

“海洋生态系统健康评估与海洋观测”专刊前言

孙 松^{1, 2, 3}

(1. 中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境科学实验室 山东青岛 266071; 2. 中国科学院海洋研究所 山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站 山东青岛 266071; 3. 中国科学院大学 北京 100049)

海洋是地球生命的蓝色摇篮,是气候系统的稳定器,更是人类文明可持续发展的根基。因此,海洋的健康不仅对人类的生存与发展至关重要,对整个地球系统都会产生重要影响。然而,当下全球海洋正深陷于气候变化与高强度人类活动共同驱动的多重胁迫之中:升温、酸化、缺氧区扩张、生态灾害频发、生物多样性锐减。我们渴望预测变化、管理海洋,却屡屡在突发的生态危机面前措手不及,往往陷入“被动应对、事后研究”的困境。其根源在于,我们对海洋这个庞杂、流动且高度异质的动态生命系统,仍然缺乏持续、精准和透彻的感知能力。

当前,海洋观测能力在规模上实现了空前扩张,但“数据过载”与“知识稀缺”并存的悖论却日益凸显。科学家与管理者常面临观测数据与决策信息严重脱节的尴尬。这昭示着,当前的核心瓶颈已非单纯的“观测不足”,而在于观测体系的设计逻辑存在系统性局限——我们是否观测了真正关键的对象?采集的数据能否转化为诊断生态健康的知识?

为破解这一根本性难题,国家自然科学基金委员会地球科学部前瞻性地设立了“近海生态系统健康评估重大科学考察实验研究”项目,项目旨在超越“为观测而观测”的惯性,直指“健康海洋与可持续发展”的终极目标,驱动一场以真实科学问题与管理需求为核心的观测范式变革。项目汇聚了来自科研、管理及产业界的专家,依托基金委开放航次数据库提供的超过 89 个历史航次宝贵资料,对近海典型区域进行了长期数据的深度整合与解析。在探索过程中,一系列深层次问题浮现出来:如何定义并量化“健康”?其阈值何在?应观测哪些核心内容?我们深刻认识到,这不仅是技术指标的优化,更涉及观测理念、方法乃至底层逻辑的深刻反思与系统重构。

为此,我们组织了本专刊,旨在集结智慧,对海洋生态系统健康评估与观测的系列关键问题进行集中探讨。本专刊共收录 22 篇论文和 2 篇点评文章,主要内

容涉及海洋观测与海洋生态系统健康评估。这些资料特别珍贵,因为通过对大量历史数据的分析和整理发现,历史数据中理化环境数据占绝大多数,而生物观测数据相对较少,这与生物观测的困难性密切相关,亟待进行观测方法方面的突破。

本专刊的开篇之作,是三篇旨在重塑观测评估范式的观点性论文。孙松等(2026a)的《海洋观测的本体论反思与方法论重构——从“均匀性预设”到“问题驱动的异质性认知”》从哲学根基出发,审视了将海洋视为“均质水体”的传统预设,论证了其作为由“高生产力区”、“生态脆弱带”及“脉冲事件”主导的异质性景观的本质,从而为观测设计从“均匀网格普查”转向“关键过程动态追踪”奠定了理论基础。其第二篇论文《海洋生态系统健康的目标驱动式评估体系》(孙松等, 2026b)聚焦于构建目标驱动式评估体系,倡导为海洋管理配备“精准医疗”方案,即从具体管理目标(如渔业资源可持续、生态灾害防控)逆向推导出须观测的关键生物指标与生态过程,实现观测资源的优化配置。《从滞后到实时:海洋健康评估的生物整合观测新范式》一文中(孙松等, 2026c),作者直指传统生物观测的“认知滞后”痼疾,提出向实时感知“生态功能指纹”的新范式转型,并构想了通过 eDNA、智能声学、原位成像等技术融合,构建模块化、智能化的前瞻性生物感知基础设施。随后是四篇综述文章,围绕底栖生物、微生物在海洋生态系统健康评估中的作用以及海洋低氧对海洋生态系统的影响等开展综合分析 with 系统论述。李新正等(2026)和刘晓收等(2026)分别对基于底栖生物的海洋生态系统健康评估进行了综合分析,李新正介绍了融合结构、功能与稳定性的多维度综合指数(MCEQI),为克服单一指数偏差提供了更全面的方案。刘晓收教授的综述,则系统展望了将 eDNA 与人工智能技术整合到底栖生物评估中的前沿路径。孙鲁阳等(2026)关于微生物观测的综述文章,从微观生命世界为上述宏观框架提供了关键的“传感器”视角。微

生物以其极高的代谢速率与环境敏感性, 堪称生态系统健康的“哨兵”。赵建民等(2026)对渤海低氧的综述探讨了近海生态系统的胁迫状态与潜在风险。另有 15 篇文章是研究论文, 在长期变化与生态响应方面, 多篇研究揭示了我国近海生态系统的演变轨迹与驱动机制。孙晓霞等(2026)对胶州湾 15 年数据的剖析, 清晰刻画了浮游植物物候从“双峰型”向“单峰型”的转变, 揭示了气候变暖与营养盐结构调整的共同驱动; 李瑞环等(2026)对桑沟湾 40 年资料的梳理, 则呈现了养殖活动驱动下浮游植物群落小型化与优势种更替的长期趋势; 赵玉庭等(2026)对莱州湾 2016~2023 七年间夏季浮游植物的年际变化特征及其驱动因素进行了综合分析, 相关性分析表明: 硝酸盐-氮是影响夏季莱州湾浮游植物丰度的主要环境因子; 郭术津等(2026)通过对中国近海氮磷比格局的分析, 从营养盐结构角度诊断了磷的浓度变动对近海生态系统的影响。在生物群落与健康指示方面, 研究贯穿了从浮游到底栖的不同营养级。臧文潇等(2026)创新性地以“传统饵料类”与“胶质类”浮游动物生物量比为轴, 构建了胶州湾生态系统健康状态的二维评估模型, 直观区分了“资源型”与“退化型”系统; 于垚等(2026)应用“经验动态建模”方法, 成功预测了浮游动物丰度, 并识别出关键环境驱动力, 展示了数据驱动模型在动态评估中的潜力; 在底栖生态领域, 李昂等(2026)对蛤蜊岗、唐玉泽等(2026)对小清河口的研究, 则提供了基于底栖群落精准评估具体海域生境质量的典型案例。

专刊还收录了多个针对特定生态过程与新兴压力的专题研究。尚丽霞等(2026)基于甲藻孢囊绘制的“中国海域赤潮风险地图”, 是将观测数据用于灾害前瞻性风险评估的典范; 尹婷婷等(2026)利用 eDNA 技术解析了黄海冷水团塑造底栖真核微生物群落的机制, 展示了新技术揭示特殊生境生态过程的能力; 崔广鑫等(2026)评估了黄河调水调沙这一重大工程对河口底栖生态的脉冲式影响, 体现了评估体系应对剧烈人为干扰的能力; 郑珊等(2026)对胶州湾微塑料在浮游动物中赋存与风险的研究, 则及时回应了新型污染物的生态挑战。

本专刊的另一个亮点, 在于对评估方法本身的整合与创新。多篇研究在方法学上做出了实质性探索: 崔广鑫等(2026)尝试用熵权法整合多个底栖指数, 构建统一的综合生物指数(CBI), 以解决评价标准不一的问题; 张碧茹等(2026)基于 DPSIR 模型对天津海岸带生态系统健康状态进行了分析评估, 结果显示, 天津

海岸带的生态健康水平整体呈波动上升趋势, 健康等级由“较不健康”上升为“中等健康”, 各子系统呈中度协调状态, 表明在政策推动下天津海岸带健康状况逐年改善; 李冬佳等(2026)利用渔船监控系统(VMS)大数据结合物种分布模型预测中国毛虾栖息地; 朱笑林等(2026)通过分析赤潮期间牡蛎的胃含物来研究其摄食选择性变化, 巧妙地将生物存在数据与生态功能联系起来。这些探索共同指向一个未来: 健康评估必将依赖于多源数据(理化、生物、遥感、人类活动)的融合、多维度指标的集成, 以及生态学方法与大数据、人工智能技术的深度结合。

本专刊所汇集的成果, 从不同维度回应了开篇的核心挑战: 我们如何超越对海洋“黑匣子”的被动观察, 成为能对其进行“定期体检”乃至“实时监护”的主动管理者?

核心进展可归纳为三点: 一是理念重构, 确立了从“真实问题与管理目标”出发驱动观测设计的根本原则, 推动观测从“无差别普查”转向“有的放矢的侦查”; 二是对象升维, 旗帜鲜明地将能够反映生态系统功能的关键生物组分的实时/准实时感知, 提升到与理化环境观测同等核心的地位; 三是方法融合, 积极探索了多种新技术、新模型与多源数据的集成路径, 推动评估从静态、单一的指数向动态、多维、智能化的诊断系统演进。

前路依然任重道远。构建一个真正“空-天-海-智”一体化、能够支撑海洋生态系统健康实时诊断与智慧管理的观测-评估体系, 仍需在智能传感器研发、数据标准化与互操作、算法模型可靠性, 以及至关重要的数据开放共享文化与协同机制等方面, 付出持之以恒的努力。

我们希望, 本专刊不仅能呈现当前阶段在理论、方法与实践上取得的重要进展, 更能如一石激浪, 激发学术界、技术界与管理界对海洋观测与评估范式变革的更深层次思考与更紧密的合作行动。唯有汇集众智, 协同攻坚, 我们才能一步步揭开海洋系统的复杂奥秘, 从“事后归因”迈向“事前预见”, 从“被动应对”转向“主动塑造”, 最终实现全球可持续发展目标所勾勒的“我们希望的海洋”之美好愿景。

本专刊的出版, 正是朝向这一宏伟目标所迈出的坚实一步。

参 考 文 献

于垚, 胡仔园, 李超伦, 2026. 经验动态建模方法在浮游动物群

- 落动态 变化预测中的应用:以胶州湾为例[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 806-814.
- 尹婷婷, 赵峰, 孟昭翠, 等, 2026. 黄海冷水团及周边海域沉积物中真核微生物地理分布及群落构建机制[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 734-745.
- 朱笑林, 尹博, 孙经芝, 等, 2026. 2022 年秋季黄海北部乳山近岸海域浮动弯角藻(*Eucampia zodiacus*)赤潮生消及其对牡蛎摄食选择性的影响[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 746-754.
- 刘晓收, 张逸菲, 欧阳夏语, 等, 2026. 大型底栖动物在海洋生态系统健康评估中的应用:从传统生物指数到环境 DNA 与建模技术的整合[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 617-629.
- 孙松, 臧文潇, 孙晓霞, 等, 2026a. 海洋科学观测的本体论反思与方法论重构——从“均匀性预设”到“问题驱动的异质性认知”[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 582-588.
- 孙松, 臧文潇, 孙晓霞, 等, 2026b. 海洋生态系统健康的目标驱动式评估体系[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 589-598.
- 孙松, 孙晓霞, 臧文潇, 等, 2026c. 从滞后到实时:海洋健康评估的生物整合观测新范式[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 599-605.
- 孙晓霞, 刘铭, 郭术津, 2026. 2005~2020 年胶州湾浮游植物生物量季节周期的阶段性变化特征及其原因解析[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 660-672.
- 孙鲁阳, 刘晓鲁, 张艳美, 等, 2026. 基于微生物群落的海洋生态系统监测与健康评估研究进展[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 630-648.
- 李冬佳, 李国东, 熊琰, 等, 2026. 基于北斗 VMS 数据的海州湾夏季中国毛虾栖息地时空分布及机制[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 721-733.
- 李昂, 徐晓玮, 薛素燕, 等, 2026. 辽东湾北部蛤蜊岗夏季大型底栖动物群落结构与生境质量评价[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 767-776.
- 李瑞环, 蒋增杰, 蔺凡, 等, 2026. 桑沟湾浮游植物群落组成时空分布及长期演变驱动因素分析[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 683-696.
- 李新正, 李宝泉, 徐 勇, 等, 2026. 中国近海大型底栖动物生态质量状况多维度综合评价指标和方法的建立[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 606-616.
- 张碧茹, 牛福新, 屠建波, 2026. 基于 DPSIR 模型的天津海岸带生态健康演化与治理路径研究(2018~2023 年)[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 815-825.
- 尚丽霞, 魏本, 胡章喜, 等, 2026. 中国海域赤潮风险地图——基于甲藻孢囊多样性和丰度的赤潮发生风险评估[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 707-720.
- 郑珊, 王雅琦, 张康宁, 等, 2026. 胶州湾浮游动物群落中微塑料的赋存特征及其生态风险评估[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 697-706.
- 赵玉庭, 孙珊, 孙伟, 等, 2026. 2016~2023 年夏季莱州湾浮游植物年际变化特征及其驱动因素[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 673-682.
- 赵建民, 张文静, 董志军, 等, 2026. 渤海低氧的研究现状与发展趋势[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 649-659.
- 郭术津, 孙晓霞, 王楠, 等, 2026. 中国东部近海典型海域氮磷比分布格局及潜在磷限制特征分析[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 795-805.
- 唐玉泽, 徐晓玮, 丁敬坤, 等, 2026. 小清河口贝类养殖区大型底栖动物优势种及群落特征——生态位与功能群分析[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 777-784.
- 崔广鑫, 李少文, 张孝民, 等, 2026. 调水调沙期间黄河口海域环境生态质量评价——基于大型底栖动物群落特征[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 785-794.
- 臧文潇, 王卫成, 孙晓霞, 等, 2026. 以浮游动物功能群指标评估胶州湾生态系统健康的探索性案例[J]. 海洋与湖沼, 57(3): 755-766.

MARINE ECOSYSTEM HEALTH ASSESSMENT AND OCEAN OBSERVATION

SUN Song^{1, 2, 3}

(1. Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)