我国典型海洋生态系统健康状况及生物多样性分析

张 灿， 王传珺， 孟庆辉， 赵建华，
李宏俊， 刘述锡， 赵媛媛

（国家海洋环境监测中心, 国家环境保护近岸海域生态环境重点实验室, 辽宁 大连 116023）

摘 要: 基于海洋生态监控区的监测数据, 本文分析了 2004—2020 年我国典型海洋生态系统的健康状况和部分海域海洋生物多样性的变化情况。结果表明, 2020 年 20 个典型海洋生态系统中有 12 个处于亚健康状况, 7 个处于健康状况, 1 个为不健康状况; 12 个河口、海湾、滩涂湿地生态系统均为亚健康或不健康状况; 8 个珊瑚礁、红树林、海草床中 7 个为健康状况, 1 个为亚健康状况。分析结果显示, 河口、海湾生态系统整体呈好转态势, 黄河口、长江口、珠江口、锦州湾和莱州湾生态系统从不健康状况转为亚健康状况; 珊瑚礁、红树林、海草床生态系统近年来存在波动。本文的研究结果在一定程度上可以反映出我国主要流域和渤海综合治理的成效, 但主要是从“不健康”状况转为“亚健康”状况, 改善程度尚不理想, 海洋生态环境保护的形势依然严峻。

关键词: 海洋生态系统; 生物多样性; 生态健康指数
中图分类号: X171.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-6336(2022)03-0423-07

Ecosystem health status and biodiversity of typical marine ecosystems in China

ZHANG Can, WANG Chuan-jun, MENG Qing-hui, ZHAO Jian-hua, LI Hong-jun,
LIU Shu-xi, ZHAO Yuan-yuan
(National Marine Environmental Monitoring Center, State Environmental Protection Key Laboratory of Coastal Ecosystem, Dalian 116023, China)

Abstract: Based on the data of marine ecological monitoring areas over the years, ecosystem health status and biodiversity of typical marine ecosystems in China from 2004 to 2020 are analyzed. The results showed that 12 of the 20 typical marine ecosystems are in sub-health status, and 7 are in health status, Among the 8 coral reefs, mangroves and seagrass beds ecosystems, 7 were in healthy condition, and 1 were in sub-health status. The ecosystem of estuaries and bays showed a trend of improvement, The results showed that the ecosystem of the Yellow River Estuary, Yangtze River Estuary, Pearl River Estuary, Jinzhou bay and Laizhou bay has changed from unhealthy to sub-health, the ecosystem of coral reef, mangrove and seagrass bed has fluctuated in recent years, which reflects the management effect of major river basins and Bohai sea in China, but the improvement is mainly from "unhealthy" to "sub-health", The grim situation of marine ecological environment protection has not changed.

收稿日期: 2020-03-29, **修订日期:** 2020-09-13
基金项目: 国家重点研发专项资助项目（2018YFC1407605）; 国家环境保护近岸海域生态环境重点实验室项目（201818）“国家海洋督察体制机制研究”
作者简介: 张 灿（1981—）, 男, 安徽宿州人, 硕士, 高级工程师, 主要从事海洋生态环境监管制度研究, E-mail: zhangcan@nmemc.org.cn
通讯作者: 赵建华（1977—）, 男, 安徽阜阳人, 博士, 正高级工程师, 主要从事遥感监测和海洋生态环境监管制度研究, E-mail: jhzhao@nmemc.org.cn

Key words: marine ecosystem; biodiversity; index of ecosystem health

我国是海洋大国，拥有 1.8 万余公里大陆海岸线、面积大于 500 m^2 的海岛 7300 多个。我国海域自北向南纵跨温带、亚热带和热带三个气候带，拥有世界海洋大部分生态系统类型，包括入海河口、滨海湿地、珊瑚礁、红树林、海草床等浅海生态系统以及岛屿生态系统，具有各异的环境特征和生物群落。渤海和黄海生物区系处在北温带海洋边缘，东海和南海属亚热带性质。受全球气候变化、不合理开发活动等影响，近岸海域生态功能有所退化，生物多样性降低，海水富营养化问题突出，赤潮等海洋生态灾害频发，一些典型海洋生态系统受损严重。1950—2000 年，我国围海造地、开垦滩涂总面积超过 7000 km^2，滨海湿地丧失近 50%，红树林丧失约 70%，近岸珊瑚礁有 80% 遭到不同程度的破坏[1-2]。2002 年我国近岸海域生态问题专项调查结果表明，我国典型海洋生态系统破坏严重。为及时掌握典型海洋生态系统的健康状况，为海洋生态环境保护和沿海经济可持续发展提供决策依据，2004 年以来，我国持续对河口、海湾、滩涂湿地、珊瑚礁、红树林、海草床等典型海洋生态系统实施监测。本文基于 2004 年以来典型海洋生态系统监测的评价结果，通过对比分析，探讨了典型海洋生态系统健康状况的变化趋势和存在的主要问题，可以为海洋生态环境保护政策的制定提供基础数据。

1 材料与方法

1.1 海洋生态系统健康状况

生态系统的监测频率为 1 次/年，于每年 8 月实施，长江以北生态监控区部分指标于每年 5 月实施。每个生态监控区布设 20 ~ 30 个点位，生物生态指标及其监测方法与“海洋生物多样性”项目保持一致，并针对生态监控区主要生态问题开展专题监测，除此之外，开展海水质量、沉积物质量、生物质量（一般每个监控区监测 2 种经济贝类污染物的残留浓度）、栖息地状况监测。

根据《近岸海洋生态健康评价指南》[3] 对海湾、河口、滩涂湿地、珊瑚礁、红树林和海草床生态系统进行评价，分别计算水环境、沉积环境、生物残毒、栖息地和生物群落 5 部分指标数据，加和形成生态系统健康指数（CEH_{indx}）：当 $CEH_{indx} \geqslant 75$ 时，生态系统处于健康状态；当 $50 \leqslant CEH_{indx} < 75$ 时，生态系统处于亚健康状态；当 $CEH_{indx} < 50$ 时，生态系统处于不健康状态。

1.2 海洋生物多样性

近岸海域的监测频率为 2 次/年，分别在 5 月、8 月实施；近岸以外的海域，监测频率为 1 次/年，在 8 月实施。每个生态监控区均布设 20 ~ 30 个点位，根据《海洋监测规范》[4]《海洋调查规范》[5] 和《海洋渔业资源调查规范》[6]，对浮游植物、浮游动物、鱼卵与仔稚鱼、浅海底栖生物、潮间带生物、游泳生物种类组成、密度、生物量等，以及红树林、珊瑚礁、海草床以及珍稀濒危生物、外来生物、特有种的种类、种群数量、分布范围开展监测。

根据《滨海湿地生态监测技术规程》[7]《近岸海域海洋生物多样性评价技术指南》[8] 中物种多样性的评价方法，以每个点位为 1 个基础评价单元，采用 Shannon-Weaver 多样性指数公式计算各点位的生物多样性指数，然后以所有站点的平均值作为该区域的生物多样性指数。

$$H' = -\sum_{i=1}^{s} P_i \log_2 P_i$$

式中：H'为多样性指数；P_i 为第 i 种生物个体数与该样品总个体数之比值；S 为样品种类数（个/m^3 或个/m^2）。

2 结果与讨论

2.1 海洋生态系统总体情况

从 2004—2020 年 21 个典型海洋生态系统健康状况的监测结果可以看出，2020 年有 12 个处于亚健康，7 个为健康，1 个为不健康，另有 1 个无数据。从生态系统类型来看，13 个河口、海湾、滩涂湿地生态系统中除 1 个无数据外，其他均为亚健康或不健康；8 个珊瑚礁、红树林、海草床生态系统中有 7 个为健康，1 个为亚健康（表 1 和表 2）。

表 1　海洋生态系统健康状况年际变化情况[9-25]

Tab.1　Inter-annual variability of marine ecosystem health

序号	类型	生态系统	年份															
			2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
1	河口	双台子河口	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
2		滦河口–北戴河	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
3		黄河口	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
4		长江口	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
5		珠江口	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
6	海湾	锦州湾	-	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	□	-	-
7		渤海湾	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
8		莱州湾	■	■	■	■	■	■	□	□	□	□	□	□	□	□	-	□
9		杭州湾	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
10		乐清湾	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	-	□
11	滩涂湿地	闽东沿岸	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
12		大亚湾	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
13		苏北浅滩	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□
14		雷州半岛西南沿岸	▣	▣	□	□	□	□	□	▣	▣	□	□	▣	-	▣	-	▣
15	珊瑚礁	广西北海	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	□	□	▣	▣	▣	▣	▣
16		海南东海岸	▣	▣	▣	▣	▣	▣	□	□	□	▣	□	□	□	□	-	▣
17		西沙珊瑚礁	-	▣	▣	▣	□	□	□	□	□	□	□	□	□	□	▣	▣
18	红树林	广西北海	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣
19		北仑河口	-	▣	▣	▣	▣	▣	□	□	▣	▣	▣	▣	▣	▣	-	▣
20	海草床	广西北海	▣	▣	▣	▣	▣	□	□	□	□	□	□	□	□	□	-	▣
21		海南东海岸	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	▣	□	□

注：▣为健康，□为亚健康，■为不健康，-为未监测或数据不足

表 2　海洋生物多样性综合指数[16-25]

Tab.2　Comprehensive index of marine biodiversity

年度	生物多样性指数	滦河口–北戴河	黄河口	长江口	珠江口	锦州湾	渤海湾	莱州湾	胶州湾	杭州湾	乐清湾	闽东沿岸	大亚湾	苏北浅滩
2011	浮游植物	1.24	2.28	0.95	2.39	2.39	2.69	1.98	-	1.93	2.43	2.44	3.04	1.09
	大型浮游动物	-	1.41	2.21	2.38	1.04	1.85	1.74	-	1.8	2.75	2.75	2.04	2.29
	大型底栖生物	2.07	2.72	1.92	1.85	0.3	2.14	2.95	-	0.45	2.49	2.96	2.04	1.91
2012	浮游植物	2.06	2.67	1.25	2.03	-	1.13	2.54	-	1.84	2.1	1.84	2.88	1.54
	大型浮游动物	1.57	1.28	2.04	3.06	-	2.16	1.86	-	1.81	2.18	2.42	2.69	2.07
	大型底栖生物	1.58	2.09	1.3	1.25	-	2.23	3.04	-	1.43	1.6	2.3	2.58	1.31
2013	浮游植物	2.13	1.94	2.18	1.65	2.08	2	1.64	-	1.8	2.22	1.32	1.66	2.58
	大型浮游动物	1.36	1.46	1.97	2.29	1.11	1.73	2.52	-	2.42	2.52	2.68	2.99	2.02
	大型底栖生物	1.62	1.8	1.7	1.57	-	2.49	2.74	-	0	0.85	2.59	2	1.62
2014	浮游植物	2.79	2.6	1.74	1.67	3.02	2.06	2.47	-	2.11	2.89	1.9	2	2.24
	大型浮游动物	1.84	0.84	2.14	3.48	1.06	2.38	2.02	-	1.6	2.13	2.38	3.48	1.6
	大型底栖生物	1.16	2.21	2.48	1.2	-	2.85	3.18	-	0.14	0.85	2.35	1.93	1.56

续表

年度	生物多样性指数	滦河口–北戴河	黄河口	长江口	珠江口	锦州湾	渤海湾	莱州湾	胶州湾	杭州湾	乐清湾	闽东沿岸	大亚湾	苏北浅滩
2015	浮游植物	2.66	2.76	2.18	2.23	2.39	3.04	2.11	-	1.75	1.87	1.63	2.01	3.4
	大型浮游动物	1.49	0.96	2.41	3.95	1.06	2.26	1.48	-	1.33	2.82	2.85	2.9	1.86
	大型底栖生物	1.51	2.31	1.66	1.36	-	2.86	2.1	-	0.27	1.58	2.53	1.92	1.67
2016	浮游植物	2.48	2.85	0.91	2.1	1.99	2.58	2.08	2.4	1.64	2.19	2.93	2.05	2.28
	大型浮游动物	1.85	1.44	1.81	2.63	1.15	1.44	1.59	1.37	1.72	2.6	2.64	2.21	2.57
	大型底栖生物	1.81	2.32	2.45	0.9	0.65	3.17	2.88	2.32	0.25	2.02	2.91	1.41	1.6
2017	浮游植物	2.73	1.96	1.63	1.72	1.76	1.92	1.9	2.63	1.83	2.33	1.67	1.66	2.54
	大型浮游动物	1.9	0.92	2.02	2.33	1.86	1.31	1.62	1.84	1.93	2.52	2.36	2.47	2.4
	大型底栖生物	1.75	2.33	2.11	1.35	0.69	2.44	2.75	2.27	0.28	1.52	2.98	1.87	1.72
2018	浮游植物	2.44	2.22	1.17	1.86	2.66	1.18	1.95	1.92	1.97	2.19	3.28	1.4	2.49
	大型浮游动物	1.46	2.06	1.87	2.46	1.35	1.96	1.44	1.89	1.86	2.37	3	2.28	2.1
	大型底栖生物	1.52	2.18	2.07	0.61	1.00	2.46	3.2	2.66	0.36	2.20	2.79	1.38	1.83
2019	浮游植物	3.55	2.32	1.47	3.7	-	2.98	-	-	1.42	-	2.55	3.12	3.2
	大型浮游动物	2.44	2.07	2.57	3.75	-	2.11	-	-	1.71	-	2.89	2.94	2.68
	大型底栖生物	2.62	3.14	1.86	1.61	-	2.01	-	-	0.20	-	2.48	2.51	0.81
2020	浮游植物	2.60	2.37	2.77	0.80	-	2.50	2.63	2.86	2.95	2.19	3.21	2.99	3.82
	大型浮游动物	2.03	2.31	2.54	3.19	-	1.94	2.47	3.12	2.57	2.95	2.64	2.56	1.94
	大型底栖生物	0.85	3.01	1.41	1.39	-	0.72	3.20	3.37	0.47	1.19	2.33	2.12	1.36

注: -为未监测或数据不足, 部分连续性较差的生态系统未做统计

2.2 河口生态系统

主要河口生态系统中的海水呈富营养化状态, 多数河口生态系统中浮游植物密度偏高, 浮游动物密度和生物量偏低, 大型底栖生物密度和生物量偏低。浮游植物生物多样性指数从高到低分别为滦河口–北戴河、黄河口、珠江口、长江口, 浮游动物生物多样性指数从高到低分别为珠江口、长江口、滦河口–北戴河、黄河口, 底栖生物生物多样性指数从高到低分别为黄河口、长江口、滦河口–北戴河、珠江口。2011—2020 年(图 1), 5 个河口生态系统生物多样性指数整体呈波动趋势。5 个河口生态系统均为亚健康, 但从长期变化趋势来看, 总体向好, 黄河口、长江口、珠江口生态系统从不健康转为亚健康, 并长期保持稳定, 这在一定程度上反映了我国流域水污染治理以及区域污染防控的成效。

2.3 海湾生态系统

本文的分析结果表明, 部分海湾生态系统中的海水呈富营养化状态, 多数海湾生态系统的浮游植物密度偏高、生物量偏低, 浮游动物密度偏高, 大型底栖生物生物量偏低。对不同海湾的横向比较可以发现, 浮游植物生物多样性指数平均值为 1.92 ~ 2.33, 最低为杭州湾, 最高为锦州湾; 浮游动物生物多样性指数平均值为 1.23 ~ 2.66, 最低为锦州湾, 最高为闽东沿岸; 底栖生物的生物多样性指数平均值为 0.39 ~ 2.89, 最低为杭州湾、最高为莱州湾(图 2)。2011—2020 年(图 3), 8 个海湾生态系统中有 7 个为亚健康, 1 个为不健康, 但从长期变化趋势来看, 总体向好, 锦州湾、莱州湾生态系统先后从不健康转为亚健康, 这反映了我国近年来持续加大渤海综合治理力度的成效。需要注意的是, 胶州湾在2007 年、2012 年和 2021 年发生了较为严重的海星爆发事件, 对当地海水养殖业造成了严重的影响[26]。2020 年夏季的监测结果表明, 胶州湾底栖生物多样性降低, 群落结构和生物组成单一化, 以牡

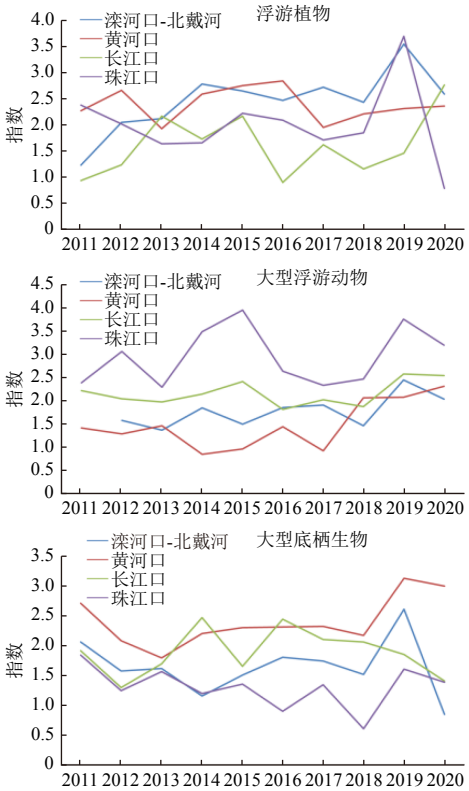

图 1　河口生态系统生物多样性指数

Fig. 1　Comprehensive index of estuarine ecosystem biodiversity

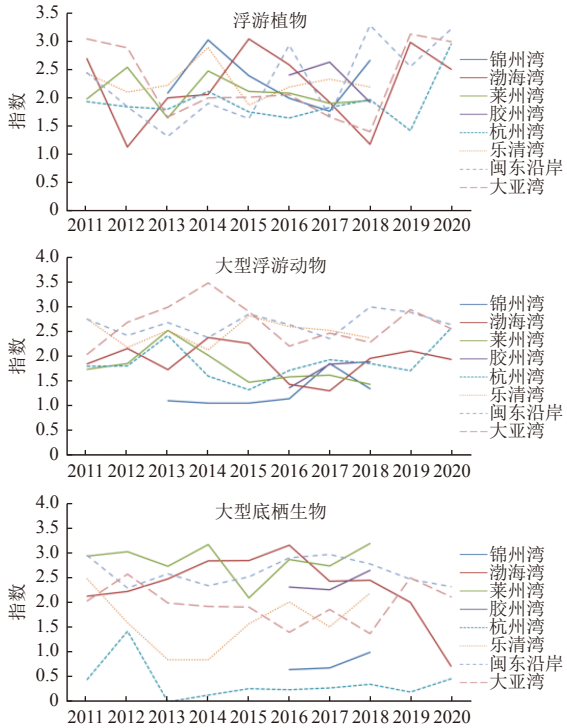

图 2　海湾生态系统生物多样性

Fig. 2　Comprehensive index of bay ecosystem biodiversity

蛎和菲律宾蛤仔为主要优势种，部分鱼类因无处觅食而迁移，造成近海捕食海星卵及幼虫的鱼类数量减少，这为海星爆发提供了有利条件。

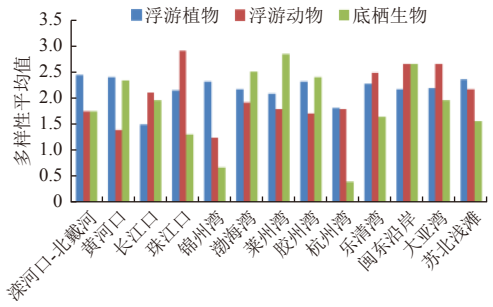

图 3　2011－2020 年海洋生物多样性平均值（浮游植物、浮游动物、底栖生物）

Fig. 3　The average value of the comprehensive index of marine biodiversity in 2011—2020

2.4　珊瑚礁生态系统

我国有造礁珊瑚 200 多种，占世界造礁珊瑚的三分之一[1]。纳入监测范围的 4 个珊瑚礁生态系统中有 3 个为健康，1 个为亚健康。长期来看，4 个珊瑚礁生态系统在 2004—2005 年均为健康，但 2015 年全部恶化为亚健康，近年情况有所好转，逐步转为健康。从 2018—2019 年的评价结果可以看出，雷州半岛西南沿岸、广西北海、西沙珊瑚礁生态系统为健康，海南东海岸为亚健康。珊瑚礁生态系统较为敏感，监测范围内 4 个珊瑚礁生态系统健康状况尚不稳定。2018 年雷州半岛西南沿岸珊瑚礁生态系统中活珊瑚的盖度较 5 年前有所下降，海南东海岸珊瑚礁生态系统中活珊瑚的盖度仍处于较低水平。此外，近年来长棘海星爆发也对西沙珊瑚礁造成了破坏，2006—2010 年是长棘海星的破坏期，珊瑚的覆盖率从高于 60% 降低到不足 5%。2011—2019 年，珊瑚覆盖率逐步增多(15%)，同时，珊瑚的补充量和珊瑚礁鱼类都有所增多[27]。受气候变化和人类活动影响，近几十年来大多数珊瑚礁生态系统均为退化趋势。近年来，我国部分科研机构逐步在西沙海域开展珊瑚礁生态修复的研究工作，建议大尺度珊瑚礁群落以自然恢复为主，小尺度缺少珊瑚幼虫附着基底的区域，可通过人工补充的方式加速珊瑚的恢复[28]。国外的研究也表明，如果环境条件良好，珊瑚退化面积小，退化斑块可在 5~10 年内自然恢复[29-30]。

2.5 红树林生态系统

我国是西太平洋红树林植物分布的北缘，共有红树林植物 26 种，占世界的 43%，另有半红树林植物 11 种，伴生种 19 种。红树林的种类数由南向北递减，分布在广东省、广西壮族自治区、海南省、福建省、浙江省等地[1]。从长期来看，20 世纪 50 年代我国红树林面积约为 500 km^2，至 2000 年已减少到 220 km^2，进入 21 世纪后，面积呈增长态势。根据国家林业和草原局 2020 年公开的数据，近 20 年来红树林的面积增加了 70 km^2，2019 年我国红树林面积约为 290 km^2，比 20 世纪末增长了约 50%，成为世界上少数几个红树林面积净增加的国家之一。目前，我国已有 55% 的红树林湿地被纳入保护范围，高于世界 25% 的平均水平。根据 2020 年的监测结果，纳入业务监测范围的广西北海、北仑河口红树林生态系统均为健康，与 5 年前相比，红树林的面积和群落类型更为稳定，北仑河口红树林的平均密度和广西北海红树林的大型底栖动物密度均显著增加。

2.6 滩涂湿地和海草床生态系统

近年来监测的滩涂湿地生态系统主要是苏北浅滩，呈亚健康状态，现有滩涂植被覆盖面积 236.9 km^2，主要植被类型是互花米草、碱蓬和芦苇。浮游植物和浮游动物的物种多样性丰富，潮间带生物群落稳定。浮游植物、浮游动物、底栖生物的多样性指数呈波动趋势。2 个海草床生态系统均为亚健康状况，分别位于广西北海和海南东海岸生态监控区。长期来看，广西北海海草床生态系统从 2009 年由健康变为亚健康，海南东海岸海草床生态系统从 2019 年由健康变为亚健康，两个海草床生态系统的海草平均盖度和平均密度均有所下降。广西北海海草床生态系统海草密度由 2011 年的 278 株/m^2 下降为 2015 年的 181 株/m^2；海南东海岸海草床生态系统 2019 年海草平均盖度为 20.7%、平均密度为 363 株/m^2，较 5 年前均明显减少。

3 结 论

我国近岸海域优良（一类、二类）水质的比例近年来呈上升趋势，2020 年优良水质比例比 2016 年高 4.5%，但海洋生态系统的改善相较水质而言具有滞后性。长期的监测结果显示，河口和海湾生态系统均为亚健康或不健康状况，水质改善的结果难以直接体现在生态系统健康状况中。从长期变化趋势来看，河口、海湾生态系统整体呈好转态势，有 5 个生态系统从不健康转为亚健康；珊瑚礁、红树林、海草床生态系统近年来均存在波动。

从流域、海域的角度看，黄河口、长江口、珠江口生态系统先后从不健康状况转为亚健康状状况；锦州湾、莱州湾等渤海海湾生态系统从不健康状况转为亚健康状况。整体来看，海洋生态系统健康状况的变化趋势可以反映我国主要流域和渤海综合治理的成效，但主要是从不健康状况转为亚健康状况，改善的程度尚不理想，海洋生态环境保护的形势依然严峻。

参考文献：

[1] 国家海洋局. 20世纪末中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2000.

[2] QIU J. Chinese survey reveals widespread coastal pollution: massive declines in coral reefs, mangrove swamps and wetlands[J]. Nature, 2012, doi: 10.1038/nature.2012.11743.

[3] HY/T 087—2005, 近岸海洋生态健康评价指南[S].

[4] GB 17378.7—2007, 海洋监测规范 第7部分: 近海污染生态调查和生物监测[S].

[5] GB/T 12763.6—2007, 海洋调查规范 第6部分: 海洋生物调查[S].

[6] SC/T 9403—2012, 海洋渔业资源调查规范[S].

[7] HY/T 080—2005, 滨海湿地生态监测技术规程[S].

[8] HY/T 215—2017, 近岸海域海洋生物多样性评价技术指南[S].

[9] 国家海洋局. 2004年中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2005.

[10] 国家海洋局. 2005年中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2006.

[11] 国家海洋局. 2006年中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2007.

[12] 国家海洋局. 2007年中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2008.

[13] 国家海洋局. 2008年中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2009.

[14] 国家海洋局. 2009年中国海洋环境质量公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2010.

[15] 国家海洋局. 2010年中国海洋环境状况公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2011.

[16] 国家海洋局. 2011年中国海洋环境状况公报[R]. 北京: 国家

海洋局, 2012.
[17] 国家海洋局. 2012年中国海洋环境状况公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2013.
[18] 国家海洋局. 2013年中国海洋环境状况公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2014.
[19] 国家海洋局. 2014年中国海洋环境状况公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2015.
[20] 国家海洋局. 2015年中国海洋环境状况公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2016.
[21] 国家海洋局. 2016年中国海洋环境状况公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2017.
[22] 国家海洋局. 2017年中国海洋生态环境状况公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2018.
[23] 生态环境部. 2018年中国海洋生态环境状况公报[R]. 北京: 生态环境部, 2019.
[24] 生态环境部. 2019年中国海洋生态环境状况公报[R]. 北京: 生态环境部, 2020.
[25] 生态环境部. 2020年中国海洋生态环境状况公报[R]. 北京: 生态环境部, 2021.
[26] 赵　琪. 罗氏海盘车危害及其防治策略[J]. 水产养殖, 2021, 42(5): 62-64.
[27] 李元超, 吴钟解, 梁计林, 等. 近15年西沙群岛长棘海星暴发周期及暴发原因分析[J]. 科学通报, 2019, 64(33): 3478-3484.
[28] 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.
[29] HARRIOTT V J, FISK D A. Accelerated regeneration of hard corals: a manual for coral reef users and managers[M]. Townsville: Great Barrier Reef Marine Park Authority, 1995: 42.
[30] OMORI M, FUJIWARA S. Manual for restoration and remediation of coral reefs[M]. Tokyo: Nature Conservation Bureau, Ministry of the Environment, Japan, 2004: 84.

(上接第 422 页)

物中重金属含量基本保持稳定，其中，30% 的站位重金属含量呈现上升趋势，12.5% 的站位呈现下降趋势。广西近岸海域表层沉积物重金属主要来源于沿海农业、生活污染源。

(3)地累积指数评价结果表明，广西近岸海域表层沉积物重金属总体处于较低污染程度。

(4)潜在生态风险指数评价结果表明，广西近岸海域表层沉积物中重金属总体处于低风险状态。

参考文献：

[1] 王恩康, 孙永根, 夏　鹏, 等. 钦州湾南部表层沉积物重金属分布及生态危害评价[J]. 海洋科学进展, 2017, 35(2): 284-294.
[2] 田海涛, 胡希声, 谢　健, 等. 茅尾海重金属分布特征及污染评价[J]. 海洋湖沼通报, 2014 (1): 161-168.
[3] 李啸宇, 何祥英, 罗万次, 等. 广西防城湾表层沉积物重金属的分布及其潜在生态风险评价[J]. 海洋环境科学, 2016, 35(5): 712-717.
[4] 刘保良, 陈旭阳, 李武全, 等. 茅尾海海洋公园沉积物持久性毒害污染物生态风险分析[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(6): 856-861, 904.
[5] 刘保良, 陈旭阳, 魏春雷, 等. 广西海域沉积物重金属、滴滴涕、多氯联苯含量及生态风险分析[J]. 海洋湖沼通报, 2019 (4): 125-132.
[6] 蓝锦毅, 廉雪琼, 巫　强. 广西近岸海域沉积物环境质量现状与评价[J]. 海洋环境科学, 2006, 25(S1): 57-59.
[7] MÜLLER G. Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine river[J]. Geology Journal, 1969, 2(3): 108-118.
[8] 张远辉, 杜俊民. 南海表层沉积物中主要污染物的环境背景值[J]. 海洋学报, 2005, 27(4): 161-166.
[9] 张志锋, 王　燕, 韩庚辰, 等. 北部湾沉积物中重金属元素的地球化学特征及物源初探[J]. 海洋学报, 2013, 35(2): 72-78.
[10] HAKANSON L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach[J]. Water Research, 1980, 14(8): 975-1001.
[11] 滕彦国, 庹先国, 倪师军, 等. 应用地质累积指数评价沉积物中重金属污染: 选择地球化学背景的影响[J]. 环境科学与技术, 2002 (2): 7-9.
[12] 陈静生, 王飞越. 关于水体沉积物质量基准问题[J]. 环境化学, 1992 (3): 60-70.
[13] 王菊英. 海洋沉积物的环境质量评价研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2004.
[14] 刘　成, 王兆印, 何　耘, 等. 环渤海湾诸河口潜在生态风险评价[J]. 环境科学研究, 2002, 15(5): 33-37.
[15] 赵晨辉, 胡　佶, 李发明, 等. 广东汕头湾表层沉积物重金属含量分布及风险评价[J]. 应用海洋学学报, 2020, 39(3): 408-418.
[16] 熊　慧, 杨丽虹, 邓永智. 福建省安海湾、围头湾海域表层沉积物重金属含量分布特征及潜在生态风险评价[J]. 应用海洋学学报, 2019, 38(1): 68-74.
[17] 李　玉, 俞志明, 宋秀贤. 运用主成分分析(PCA)评价海洋沉积物中重金属污染来源[J]. 环境科学, 2006, 27(1): 137-141.
[18] 梁　森, 李德鹏, 路　波, 等. 辽东湾西北部海域表层沉积物重金属含量的空间分布特征与污染状况评价[J]. 海洋环境科学, 2019, 38(6): 874-883.
[19] 田亚静, 陈经浩, 黄建新, 等. 船舶防污漆中污染物分析及处置技术[J]. 环境工程学报, 2017, 11(2): 1164-1170.