面向管理的海洋修复工程生态绩效考核指标体系构建研究

何帅[1]，段晓伟[2]，郝林华[1]，夏涛[1]，李晓莉[1]，陈尚[1*]

（1. 自然资源部第一海洋研究所，山东青岛 266061；2. 深圳大鹏新区科技创新和经济服务局，广东深圳 518119）

【摘　要】 目前国内关于海洋修复工程的考核研究多为修复工程的生态效果考核，极少包含成本效益考核，以致无法比较和分析不同类型、不同规模的海洋修复工程的生态绩效，不利于海洋修复工程的考核和验收管理。根据当前自然资源部实施“蓝色海湾”等整治修复工程的检查验收管理的新需求，本文构建了基于海洋生态系统健康恢复、生态系统服务价值增长和单位成本生态效益等理论的海洋修复工程生态绩效考核指标体系。此外，本文以温州海域2014—2016年海洋修复的生态绩效的考核为例，结合考核结果以及直接相关性、独立性、可测量性和业务化等指标选取原则，对指标体系进行了改进。结果表明本指标体系可以在海洋修复工程的检查验收中被用于生态绩效考核，管理部门可根据海洋修复工程的类型和管理需求，有选择性地采纳部分或全部指标进行考核。

【关键词】 海洋修复工程；生态绩效；生态系统健康；生态系统服务；成本效益

【中图分类号】X321　　【文章编号】1674-6252（2021）02-0047-08

【文献标识码】A　　【DOI】10.16868/j.cnki.1674-6252.2021.02.047

引言

随着沿海地区三十多年的高强度开发，我国海洋近岸生态环境问题频发。海岸带生态脆弱、滨海湿地破坏、珊瑚礁退化、红树林剧减[1]、主要海湾和河口生态系统均处于亚健康或不健康状态等一系列问题，成了制约该区域社会经济可持续发展的重要瓶颈，严重影响了海洋强国战略目标的顺利实现。为应对海洋环境恶化和海洋生态系统退化，恢复海洋生态系统健康和服务功能，构建强大的海洋生态安全屏障，海洋修复工程逐步受到重视，基于生态系统的海洋综合管理理念日益在我国海洋生态环境保护与修复中凸显。

海洋修复工程是基于海洋生态系统的自然恢复能力，辅以适当的人工措施，对海洋生态系统的结构、功能和持续性等方面进行全面有效恢复的工程[2,3]，其目的是使海洋生态系统恢复到受损前的结构和状态，能够对长期或偶发的自然或人为干扰保持抗压性和稳定性，最终实现海洋生态系统的可持续性。生态系统是生物和生境的有机复合体，因而，海洋修复工程的对象就是海洋生物、海洋生境或二者兼而有之。针对海洋生物的修复工程类型以增殖放流和人工鱼礁为主，针对海洋生境的修复工程类型主要有海洋水体污染修复、海洋沉积物污染修复、沙滩修复、红树林修复、珊瑚礁修复、海草床修复、滨海盐沼湿地修复等。海洋修复工程的生态绩效是指该工程完成生态修复任务的效果和效率，反映了对生态修复目标的实现程度。目前国内关于海洋修复工程的研究已开展多年，但尚未建立生态绩效考核体系，而且已修复的海洋生态系统结构和功能常常处于脆弱的动态平衡，多样性、稳定性和抗压性相对较弱，需要完整的生态绩效考核体系对修复效果和效益进行科学评估[4]。因此，开展海洋修复工程生态绩效考核进行全面、系统和准确的评估，能够及时揭露工程中存在的问题，有助于决策者和管理者适时地对工程进行适应性调整[5]，对于构建可持续的海洋生态系统，加快海洋生态文明建设，推动我国沿海地区生态、经济和社会的和谐、持续、健康发展，都具有重要意义。

1 海洋修复工程效果评估研究现状

国外关于修复工程生态绩效考核的研究已取得了一定成果，如国际生态恢复协会（Society for Ecological Restoration，SER）提出了包括物种多样性、外来物种、生态结构、自然环境、生态系统功能、物流能流、潜在威胁、环境承载力、可持续发展

资助项目：中国海洋发展研究会项目（CAMAZD201712）；科技部重点研发专项（2016YFC0503401）。

作者简介：何帅（1989—），男，助理工程师，硕士，主要从事海洋生态和海洋环境管理研究，E-mail：fio-heshuai@fio.org.cn。

*** 责任作者：**陈尚（1972—），男，研究员，主要从事海洋生态、生态补偿和海洋环境管理研究，E-mail：schen@fio.org.cn。

能力等 9 个属性的生态修复评估标准 [6]。国内关于修复工程生态绩效考核的研究多采用以生态系统的属性为指标进行考核的方法，但多见于陆地生态系统的修复效果考核研究中 [7-10]。海洋修复工程生态绩效的考核研究主要针对修复后生态效果的考核（表 1）。冯建祥等 [4] 以环境质量、生物群落结构和植物健康状况为评估目标，选取了相应指标评估了红树林种植—养殖耦合湿地生态修复的效果。黄海萍 [11] 从环境质量、生物群落和景观格局 3 个方面选取相应指标，构建了用于评估滨海湿地生态修复成效的指标体系，并对厦门五缘湾生态修复的成效进行了评估。段康弘等 [12] 分析了国内外海岸生态修复及其评价的现状，指出目前仍旧缺少一种适用于生态修复、经济社会发展和整治修复技术推广应用的综合评价体系，并阐述了海岸生态修复整治评价体系指标选取原则和结构划分。王宇等 [13] 评价了渤海湾大神堂海洋特别保护区通过投放人工鱼礁和底栖生物种群增殖等方式进行海洋生境修复的初步效果。符小明等 [14] 通过构建基于“资源—环境”框架的海洋修复生态效果评价指标体系对海州湾人工鱼礁生态修复区域的修复效果进行了评估。李元超等 [15] 采用珊瑚数量、珊瑚覆盖度、鱼类密度、底栖生物数量和大型藻类覆盖度等指标对西沙赵述岛珊瑚礁生态系统的修复效果进行了评估。张秋丰等 [16] 基于供给、调节、文化和支持 4 项生态系统服务功能，选取了 15 个指标针对渤海湾天津海岸带 1983 年、2005 年、2012 年和 2016 年的生态修复效果进行了评估。

2016 年以来，国家支持沿海地区开展“蓝色海湾”等整治修复工程，项目配套的绩效自评表中，绩效指标由产出指标、效益指标和满意度指标三个一级指标构成。其中，效益指标下属三级指标的指标值分别以“适应”“明显”“提升”进行分级表征，满意度指标下属三级指标的指标值以“满意”或“不满意”分别表征。它们并未以指数的形式进行表征，这不利于管理部门快捷准确地掌握各个项目的绩效情况，也不利于将不同项目的绩效进行比较。

随着各级政府对于海洋生态修复重视的持续提高，各类海洋修复工程不断涌现，巨额的资金投入也确实发挥了积极作用。但是，这些投资是否带来了预期的修复效果、是否得到了高效的发挥，均未得到有效考核。这会导致部分资金低效发挥甚至是无效流失，而高效的修复手段因未被有效考核而无法得到更多的资金支持，影响后续修复甚至是让先前的投入付之东流。

由上述研究成果不难看出，虽然海洋修复工程生态绩效考核取得了一定进展，但也存在一些不足：①缺少统一的生态绩效考核框架。目前还无法针对不同类型和规模的海洋修复工程进行效果的比较和分析。②缺少成本效益考核。目前海洋修复工程生态绩效考核主要关注修复的生态效果和社会经济效益，而缺少投入产出比分析，难以对比判断不同类型、不同规模的海洋修复工程的生态效益。

2 指标体系构建

健康的生态系统包含种类多样、结构完备的生物群落和良好的生境，能够给予人类持续而稳定的生态系统服务。得到有效修复的生态系统，其健康状况必然得以恢复，生态系统服务价值也将得到提升。因此，本文基于生态系统健康和生态服务价值理论，辅以成本效益分析法，从生态系统健康恢复、生态系统服务价值增长和单位成本生态效益三个方面构建面向管理的海洋修复工程生态绩效考核指标体系，并以指数的形式表征考核结果，同时开展验证应用并完善，从而为不同类型、不同规模的海洋修复工程提供统一的、创新的考核管理技术手段。

2.1 指标筛选原则

生态绩效考核指标选取遵循如下原则：①直接相关原则，选取的指标可直接反映海洋修复工程的生态效果。②独立性原则，选取的指标相互独立，不存在关联性。③业务化原则，选取的指标计算所需的数据，可从日常业务化监测数据中获得。

2.2 指标筛选及分析

生物资源密度和生物多样性均是重要的生态属性指标 [6,17]，它们不仅能反映生境适宜度，也可表征相关生态过程的状态。营养物质循环决定了生态系统中生物可利用的营养成分 [18]，一定程度上反映了海洋生态系统的恢复能力，通常通过估算可利用的营养物质间接测定营养物质循环。欧洲保护北大西洋海洋环境的奥斯陆—巴黎公约（OSPAR）组织指出，海洋生态与环境的监测需至少涵盖三个层面的测定评价：①海洋环境介质质量，包括水质、沉积物质量、生物质量；②自然本底变化及人为向海输送的污染物总量和能力；③人类涉海活动产生的各类环境效应。因此可将海水水质、沉积物质量、入海污染压力作为海洋修复工程生态绩效考核的指标。海洋修复工程可提高生态系统服务的质量和数量 [19]，参考《海洋生态资本评估技术导则》[20] 并结合海洋修复工程生态绩效考核的特点，选取固碳服务 [17,21]、氧气生产、休闲娱乐等服

表1　现有指标分析

指标			与生态效果评估关系		
生态效果类别	评估指标组	具体指标	直接相关	独立性	业务化
环境质量改善	水质	重金属（Cd、Pb、Cr、As、Cu、Zn）[4]	√	√	√
		溶解氧 [4,11,14]	√	√	√
		无机氮 [11]	√	√	√
		活性磷酸盐 [11,14]	√	√	√
		初级生产力 [14]	√	√	√
		生化需氧量 [14]	√	√	√
		化学需氧量 [4,14]	√	√	√
		悬浮物 [14]	√	√	√
		盐度 [4]	√	√	√
		pH[4]	√	√	√
		活性硅酸盐 [14]	√	—	—
		铵盐 [4,14]	√	—	—
		硝酸盐 [14]	√	—	—
		亚硝酸盐 [14]	√	—	—
	沉积物质量	硫化物 [11]	√	—	√
		有机碳 [11]	√	—	√
		特征污染物 [11]	√	—	—
		重金属（Cd、Pb、Cr、As、Cu、Zn）[4]	√	—	√
生物资源恢复	浮游生物	浮游植物多样性 [14]	√	√	√
		浮游动物多样性 [14]	√	√	√
	游泳生物	生物量 [15]	—	√	√
		物种多样性 [14]	—	√	√
	底栖生物	物种多样性 [4,11,13,14]	√	√	√
		生物量 [4,11,13,15]	√	√	√
	渔业资源结构	鱼类平均营养级 [14]	√	√	—
		甲壳类平均营养级 [14]	√	√	—
		头足类平均营养级 [14]	√	√	—
	水鸟	物种多样性 [11]	√	—	—
		生物量 [11]	√	—	—
	植物	面积 [4]	√	√	—
		高度 [4]	√	√	—
		胸径 [4]	√	√	—
		光合特征 [4]	√	—	—
		酶活性 [4]	√	—	—
景观格局提升	景观自然性	自然景观所占比例 [11]	√	√	—
	景观多样性	景观多样性指数 [11]	√	√	—
	景观均匀性	景观均匀度指数 [11]	—	√	—
生态系统服务	供给服务	食品生产 [16]	√	—	—
		原材料 [16]	√	—	—
		水供给 [16]	√	—	—
	调节服务	废弃物处理 [16]	√	√	√
		干扰调节 [16]	√	—	—
		气候调节 [16]	√	√	√
		生物控制 [16]	√	—	—
		水调节 [16]	√	—	—
	文化服务	景观美学 [16]	√	√	—
		科学教育 [16]	—	—	—
		休闲娱乐 [16]	√	√	√
	支持服务	初级生产 [16]	√	—	—
		生境提供 [16]	√	—	—
		物种多样性维持 [16]	√	—	—
		营养物质循环 [16]	√	—	—

务作为指标。最后，根据上述指标，选取了相应的成本效应指标，详见表 2。

在此基础上，征询有关专家意见，再次对指标进行筛选及调整，最终得到海洋修复工程生态绩效考核指标体系。

由于指标 B3 和 B9 不满足业务化原则，指标 B5、B6 均与 B4 存在关联性，故剔除指标 B3、B5、B6 和 B9，以及与之相关的指标 B13、B15 和 B16，调整后的海洋修复工程生态绩效考核指标体系如表 3 所示。

3 海洋修复工程生态绩效考核指标评价方法

海洋修复工程生态绩效考核指标体系的结果用海洋修复工程生态绩效综合指数表征，为海洋生态系统健康恢复综合指数、海洋生态系统服务价值增长综合指数和单位成本生态效益综合指数 3 个一级指标的求平均所得，3 个一级指标由相应的二级指标计算得到[①]，并根据各项考核指标的结果将其分为优、良、中、差 4 个等级（表 4）。

表 2　海洋修复工程生态绩效考核体系指标分析

指标		指标筛选原则		
一级指标	二级指标	直接相关	独立性	业务化
A1. 生态系统健康恢复综合指数	B1. 生物资源密度综合变化率	生物资源恢复与修复成效直接相关	无关联性指标	属常规海洋监测指标
	B2. 物种多样性综合变化率	物种增多与修复成效直接相关	无关联性指标	属常规海洋监测指标
	B3. 营养级结构综合变化率	营养级结构丰富与修复成效直接相关	无关联性指标	计算所需数据来自渔业资源调查和氮稳定同位素检测，非常规海洋监测指标
	B4. 水质综合变化率	水质改善与修复成效直接相关	与指标 B5 和 B6 存在关联性	属常规海洋监测指标
	B5. 沉积物综合变化率	沉积物质量改善与修复成效直接相关	与指标 B4 和 B6 存在关联性	属常规海洋监测指标
	B6. 入海污染压力综合变化率	污染源强降低与修复成效直接相关	与指标 B4 和 B5 存在关联性	属常规环境监测指标
A2. 生态系统服务价值增长综合指数	B7. 氧气生产服务价值变化率	氧气生产量增加与修复成效直接相关	无关联性指标	计算所需的浮游植物初级生产力数据和大型海藻产量数据分别来自常规海洋监测和统计年鉴
	B8. 固碳服务价值变化率	固碳量增加与修复成效直接相关	无关联性指标	计算所需的浮游植物初级生产力数据来自常规海洋监测，大型海藻产量和贝类产量数据来自统计年鉴
	B9. 海岸带防护服务价值变化率	海岸带防护提升与修复成效直接相关	无关联性指标	计算所需数据来自海洋灾害公报和多年的风暴潮、海浪灾害经济调查资料，非常规业务化监测数据
	B10. 休闲娱乐服务价值变化率	休闲娱乐服务提升与修复成效直接相关	无关联性指标	计算所需数据来自旅游部门统计年鉴
A3. 单位成本生态效益综合指数	B11. 单位成本生物资源密度综合变化率	单位成本生物资源恢复量增加与修复成效直接相关	无关联性指标	由指标 B1 计算得到
	B12. 单位成本物种多样性综合变化率	单位成本物种多样性增加与修复成效直接相关	无关联性指标	由指标 B2 计算得到
	B13. 单位成本营养级结构综合变化率	单位成本营养级结构增加与修复成效直接相关	无关联性指标	由指标 B3 计算得到
	B14. 单位成本水质综合变化率	单位成本水质改善量与修复成效直接相关	与指标 B15 和 B16 存在关联性	由指标 B4 计算得到
	B15. 单位成本沉积物质量综合变化率	单位成本沉积物质量改善量与修复成效直接相关	与指标 B14 和 B16 存在关联性	由指标 B5 计算得到
	B16. 单位成本入海污染压力综合变化率	单位成本污染源强降低量与修复成效直接相关	与指标 B14 和 B15 存在关联性	由指标 B6 计算得到
	B17. 单位成本生态系统服务价值变化率	单位成本生态系统服务价值提升与修复成效直接相关	无关联性指标	由指标 B7～B10 计算得到

① 因篇幅所限，此处未展示详细的指标计算方法，如有读者感兴趣，可以联系作者获取。

表3　海洋修复工程生态绩效考核指标体系

	一级指标	二级指标
海洋修复工程生态绩效考核指标体系	A1. 生态系统健康恢复综合指数	B1. 生物资源密度综合变化率
		B2. 物种多样性综合变化率
		B4. 水质综合变化率
	A2. 生态系统服务价值增长综合指数	B7. 氧气生产服务价值变化率
		B8. 固碳服务价值变化率
		B10. 休闲娱乐服务价值变化率
	A3. 单位成本生态效益综合指数	B11. 单位成本生物资源密度综合变化率
		B12. 单位成本物种多样性综合变化率
		B14. 单位成本水质综合变化率
		B17. 单位成本生态系统服务价值变化率

表4　指标等级

考核指标变化率	级别	恢复水平
水质考核指标	优	指标超过海洋功能区要求的质量等级
	良	指标达到海洋功能区要求的质量等级
	中	指标未达到海洋功能区要求的质量等级，且指标达到受损前水平的50%～90%
	差	指标未达到海洋功能区要求的质量等级，且指标低于受损前水平的50%
其他考核指标	优	指标超过修复前水平的50%
	良	指标达到修复前水平的31%～50%
	中	指标达到修复前水平的10%～30%
	差	指标低于修复前水平的10%

4 海洋修复工程生态绩效考核指标验证——以温州海域为例

为验证本指标体系，以温州海域为例进行海洋修复工程生态绩效考核，考核期限为2014—2016年。各项考核指标2014—2016年的变化情况详见表5。一般认为，当年的海洋生态保护和修复产生的海洋生态效果主要体现在第二年和第三年。比如，2014年的投入会在2015年和2016年体现生态效果，2015年的投入也会在2016年产生生态效果。考核2014年和2016年温州海域海洋修复工程生态绩效时，生态修复成本数据主要采用了温州海域2014年和2015年的海洋生态保护和修复投入经费。2014年和2015年温州市海洋生态保护和修复的投入金额为1.3874亿元。

由表5可知，与2014年比较，2016年温州海域生态系统健康恢复综合指数为10.72%，级别为中，主要来自水质综合变化率和生物资源密度综合变化率等指标的贡献，而物种多样性综合变化率呈现负增长。海洋生态系统服务价值增长综合指数为11.41%，级别为中，主要来自休闲娱乐服务价值变化率和氧气生产服务价值变化率指标的贡献。单位成本生态效益综合指数为7.85%，级别为差，贡献较大的是单位成本水质综合变化率和单位成本生物资源密度综合变化率等指标。海洋修复工程生态绩效综合指数为9.99%，级别为差。由此可见，所有考核指标中，仅水质指标的级别达到了良级，其余均为中级或差级，总体呈现缓步改善趋势。

5 指标体系改进

经过温州案例应用的验证，发现指标体系还需进一步改进完善。我国近岸海域，绝大多数浮游植物生命周期在1～2天，大多数浮游动物生命周期在10～20天，生命周期很短，其变动难以反映修复工程的生态效果；潮间带生物受地形影响，地域差异性较大，难以被用于比较修复工程的生态效果；底栖生物生命周期可以达到数月到数年尺度，年际间生物特征较为稳定，其资源密度和物种多样性可作为海洋修复工程生态绩效的考核指标。因此，提出改进后的海洋修复工程生态绩效

表5　温州海域生态绩效考核结果（2014—2016）

指标类别	具体指标	指标值	级别
一级指标	A1. 海洋生态系统健康恢复综合指数	10.72%	中
二级指标	B1. 生物资源密度综合变化率	16.07%	中
	B2. 物种多样性综合变化率	−1.29%	差
	B4. 水质综合变化率	17.40%	良
一级指标	A2. 海洋生态系统服务价值增长综合指数	11.41%	中
二级指标	B7. 氧气生产服务价值变化率	5.08%	差
	B8. 固碳服务价值变化率	0.51%	差
	B10. 休闲娱乐服务价值变化率	11.53%	中
一级指标	A3. 单位成本生态效益综合指数	7.85%	差
二级指标	B11. 单位成本生物资源密度综合变化率	11.58%	中
	B12. 单位成本物种多样性综合变化率	−0.93%	差
	B14. 单位成本水质综合变化率	12.54%	良
	B17. 单位成本生态系统服务价值变化率	8.22%	差
海洋修复工程生态绩效综合指数		9.99%	差

考核指标体系，包括 3 个一级指标和 10 个二级指标（表 6）。

本文按照改进后的指标体系，重新考核了 2014—2016 年温州海域海洋修复工程生态绩效，考核结果见表 7。

由表 7 可知，指标体系改进后，温州海洋修复工程生态绩效综合指数达到了 29.04%，属中级。其中，海洋生态系统健康恢复综合指数为 47.82%，属良级，海洋生态系统服务价值增长综合指数和单位成本生态效益综合指数分别为 11.41% 和 27.90%，均属中级。对比改进前的考核结果，二级指标中出现了优级指标，分别是底栖生物资源密度变化率指标和单位成本底栖生物资源密度变化率指标，达到良级的指标数量也由改进前的 2 个增加到了 4 个，中级和差级指标分别由改进前的 3 个和 5 个减少到了 1 个和 3 个。可以发现改进后的考核结果中生物类指标有了显著提升，生物资源密度变化率指标和单位成本生物资源密度变化率指标均由中级升至优级，物种多样性变化率指标和单位成本物种多样性变化率指标由差级升至良级，其余指标的等级保持不变。这说明，相比较于 2014 年，2016 年温州海域生物类指标已得到良好改善，而生境类指标还有待加强。

6 结果与讨论

本文根据当前国家实施“蓝色海湾”等整治修复工程的检查验收管理的新需求，从海洋生态系统健康恢复、生态系统服务价值增长和单位成本效益 3 个方面构建海洋修复工程生态绩效考核指标体系，并经过温州案例的验证，在原海洋修复工程生态绩效考核指标体系基础上提出了改进后的指标体系，在原指标体系基础上将二级指标数量由 16 个精简为 10 个。

目前针对海洋修复工程的生态绩效考核主要考虑 3 个方面：工程完成度、支出合规性以及生态效果（恢复程度），并未考虑本指标体系中的生态系统服务价值增长指标和单位成本生态效益指标。通过温州案例应用验证并改进了海洋修复工程生态绩效考核指标体系，体现出本指标体系可以在“蓝色海湾”等整治修复工程的检查验收中被用于进行生态绩效的考核。本指标体系并非一套独立考核体系，而是可以作为对现有考核体系的补充，管理部门可针对修复工程的类型及其管理需求选择部分或全部指标进行考核，不同类型的海洋修复工程生态绩效考核指标选取推荐详见表 8。本体系各指标的指数还可作为排序依据，便于管理部门掌握各个指标的修复程度，也可为后续工作安排的调整提供参考。

为考核指标设置权重对于海洋修复工程生态绩效考核具有重要意义，然而，在考核过程中，指标数量较多，历史本底数据难以获取，成为指标权重设置的主要限制性因素。此外，在具体的海洋修复工程生态绩效考核中，由于考核区域的特殊性、数据获取难度不同以及考核目标差异等影响因素，考核人员可能会选取不同的指标以及设置不同的权重。因此，基于以上考虑本文不设置具体的指标权重，研究人员可以根据实际情况采用专家打分法、层次分析法等方法，并结合其研究需求从而确定具体的指标权重。

表 6　改进后的海洋修复工程生态绩效考核指标体系

一级指标	二级指标
A1. 生态系统健康恢复综合指数	B1'. 底栖生物资源密度变化率
	B2'. 底栖物种多样性变化率
	B4. 水质综合变化率
A2. 生态系统服务价值增长综合指数	B7. 氧气生产服务价值变化率
	B8. 固碳服务价值变化率
	B10. 休闲娱乐服务价值变化率
A3. 单位成本生态效益综合指数	B11'. 单位成本底栖生物资源密度变化率
	B12'. 单位成本底栖物种多样性变化率
	B14. 单位成本水质综合变化率
	B17. 单位成本生态系统服务价值变化率

表 7　改进后的温州海域生态绩效考核结果（2014—2016）

指标类别	具体指标	指标值	级别
一级指标	A1. 海洋生态系统健康恢复综合指数	47.82%	良
二级指标	B1'. 底栖生物资源密度变化率	82.76%	优
	B2'. 底栖物种多样性变化率	43.29%	良
	B4. 水质综合变化率	17.40%	良
一级指标	A2. 海洋生态系统服务价值增长综合指数	11.41%	中
二级指标	B7. 氧气生产服务价值变化率	5.08%	差
	B8. 固碳价值服务变化率	0.51%	差
	B10. 休闲娱乐价值服务变化率	11.53%	中
一级指标	A3. 单位成本生态效益综合指数	27.90%	中
二级指标	B11'. 单位成本底栖生物资源密度变化率	59.65%	优
	B12'. 单位成本底栖物种多样性变化率	31.20%	良
	B14. 单位成本水质综合变化率	12.54%	良
	B17. 单位成本生态系统服务价值变化率	8.22%	差
海洋修复工程生态绩效综合指数		29.04%	中

表8　不同类型海洋修复工程生态绩效考核指标选取推荐表

修复类型 / 考核指标	沙滩修复	滨海湿地修复	红树林修复	珊瑚礁修复	海草床修复	海水水体修复
底栖生物资源密度变化率	★	★	★	★	★	★
底栖物种多样性变化率	★	☆	★	★	★	★
水质综合变化率	—	★	★	—	★	★
氧气生产价值服务变化率	—	☆	☆	—	★	★
固碳价值服务变化率	—	☆	☆	★	★	★
休闲娱乐价值服务变化率	★	★	☆	☆	☆	★
单位成本底栖生物资源密度变化率	★	★	★	★	★	★
单位成本底栖物种多样性变化率	★	☆	★	★	★	★
单位成本水质综合变化率	—	★	★	—	★	★
单位成本生态系统服务价值变化率	★	★	★	★	★	★

注：★表示必选，☆表示可选

参考文献

[1] 王丽荣 , 于红兵 , 李翠田 , 等 . 海洋生态系统修复研究进展 [J]. 应用海洋学学报 , 2018, 37(3): 435-446.

[2] BARBIER E B, KOCH E W, SILLIMAN B R, et al. Coastal ecosystem-based management with nonlinear ecological functions and values[J]. Science, 2008, 319(5861): 321-323.

[3] 陈彬 , 俞炜炜 , 陈光程 , 等 . 滨海湿地生态修复若干问题探讨 [J]. 应用海洋学学报 , 2019, 38(4): 464-473.

[4] 冯建祥 , 朱小山 , 宁存鑫 , 等 . 红树林种植 – 养殖耦合湿地生态修复效果评价 [J]. 中国环境科学 , 2017, 37(7): 2662-2673.

[5] MARON M, HOBBS R J, MOILANEN A, et al. Faustian bargains? Restoration realities in the context of biodiversity offset policies[J]. Biological Conservation, 2012, 155: 141-148.

[6] Society for Ecological Restoration International Science & Policy Working Group. The SER international primer on ecological restoration[R]. Tucson: Society for Ecological Restoration International, 2004: 2-45.

[7] 康婷婷 , 李增 , 高彦春 . 西北干旱区山地 – 绿洲 – 荒漠系统生态恢复综合效益评估 [J]. 生态学报 , 2019, 39(20): 7418-7431.

[8] 王壮壮 , 王浩 , 冯晓明 , 等 . 重点脆弱生态区生态恢复综合效益评估指标体系 [J]. 生态学报 , 2019, 39(20): 7356-7366.

[9] 张毅茜 , 冯晓明 , 王晓峰 , 等 . 重点脆弱生态区生态恢复的综合效益评估 [J]. 生态学报 , 2019, 39(20): 7367-7381.

[10] 王敬 , 王全凤 . 水利生态绩效分析 [J]. 华侨大学学报 (自然科学版), 2007, 28(1): 75-78.

[11] 黄海萍 , 陈彬 , 俞炜炜 , 等 . 厦门五缘湾滨海湿地生态恢复成效评估 [J]. 应用海洋学学报 , 2015, 34(4): 501-508.

[12] 段康弘 , 杨敏 , 张丽婷 , 等 . 海岸生态修复整治评价体系构建的探究 [C]// 中国海洋工程咨询协会 2014 海洋生态文明建设交流会论文集 . 北京 : 中国海洋工程咨询协会 , 2014.

[13] 王宇 , 房恩军 , 郭彪 , 等 . 天津大神堂海洋特别保护区生境修复初步评价 [J]. 河北渔业 , 2014(11): 23-29, 42-42.

[14] 符小明 , 唐建业 , 吴卫强 , 等 . 海州湾生态修复效果评价 [J]. 大连海洋大学学报 , 2017, 32(1): 93-98.

[15] 李元超 , 兰建新 , 郑新庆 , 等 . 西沙赵述岛海域珊瑚礁生态修复效果的初步评估 [J]. 应用海洋学学报 , 2014, 33(3): 348-353.

[16] 张秋丰 , 白洁 , 马玉艳 , 等 . 天津海岸带生态修复效果评估方法研究 [J]. 海洋环境科学 , 2019, 38(5): 782-789, 795-795.

[17] WORTLEY L, HERO J M, HOWES M. Evaluating ecological restoration success: a review of the literature[J]. Restoration Ecology, 2013, 21(5): 537-543.

[18] FELDPAUSCH T R, RONDON M A, FERNANDES E C M, et al. Carbon and nutrient accumulation in secondary forests regenerating on pastures in central Amazonia[J]. Ecological Applications, 2004, 14(sp4): 164-176.

[19] COSTANZA R. Ecosystem health and ecological engineering[J]. Ecological Engineering, 2012, 45: 24-29.

[20] 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.

[21] BENAYAS J M R, NEWTON A C, DIAZ A, et al. Enhancement of biodiversity and ecosystem services by ecological restoration: a meta-analysis[J]. Science, 2009, 325(5944): 1121-1124.

Study on Establishment of Ecological Performance Evaluation Indicators System of Marine Restoration Projects Oriented to Management

HE Shuai[1], DUAN Xiaowei[2], HAO Linhua[1], XIA Tao[1], LI Xiaoli[1], CHEN Shang[1*]
(1. First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China; 2. Bureau of Scientific and Technological Innovation and Economic Services, Shenzhen 518119, China)

Abstract: At present, the study on marine restoration projects evaluation in China mostly focus on the ecological effect evaluation, and rarely include the cost-benefit evaluation. As a result, it is difficult to compare and analyze the ecological performance of different types and scales of marine restoration projects, which is not conducive to the assessment and acceptance management of marine restoration projects. According to the new requirements of the inspection and acceptance management of the "Blue Bay" and other restoration projects implemented by the Ministry of Natural Resources, this paper constructed the ecological performance evaluation indicators system of marine restoration projects based on the theories of marine ecosystem health recovery, ecosystem service value growth and ecological benefits per unit cost. In addition, taking the evaluation of ecological performance of marine restoration in Wenzhou sea from 2014 to 2016 as an example, we improved the indicators system by combining the evaluation result and the selection principles of indicators such as direct correlation, independence, measurability and normalization. The result showed that this indicators system could be used for ecological performance evaluation in the inspection and acceptance management of marine restoration projects, and the administrative department could selectively adopt some or all of the indicators for evaluating according to the types and management needs of marine restoration projects.
Keywords: marine restoration project; ecological performance; ecosystem health; ecosystem services; cost-effectiveness

（上接38页）

Connotation and Improving Approach of the Ecological Benefits of Marine Ranching

LIU Weifeng*, LIU Dahai, GUAN Song, JIANG Wei
(First Institute of Oceanography, Ministry of Natural Resources, Qingdao 266061, China)

Abstract: Ecological benefits are the most remarkable characteristics of marine ranching compared with traditional aquaculture. Therefore it is necessary to clarify the connotation and approach to improve ecological benefits of marine ranching. Based on ecosystem services theory, the connotation of ecological benefits of marine ranching could be obtained. As an evaluation indicator reflecting the capacity of sustainable development, ecological benefits should be separated from economic and social benefits, and should only contain the adjusting service and supporting service provided by marine ecosystem. Essentially, the ecological benefits of marine ranching are the sum of ecological benefits of primary marine ecosystem and gained ecological benefits caused by all the artificial measures. The gained ecological benefits are the increment of ecological benefits made by both the positive and negative ecological effects of artificial measures working together. Achieving obvious gained ecological benefits is the demand for sustainable development of marine ranching. So, in order to maximize ecological benefits, it is necessary to maximize gained ecological benefits, which requires maximizing positive ecological effects and minimizing negative ecological effects caused by artificial measures. Then the scientific management of artificial measures must be conducted on the basis of ecological priority principle. The core of management is to ensure that the artificial measures are scientific and reasonable. Management measures should consist of three aspects which are overall planning, standardizing construction standards, strengthening monitoring and management. Thus the whole process of marine ranching construction could be under control scientifically. It could provide theoretical support and practical guidance for promoting ecological benefits of marine ranching.
Keywords: marine ranching; ecological benefit; connotation; improving approach