 7 部分: 砂质海岸. (2020-07-21) [2023-11-27]. <https://www.ttbz.org.cn/Pdfs/Index/ftype=stn&pms=37692>.
- [46] 国家发展和改革委员会国家统计局编. 生态产品总值核算规范. 北京: 人民出版社, 2022.
- [47] 全国海洋标准化技术委员会. GB/T 18508—2014 城镇土地估价规程. 北京: 中国标准出版社, 2014.
- [48] 全国海洋标准化技术委员会. GB/T 42361—2023 海域使用论证技术导则. 北京: 中国标准出版社, 2023.