

近海生态安全与 未来海洋生态系统管理*



孙晓霞^{1,2} 于仁成^{1,2} 胡仔园¹

1 中国科学院海洋研究所 青岛 266071

2 中国科学院大学 北京 100049

摘要 近海是全球海洋中最为敏感也最受关注的区域，为人类社会的存在和发展提供了重要的物质资源支撑和空间环境保障。随着对近海生态系统功能、服务和价值的认识不断深入，以及近期人类活动与气候变化等多重因素胁迫下近海生态系统的显著变化，近海生态系统健康和生态安全问题开始受到高度关注。但是，目前对近海生态安全问题的认识仍不够充分，也缺少系统的评估工作，需要着手发展海洋生态系统的长期观测与信息获取能力，开展近海生态系统健康评估与变化预测，为推进基于海洋生态系统的管理提供科学支撑。

关键词 近海，生态安全，海洋生态系统评估，管理

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.12.002

海洋为人类社会的存在和发展提供了极为重要的物质资源支撑和空间环境保障。目前，全球一半以上的人口生活在沿海地区，近海资源、环境和空间已成为支撑人类社会持续发展的重要物质基础。同时，近海又是地球表面不同圈层的交汇区，具有生产力高、生物和生境多样性丰富等特征，但也承受着人类活动和气候变化等诸多因素影响，生态系统相对脆弱，是全球海洋中最为敏感、最受关注的区域^[1]。近年来，近海生态系统出现显著变化，造成生态系统结构改变和功能退化，危及近海生态安全，也损害了近海生态系统所提供的服务及其对人类的福祉。

中国是一个海洋大国，拥有 18 000 多公里海岸线和 300 多万平方公里管辖海域，有世界上最为典型的宽阔陆架海区 and 具有巨大输水输沙量的大河河口海域。中国政府重视海洋资源开发、海洋环境保护和海洋权益维护，大力开发海岸线资源、海岛资源、港口资源、滨海湿地资源、海洋生物资源、浅海油气资源等，在沿海一线和近海海域建设了核电站、

*资助项目：中科院战略性
先导科技专项（XDA110302
04、XDA1102 0304），国家
自然科学基金项目（U14064
03），海洋发展研究中心项
目（AOCZDA20130）

修改稿收到日期：2016年11
月27日

港口、人工岛、海上石油平台、海上风力发电站等大型海洋工程项目以及“海洋牧场”“人工鱼礁”等各类渔业工程项目。沿海社会经济的快速发展对于海岸带有限的空间资源提出了更高的要求，而高强度的人类活动也给近海生态系统带来了更大的压力，出现了近海环境恶化、生态灾害多发、渔业资源衰退等问题，严重影响社会经济的可持续发展，生态安全堪忧，需要采取适宜的管理对策^[2]。

1 近海生态安全

生态安全是近期形成的新认识，与可持续发展紧密相关，是对可持续发展概念的补充和完善。广义上的生态安全是指生态系统在保障人类生活、健康、福祉、基本权利、生活保障来源、必要资源、社会秩序和人类适应环境变化的能力等方面不受威胁的状态；狭义上的生态安全则是指生态系统自身的完整性和健康状况^[3]。在我国，近20年来生态安全方面的研究受到密切关注，许多学者对生态安全概念进行了解析和发展^[4,5]，并围绕生态安全理论、生态安全评估和预警方法，以及区域生态安全等问题开展了系统研究。

近海生态安全是生态安全的重要组成部分，对近海生态安全的关注首先源于对近海生态系统功能、服务和价值的深入认识^[6]。近海海域拥有多样化的生境和丰富的生物多样性，通过不同生物种类之间以及生物与环境之间复杂的相互作用，使近海生态系统具有重要的功能（如碳、氮、磷等生源要素的物质循环、有机质合成和能量传递等），并为人类社会发展提供了供给、支持、调节和文化等多样化的生态系统服务。基于对大量相关文献的分析，Liquete 等人^[7]将近海生态系统提供的服务梳理为三大类14种，涵盖了食物生产、水体调控、生物材料、水质净化、大气质量调控、海岸带保护、气候与天气调节、营养物质循环、生物调控、旅游景观等诸多方面，这些服务高度依赖近海生态系统结构和功能的稳定性。

然而，近海生态系统面临陆源污染、气候变化、富营养化、过度捕捞、生境丧失、无序养殖和物种入侵等多重胁迫，而且许多影响因素的作用仍在不断加强。过去100年里，全球人口数量、工农业生产和渔业捕捞活动的快速增长对近海生态系统稳定性造成了巨大压力，其影响前所未有的。以碳、氮、磷等生源要素的生物地球化学循环过程的改变为例，大量化石燃料燃烧造成了大气CO₂浓度的快速上升，不仅导致海水温度上升，还加剧了海洋酸化问题，并引起了海平面上升、海流改变、水体层化加强和溶解氧浓度下降等间接效应。1980—2011年，大气中CO₂含量平均每年上升1.7 ppm，从2001年开始，这一速率开始上升到每年2.0 ppm^[8]。可以预期，大气CO₂含量上升对海水温度和海洋酸化的影响短期内仍会持续加剧。出于化肥生产需求，从19世纪末至今，进入地球生态系统中的活性氮增加了约20倍。20世纪90年代，通过化肥施用和化石燃料燃烧等过程进入环境中的氮达到1.6亿吨，远远超过陆地生物固氮量（1.1亿吨）和海洋生物固氮量（1.4亿吨）^[9]。据估算，从19世纪末至今，全球活性氮入海通量增幅接近80%；到2030年，全球近海生态系统的氮通量还会再增加10%—20%。磷的生物地球化学过程也受到化肥施用、污水排放等人类生产生活活动的影响，每年经由河流从陆地输入海洋中的溶解态磷约有400万—600万吨，是自然状态下的2倍^[10]。过量输入的氮、磷营养物质加剧了近海富营养化问题，也对海洋生态系统造成了巨大的压力。

在人类活动和气候变化等因素影响下，近百年来近海生态系统发生了许多显著变化，许多重要生境丧失，海水温度上升，缺氧、酸化等问题开始显现。目前，全球50%的盐沼湿地、35%的红树林、30%的珊瑚礁和29%的海草床因破坏而丧失。受全球变暖影响，海水表层水温持续上升，加剧了水体层化现象，这会减弱营养物质交换，又可能导致中、低纬度海域初级生产力水平的下降。在近海许多海域，因富营养化导致的底层水体

缺氧现象已非常普遍,对许多海洋生物,尤其是底栖经济动物造成巨大的胁迫,甚至影响到渔业资源。海洋酸化问题则会影响到颗石藻等初级生产者以及珊瑚礁和牡蛎礁等重要生境,甚至导致食物网结构的改变。除上述变化外,更令人关注的是近海生态系统发生突发性生态灾害事件的风险也在不断增加。通常情况下,生态系统是逐渐变化的,但一旦环境因素的影响超越生态系统的承受能力,生态系统可能会突发变化,有时甚至会出现生态格局的更替现象(regime shift),危及生态安全。在近海,与富营养化密切相关的有害藻华问题、缺氧问题,以及渔业资源的崩溃,都是生态系统的异常变化。这种大幅度、非线性的生态系统变化,一方面会造成巨大的经济损失,另一方面也使得生态恢复的难度增加,甚至无法恢复。

在我国,近海生态安全的形势十分严峻^[11]。大部分近海河口和海湾区域面临着严重的富营养化问题,在渤海、南黄海、长江口邻近海域、东南沿海、北部湾等海域,不同类型的有害藻华问题突出;长江口邻近海域和黄、渤海部分近岸海区底层水体缺氧问题逐渐显现;近海亚健康和不健康海域面积不断增加,天然岸线不断缩减,珊瑚礁、红树林以及河口区等重要资源生物的生存生境丧失。这些问题对沿海地区社会经济发展和近海生态系统健康构成了严重威胁。但是,目前对近海生态安全问题的认识仍不够充分,也缺少系统的评估工作,需要着手发展海洋生态系统的长期观测与信息获取能力,开展近海生态系统健康评估与变化预测,推进基于海洋生态系统的管理。

2 未来海洋生态系统管理

2.1 加强近海生态系统长期观测与信息获取能力

对近海生态系统的长期观测和信息获取是开展近海生态系统管理的基石。当前,我国在近海生态系统的观测与能力建设方面已初具规模,海洋信息化水平也得到显著提升。然而,与其他国家相比还存在相当大的提升

空间。要加强近海生态系统长期观测与信息获取能力,需要系统部署,提升对重点海域的长期观测、原位观测和实时观测能力,同时在机制与体制上解决海洋观测数据共享共用的问题。

近海生态安全及生态灾害问题的出现是海洋生态系统结构与功能变动的体现。生态系统中的因果关系常具有滞后效应,短期研究难以揭示数年或几十年的变化趋势,也不能解释这些变化的因果关系^[12]。因此,获得近海生态系统长期变化的信息对于揭示近海生态灾害成因、解决近海生态安全问题极为重要。其中,甄别气候变化与人类活动、甄别长期压力与短期波动、甄别可调控因素与不可调控因素非常关键,这也属于长期生态学的研究范畴。目前国际上知名的长期观测网络,如国际长期生态研究网络(ILTER)、美国长期生态研究网络(US-LTER)、英国环境变化监测网络(ECN)、中国生态系统研究网络(CERN)等,在生态系统长期变化与示范服务方面取得很多重要成果^[13-15]。但是,长期生态研究网络中与海洋相关的部分难以满足国家解决海洋问题的需求,需要在此基础上进一步设立国家长期观测断面,并开展相应的长期研究工作,这一方面日本的国家断面、欧洲的大西洋观测断面、英国哈迪基金会的浮游生物连续记录仪长期观测等都提供了很好的先例。我国在中国生态系统研究网络中只设有胶州湾、大亚湾、三亚湾3个海洋长期观测站。虽然不同的部门与项目也设立有近海观测系统,但远不能满足近海生态系统长期观测和研究的需求。随着近海生态问题的日益突出,需要基于已有观测系统,针对近海生态安全、生态灾害、近海生态系统评估等问题设立我国的国家级长期科学观测断面与观测网,优选观测指标和分析方法,并进行数据质控标准化。通过长期观测揭示影响我国近海生态系统变动的关键过程,构建近海生态系统评估方法体系,提出近海生态灾害防控、退化生态系统修复的措施与对策。

近海生态安全问题的预警、预报具有时效性,需要在部署长期科学观测网的基础上,从科学和技术2个方

面着力提升针对近海生态系统的实时、原位观测能力，包括针对海洋生态系统的不同要素进行原位传感器的研发，提升观测精度和实时数据传输能力，以及对实时观测数据的分析能力。目前针对物理海洋学要素的传感器技术相对来说较为成熟，但是化学海洋学，特别是生物海洋学传感器仍然存在技术瓶颈，无法满足对海洋生态安全预警预报的需求。如何突破这些技术瓶颈，构建和完善多学科耦合的近海观测网，对于我国近海生态安全与生态系统的管理至关重要。

数据获取和数据共享是所有学科领域共同面临和关心的问题。由于海洋观测的特殊性，数据的共享显得尤为重要。美国的长期生态研究网络采取开放的数据政策，明确地提出了如何发布、获取和使用长期观测数据，以及对数据用户和数据提供者的要求。对于我国的海洋观测，如何进一步优化数据管理，并提供体制与机制上的保障，确保海洋观测数据共享共用，是需要从国家和各部门层面重点考虑的问题。

综上所述，在我国近海信息获取方面，需要开展全局性、战略性顶层设计，统一海洋数据标准，建立有效的海洋数据共享机制；加强立体观测手段，开展重点区域加密观测，传感器网格化系统集成；建立海洋环境实时在线监测体系，实施典型生态系统的实时监测与灾害预警。

2.2 开展近海生态系统健康评估与预测研究

近海生态系统健康评估是海洋管理和开发利用的重要途径。它以“生态系统途径”为指导原则，通过科学认知，了解和掌握海洋环境的健康状况，分析人类活动等压力给海洋环境造成的影响，为海洋管理和决策者提供科学依据，为平衡海洋生态系统保护和海洋经济发展之间的关系，实现对海洋环境的保护和恢复、促进海洋经济的可持续发展提供量化的科学标准。

生态系统健康研究始于20世纪70年代，近年来在河口、海湾等近海生态系统的评估中也得到了广泛应用。围绕近海生态系统健康评估的核心问题，如近海生

态系统健康概念的定义、评估方法、评估指标以及标准等^[16,17]，各国政府和学者进行了理论和方法上的探索，开展了大量研究工作。相比其他生态系统，海洋生态系统边界具有开放性，结构功能也更为复杂，不同海域的生态系统又具有特异性，加之对生态系统健康的认知差异，海洋生态系统健康定义以及评估面临着种种困难与挑战。

近年来，近海生态系统健康研究已从单一的生态系统自身结构和功能特征^[18]，逐步发展成为涵盖生态、社会、经济、人类健康等诸多方面，以及强调海洋生态系统服务功能的多学科综合研究^[19,20]。目前，在海洋生态系统健康的评估研究和应用中，最为常用的方法有2种：指示物种法和指标体系法。指示物种法通过对海洋生态系统中一个或多个指示物种及其生理生态指标和结构功能指标的监测，对物种健康状况进行分析，进而对整个海洋生态系统的健康状况进行监测和评估^[21]。指示物种法相对简单，对数据量需求较低，因此在生态系统健康评估研究中较早得到应用。常用指标有生物完整性指数（Index of Biological Integrity, IBI）、Shannon-Weaver多样性指数、海洋生物性指数（A Marine Biotic Index, AMBI）和底栖生物指数等。但是，指示物种法也存在指示物种筛选标准不统一、对生态系统变化的指示作用不明确等问题，难以对复杂的近海生态系统健康状态进行全面、综合的评估。指标体系法通过对海洋生态系统不同组织水平、层面、尺度的指标进行筛选和提取，建立评估指标体系，能够综合反映海洋生态系统的整体健康状况。随着海洋生态系统健康研究的不断深入，社会经济、人类活动、人类健康等指标也被纳入指标体系，结合海洋生态系统自身的指标，从生态系统的结构、功能、服务等不同角度出发，对海洋生态系统的健康水平和演变趋势进行全面、综合的评估。指标体系法在物理学、化学、生物学、生态学和毒理学等方法基础上，利用计算机数学模拟等新技术，已成为目前海洋生态系统健康研究工作中最常用的评估方法。目前，广泛应用于

指标体系建立的主要模型方法有海洋健康指数（Ocean Health Index, OHI）（图1），压力-状态-响应（Pressure-State-Response, PSR）概念框架及其改进框架，以及赫尔辛基委员会生态系统健康评估方法（HELCOM Ecosystem Health Assessment Tool, HOLAS）等^[22-25]。

近海生态系统健康评估研究在国外已有一系列成功的项目和计划，特别是在北美、欧洲和澳大利亚有许多成功的应用案例：加拿大自20世纪90年代以来，对五大湖区生态系统健康开展了系列评估研究^[26]；美国环境保护署发布《全国近岸状况报告》^[27]，对其近岸水体状况进行评估；澳大利亚自建立河口与海洋生态环境质量评估指标系统后，又开展了“生态健康监测计划”^[28]，并对大堡礁海域水质和生态系统健康进行了评估研究。欧盟的《水框架指令》提出了较完整的海洋环境评估技术指标^[29]，并进一步制定了《海洋战略框架指令》，将定期海洋环境监测及评估纳入动态管理进程。

国内对于海洋生态系统健康评估也给予了越来越多的关注，相继开展了一些相关的研究，并在近海多个河口、海湾等开展了生态系统健康状况评估工作。然而国内目前近海生态系统健康评估研究中所使用的指标体

系，大多是对国外已有指标体系的借鉴和引用，以及针对应用对象的适应性改造。针对我国近海生态系统特征的本土化指标体系的建设仍在探索阶段，海洋生态系统健康评估的理论、方法和验证研究仍需要进一步完善和发展。近海生态系统健康研究需要进一步深入地了解人类压力、全球变化与海洋生态系统结构与功能演变之间的关系，建立更综合、全面的海洋生态系统健康评估体制，利用更有效的生态系统评估、预测模型来支持更有效的管理决策，了解恢复生态结构功能的重建机制和方法，并通过有效的保护政策来保证海洋生态系统的服务功能。

2.3 推行基于生态系统的海洋管理

基于生态系统的管理（EBM）最早于20世纪60年代提出，其基本理念是从生态、系统和平衡的角度思考解决环境资源问题。这一理念的提出是科学家对全球规模的生态、环境和资源危机的一种响应，作为生态学、环境科学和资源科学的复合领域，自然科学、人文科学和技术科学的新型交叉学科，不仅具有丰富的科学内涵，更具有迫切的社会需求和广阔的应用前景^[12]。20世纪80年代，基于生态系统的管理在基础理论和应用实践

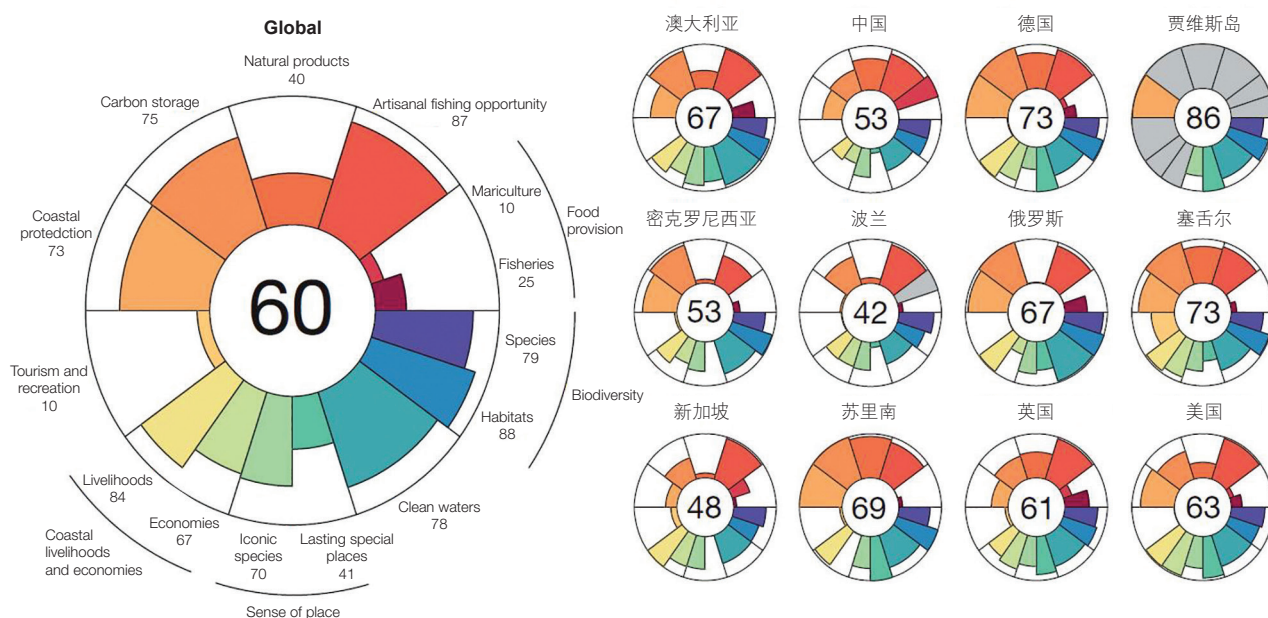


图1 全球平均海洋健康指数以及代表性国家海洋健康指数^[23]

方面都得到了一定发展,逐渐形成了完整的理论-方法-模式体系^[30,31]。在此基础上,1992年的里约热内卢联合国环境与发展大会(UNCED)提出要从整个生态系统来管理海洋资源和人类的海洋开发活动,促进沿岸和近海环境综合管理及持续利用,形成了基于生态系统的海洋管理理念。Long等人^[32]对基于生态系统的海洋管理的发展简史予以了概括,并提出了基于生态系统的海洋管理的15个原则。综合上述理念,基于生态系统的海洋管理的基本内涵是充分考虑海洋生态系统的整体性与内在关联性,在科学认知海洋生态系统结构与功能的基础上,对海洋开发活动、海域使用进行全面管理,以保护海洋健康和维持其生态系统服务功能,实现海洋资源的可持续利用和海洋经济的可持续发展。

20余年来,基于生态系统的海洋管理逐渐被世界各国普遍接受并得以迅速发展。国际上已有不少成功案例可以借鉴。澳大利亚于1998年出台了《澳大利亚海洋政策》,成为基于生态系统的海洋管理的典范^[33]。美国的一系列国家海洋政策报告都高度重视基于生态系统的海洋管理,相关的政策文件如《21世纪海洋蓝图》《美国海洋行动计划》等^[34]。与此同时,一系列的基于生态系统的海洋管理研究得以开展,这些研究涵盖了不同的国家、海域、学科领域,在海洋生态系统健康评估、模式的研发、政策的制定方面给予了重要支撑。其中,基于生态系统的渔业管理^[35-38]、基于生态系统的海岸带管理^[39,40]、海洋空间规划^[41-43]等方面研究进展尤为突出,为我国实施基于生态系统的海洋管理提供了很好的借鉴。

生态系统的结构与功能相互依存、相互制约。任何特定生态系统的管理都要与特定的生态系统特点相一致,全球性的评估并不能满足国家和亚区域尺度决策者的需要^[12],一个国家的评估结果也无法用于其他国家的政府决策。因此,要综合管控我国近海生态系统,必须发展基于我国近海的生态系统管理策略。我国已经高度认识加强海洋生态系统的保护和修复对于维持海洋资源的可持续开发利用的重要性。在国务院发布的《全国海

洋主体功能区规划》中,针对我国海域资源开发利用存在的五大问题,明确提出要尊重自然,树立敬畏海洋、保护海洋的理念,把开发活动严格限制在海洋资源环境承载能力的范围之内,坚持点上开发、面上保护,确保海洋生态系统健康状况得到改善,海洋生态服务功能得到增强,沿岸线受损生态得到修复与整治^[44]。

与此相适应,我国学者近年来对基于生态系统的海洋管理也开展了理念的推广与科学研究。研究海域涉及到天津近海、胶州湾、莱州湾、江苏近海、黄海、东海等区域^[45-48],主要侧重于围垦和渔业的影响以及基于上述问题的海洋生态系统管理。这表明我国对于基于生态系统的海洋管理开始得到重视,但总体上看,我国尚未建立基于生态系统的海洋管理体系。

鉴于此,针对当前我国近海迫切需要解决的生态安全与生态灾害问题,需要在观测、研究、评估的基础上,选取典型海域,构建近海生物(渔业)资源可持续发展与管理示范工程,沿岸重大工程设施的海洋安全示范工程,近海生态灾害预测、预报与防控示范工程,提高重大海洋事务决策的科学性、精准性和时效性。在示范工程的基础上,进一步推进整个近海生态系统风险评估智能专家系统的构建与应用,基于海洋大数据服务基础平台的建设,建立一套适用于中国近海生态系统健康评估的模式,针对生物资源以及有害藻华、低氧、水母暴发等生态灾害,形成高效、智能的观测、预警系统,与沿海地区政府部门和大型企业密切合作,推进观测资料和模拟结果的实时共享,支撑高效、智能的海洋生态安全管理系统,提升我国近海资源开发利用、近海生态环境保护、基于海洋生态系统管理的综合能力。

参考文献

- 1 中国科学院. 海岸海洋科学. 北京: 科学出版社, 2016.
- 2 苏纪兰. 海洋生态安全的重要性. 科技导报, 2013, 31(16): 3.
- 3 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究方法. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354-358.

- 4 余谋昌. 论生态安全的概念及其主要特点. 清华大学学报(哲学社会科学版), 2004, 19(2): 29-35.
- 5 马克明, 傅伯杰, 黎晓亚, 等. 区域生态安全格局: 概念与理论基础. 生态学报, 2004, 24(4): 761-767.
- 6 Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Washington DC: Island Press, 2005.
- 7 Liqueste 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. PLoS ONE, 2013, 8(7): e67737.
- 8 IPCC. Climate change 2013: the physical science basis. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2013.
- 9 Gruber N, Galloway J N. An earth-system perspective of the global nitrogen cycle. Nature, 2009, 451(17): 293-296.
- 10 Filippelli G M. The global phosphorus cycle: past, present and future. Elements, 2008, 4: 89-95.
- 11 中国海洋可持续发展的生态环境问题与政策研究课题组. 中国海洋可持续发展的生态环境问题与政策研究. 北京: 中国环境出版社, 2013.
- 12 傅伯杰, 刘世梁. 长期生态研究中的若干重要问题及趋势. 应用生态学报, 2002, 13(4): 476-480.
- 13 牛栋, 杨萍, 何洪林. 美国长期生态学研究网络(LTER)信息化基础设施现状、挑战与未来发展趋势——LTER信息化基础设施战略规划介绍(I). 地球科学进展, 2008, 23(2): 201-205.
- 14 于秀波, 付超. 美国长期生态学研究网络的战略规划——走向综合科学的未来. 地球科学进展, 2007, 22(10): 1087-1093.
- 15 李文华, 张彪, 谢高地. 中国生态系统服务研究的回顾与展望. 自然资源学报, 2009, 24(1): 1-10.
- 16 Rapport D J. Ecosystem health: Exploring the territory. Ecosystem Health, 1995, 1(1): 5-13.
- 17 Pollard P, Huxham M. The european water framework directive: a new era in the management of aquatic ecosystem health? Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 1998, 8(6): 773-792.
- 18 Costanza R, Mageau M. What is a healthy ecosystem? Aquatic Ecology, 1999, 33(1): 105-115.
- 19 Boesch D F, Paul J F. An overview of coastal environmental health indicators. Human and Ecological Risk Assessment, 2001, 7(7): 1409-1417.
- 20 张朝晖, 石洪华, 姜振波, 等. 海洋生态系统的服务功能来源与实现. 生态学杂志, 2006, 25(12): 1574-1579.
- 21 Carter J L, Resh V H, Hannaford M J, et al. Macroinvertebrates as biotic indicators of environmental quality. In: Methods in Stream Ecology. New York: Academic Press, 2007: 805-831.
- 22 Halpern B S, Walbridge S, Selkoe K A, et al. A global map of human impact on marine ecosystems. Science, 2008, 319 (5865): 948-952.
- 23 Halpern B S, Longo C, Hardy D, et al. An index to assess the health and benefits of the global ocean. Nature, 2012, 488 (7413): 615-620.
- 24 Organization for Economic Cooperation and Development. Environmental Indicators: OECD Core Set. Paris: OECD, 1994.
- 25 HELCOM. Ecosystem Health of the Baltic Sea. HELCOM Initial Holistic Assessment 2003-2007. In: Baltic Sea Environmental Proceedings 122. Helsinki Commission. 2010.
- 26 Anon W. Canada to spend \$150 million on Great Lakes program. Water Environment and Technology, 1994, 6(7): 28-36.
- 27 The United States Environmental Protection Agency (EPA). National Coastal Condition Report II, 2005.
- 28 Moreton Bay Waterways and Catchments Partnership. Ecosystem Health Monitoring Program Annual Technical Report. 1999.
- 29 EU Water Framework Directive (WFD). A Marine Strategy Directive to Save Europe's Seas and Oceans, 2000.
- 30 褚晓琳. 基于生态系统的东海渔业管理研究. 资源科学, 2010, 32(4): 606-611.
- 31 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.
- 32 Long R D, Charles A, Stephenson R L. Key principles of marine

- ecosystem-based management. *Marine Policy*, 2015, 57: 53-60.
- 33 Foster E, Haward M, Scott C. Implementing integrated oceans-management: Australian southeast regional marine plan (SERMP) and Canada's scotian shelf integrated management (ESSIM) initiative. *Marine Policy*, 2005, 29(5): 391-405.
- 34 U S. Commission on Ocean Policy. An Ocean Blueprint for the 21st Century. Washington DC: National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S. Department of Commerce, 2004.
- 35 Pitcher T J, Kalikoski D, Short K, et al. An evaluation of progress in implementing ecosystem-based management of fisheries in 33 countries. *Marine Policy*, 2009, 33(33): 223-232.
- 36 Moffitt E A, Punt A E, Holsman K, et al. Moving towards ecosystem-based Fisheries management: Options for parameterizing multi-species biological reference points. *Deep Sea Research Part II Topical Studies in Oceanography*, 2015. doi:10.1016/j.dsr2.2015.08.002.
- 37 Bourdaud P, Gascuel D, Bentorcha A, et al. New trophic indicators and target values for an ecosystem-based management of fisheries. *Ecological Indicators*, 2015, 61:588-601.
- 38 Conti L, Grenouillet G, Lek S, et al. Long-term changes and recurrent patterns in fisheries landings from Large Marine Ecosystems (1950-2004). *Fisheries Research*, 2012, 119(5): 1-12.
- 39 Hegland T J, Raakjær J, Tatenhove J V. Implementing ecosystem-based marine management as a process of regionalisation: Some lessons from the Baltic Sea. *Ocean & Coastal Management*, 2015, 117: 14-22.
- 40 Lester S E, McLeod K L, Tallis H, et al. Science in support of ecosystem-based management for the US West Coast and beyond. *Biological Conservation*, 2010, 143(3): 576-587.
- 41 Day V, Paxinos R, Emmett J, et al. The Marine Planning Framework for South Australia: A new ecosystem-based zoning policy for marine management. *Marine Policy*, 2008, 32(4): 535-543.
- 42 Douvere F. The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management. *Marine Policy*, 2008, 32(5): 762-771.
- 43 Katsanevakis S, Stelzenmüller V, South A, et al. Ecosystem-based marine spatial management: Review of concepts, policies, tools, and critical issues. *Ocean & Coastal Management*, 2011, 54(11): 807-820.
- 44 孟伟庆, 胡蓓蓓, 刘百桥, 等. 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.
- 45 Tang D, Zou X, Liu X, et al. Integrated ecosystem health assessment based on eco-exergy theory: A case study of the Jiangsu coastal area. *Ecological Indicators*, 2015, 48: 107-119.
- 46 Tang Q, Ying Y, Wu Q. The biomass yields and management challenges for the Yellow Sea large marine ecosystem. *Environmental Development*, 2016, 17: 175-181.
- 47 Yu G, Zhang J Y. Analysis of the impact on ecosystem and environment of marine reclamation—A case study in Jiaozhou Bay. *Energy Procedia*, 2011, 5(5): 105-111.
- 48 Shen C, Shi H, Zheng W, et al. Study on the cumulative impact of reclamation activities on ecosystem health in coastal waters. *Marine Pollution Bulletin*, 2016, 103(1-2): 144-150.

Ecological Security of Coastal Ocean and Future Marine Ecosystem Management Strategies

Sun Xiaoxia^{1,2} Yu Rencheng^{1,2} Hu Ziyuan¹

(1 Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract The coastal ocean, which offers substantial support and important space for the sustainable development of human society, is subject to multiple stressors including anthropogenic activities and climate changes, and the potential consequences of growing human pressures on marine ecosystems attract much attention. In line with the recognition on structures, functions, and services of coastal ecosystems, as well as the significant changes of coastal ecosystems recently occurred under multiple depressors, issues on the health of coastal ecosystems and ecological security became hot spots in marine studies. The knowledge on ecological security of coastal ecosystems, however, is still quite limited, and hampered by the lack of methodologies on coastal ecosystem assessment. It is suggested to develop capabilities on long-term observation and information collection concerning marine ecosystems, and to perform assessment on the status of coastal ecosystems, which will offer sound basis for the implementation of marine ecosystem-based management.

Keywords coastal ocean, ecological security, marine ecosystem assessment, management

孙晓霞 中科院海洋所研究员，博士生导师，胶州湾国家野外科学观测研究站副站长。主要从事海洋生态学研究。发表研究论文 50 余篇，作为主要作者出版专著 4 部，获省部级奖项 2 项。全球海洋生物多样性大会国际科学委员会委员，国际海洋生物普查计划（CoML）中国委员会秘书长，中国海洋学委员会（SCOR）副秘书长，国际海洋生物地理信息系统（OBIS）科学指导委员会委员。E-mail: xsun@qdio.ac.cn

Sun Xiaoxia Ph. D. and Research Professor of Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, vice director of Jiaozhou Bay National Marine Ecosystem Research Station. She works on Marine Ecology, and published over 50 scientific papers and 4 monographs as the major author. She owned 2 ministerial-level prizes. She is a member of the International Scientific Committee of World Conference on Marine Biodiversity, Secretary-General of China COML Committee, Deputy Secretary-General of China SCOR, and member of the Scientific Steering Committee of OBIS. E-mail: xsun@qdio.ac.cn