

长江河口生态健康评价的关键问题与思考

陈敏¹, 魏菜², 丁玲^{3*}, 郑磊夫³, 黄清辉^{2,4}

¹中国长江三峡集团有限公司长江生态环境工程研究中心, 北京

²同济大学环境科学与工程学院长江水环境教育部重点实验室, 上海

³上海勘测设计研究院有限公司, 上海

⁴上海污染控制与生态安全研究院, 上海

收稿日期: 2023年10月29日; 录用日期: 2023年11月29日; 发布日期: 2023年12月8日

摘要

近年来, 随着长江大保护战略的实施, 长江保护修复不断深入, 对于流域-河口-近海可持续发展的作用需要评估, 河口生态健康研究对此有重要的意义。对于长江河口生态系统健康的评价研究已有不少, 不同类别的评价方法所得的评价结果差异较大: 利用生物群落指标(如生物完整性指数)评价的结果不容乐观, 多数情况下处于极差或较差的状态, 而利用多指标综合评价的结果尚可, 2000 s中期以后好转, 处于亚健康状态。本文针对现有的长江河口生态系统健康评价实践中关键问题也进行了分析, 提出了改进和创新评价方法的思路, 可为长江生态环境保护修复和科学管理提供科技支撑。

关键词

长江口, 生态系统健康评价, 评价方法, 健康内涵

Key Issues in the Estuarine Ecosystem Health Assessment of Yangtze River

Min Chen¹, Lai Wei², Ling Ding^{3*}, Leifu Zheng³, Qinghui Huang^{2,4}

¹Research Center for Eco-Environmental Engineering, China Three Gorges Corporation (CTG), Beijing

²Key Laboratory of Yangtze River Water Environment, College of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai

³Shanghai Investigation, Design and Research Institute Co., Ltd. (SIDRI), Shanghai

⁴Shanghai Institute of Pollution Control and Ecological Security, Shanghai

Received: Oct. 29th, 2023; accepted: Nov. 29th, 2023; published: Dec. 8th, 2023

*通讯作者。

文章引用: 陈敏, 魏菜, 丁玲, 郑磊夫, 黄清辉. 长江河口生态健康评价的关键问题与思考[J]. 环境保护前沿, 2023, 13(6): 1247-1253. DOI: 10.12677/aep.2023.136149

Abstract

In recent years, the Yangtze River estuary ecosystem has been under increasing pressure with the rapid economic development, which restricts the sustainable development of the social economy. Therefore, it is of great significance to assess the ecosystem health status of the Yangtze River estuary. Since the connotation and standards of ecosystem health have not yet formed a unified cognition, there were various methods for the ecosystem health assessment of the Yangtze River estuary in previous studies, and the results of different methods varied greatly. However, most studies believed that the ecosystem health status of the Yangtze River estuary declined since the late 1990s and reached the worst level in the mid-2000 s. After that, the trend of slow recovery appeared, but the current condition was still not optimistic. In the future, it is still necessary to further clarify the connotation and standard of estuarine ecosystem health, innovate the methods of ecosystem health assessment, and study the trend of further development of ecological status, so as to provide a basis for ecological restoration and scientific management of the Yangtze River estuary.

Keywords

The Yangtze River Estuary, Ecosystem Health Assessment, Assessment Method, Health Connotation

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

河口是从河流向海洋过渡的复杂生态系统,资源丰富,物种多样,是世界上生产力最高的生态系统之一,健康的河口生态系统可以发挥重要的服务功能[1]。长江口是长江向海洋输送物质的重要通道,随着人口的迅速增长和经济的高速发展,长江河口生态系统所受到的压力日益增大,资源衰竭、生态退化和环境污染等问题逐步显露并日益严重,制约着河口地区社会经济的可持续发展[2] [3] [4]。因此,研究长江口生态系统的健康状况对科学保护长江口生态环境,协调经济发展与水生态环境的关系具有重要的理论和现实意义。

河口生态系统健康的相关问题已成为全球生态和环境问题研究的热点,前人从不同角度出发对河口生态系统的健康问题进行了大量工作。生态系统健康是通过测定生态状况指标是否在一个容许范围来评价的,而生态状况是指生态系统的功能、完整性和可持续性的现状。一个健康的生态系统必须保持新陈代谢活动能力,保持内部结构和组织,对外界的压力必须有恢复力。这一内涵和标准也被国际生态系统健康协会所接受[5]。由于生态系统是一定空间范围内,有生物群落与其环境所组成,具有一定时空格局,它自身借助于功能流而形成的稳定系统。因此,也有研究者认为,生态系统健康是一个将环境条件与人为活动的影响相结合的概念,以便为可持续利用和管理自然资源提供信息。这样,相关指标必须反映这些人为影响,以代表人类-环境系统中复杂的因果关系[6]。但是,目前国内外研究关于生态系统“健康”的内涵和标准尚不统一,导致评价标准和方法也没有形成统一的认知[7]。不同类别的评价方法尽管对生态系统健康状况评价都取得了进步和发展,但仍存在环境指标选取差异大、沟通性较差、评价结果不尽

相同等问题。

本文以长江口为例,介绍了国内外河口生态系统健康评价体系和评价方法的研究进展,归纳了不同评价方法对长江口生态系统健康的评价结果,并对河口地区生态系统健康评价过程中的关键问题提出了思考和建议,以期为长江河口的生态修复和科学管理提供依据。

2. 河口生态系统健康状况评价方法

2.1. 生物群落指标评价方法

在国外河口的实践中,约有 80%特别倾向于鱼类群落或底栖动物群落指标(如,多样性、丰度和组成)[8][9]。例如,AZTI 海洋生物指数(AMBI)是基于不同类别底栖动物的样本数量对河口生态系统健康进行定量评估的方法,在全球各洲河口及海湾应用较为流行[10][11][12],也有通过建立河口生物完整性指数(IBM)来评估河口生态系统本身的健康状况的[13][14]。我国近年来,开始发展河口底栖动物/鱼类生物完整性指数,并用于河口生态系统健康状况评价[15][16][17]。河口生物完整性指数强调从生态学角度反映河口生态系统健康与否,定量描述环境状况特别是人为干扰与生物特性之间的关系。在建立生物完整性指标体系的时候,通常要选择受人为干扰较少的生态状况作为参考标准。由于河口环境条件自然变化较大,比如盐度和沉积物结构,它们是控制河口物理化学条件和生物分布的主要因素。因此,在选择参考标准时必须考虑物理化学及生物学条件的弹性变化[18]。这种方法的主要控制因素是生态系统的生物群落状态,考虑了生物群落的完整性、丰富度、栖息密度等。

2.2. 多指标综合体系评价方法

物理化学指标常用于评价河口的生境状态,通常需要结合生物群落指标建立多指标综合评价体系,对生态系统健康状况进行综合评价。在我国长江口[3][4][7][19]、珠江口[20]、黄河口[2][21]、北仑河口[22]、大辽河口[23]、和钱塘江口[8]等国内河口生态系统健康的研究实践中,主要是综合了水环境(如溶解氧、悬浮物/透明度、营养盐、化学耗氧量以及石油类)、沉积环境(如总有机碳、酸可挥发性硫化物以及重金属潜在生态危害指数)、生物残毒(重金属、多氯联苯和石油烃类等)、栖息地(如水域、滩涂湿地、红树林等)和生物群落(如物种/群落多样性、丰度、生产力)等方面指标,尤其是水质指标和生物群落指标。例如,基于《近岸海洋生态系统健康评价指南》(HY/T 087-2005),我国每年都对长江口、珠江口和黄河口等主要河口的生态系统健康进行评价,分为健康、亚健康和不健康等三个等级。另外,许多研究者在探索河口生态系统健康时从社会经济和人类健康的角度出发,从物理化学、生物学和社会经济学等多指标组合体系也做了很多探索,主要是基于“压力、状态和响应”的 PSR 模型[3][21][24]或者基于“驱动力、压力、状态、影响和响应”的 DPSIR 模型[7][19]。

纵观国内外众多河口生态系统健康研究,可供选择的潜在评价指标是非常多的,但真正依赖于实际观测的、具有时空变化的数据指标实际上还是较为有限的[2][20]。因此,在进行河口生态系统健康评价时需要谨慎选取评价指标和构建评价体系。

3. 长江口生态健康的历史变化比较

在过去的研究中,有关长江河口生态系统健康评价的方法主要分为两种类型:一类是基于层次分析法[4]、PSR 或 DPSIR 模型的多指标体系,包括环境指标、生态指标及压力指标等[3][19];一类是基于底栖动物或鱼类生物完整性指数[16][25][26][27]。不同类别的评价方法所得的长江口生态系统健康状况差异较大(表 1)。部分研究可以根据评估指标的量化结果直观地展示不同方法评价结果的差异(图 1),包括 PSR 模型[28]、DPSIR 模型[19]、海洋生物健康指数[29]和生物完整性指数法[27]。

基于多指标综合体系的研究多数认为 1990 s 后期以来长江口生态健康状况呈下降趋势,至 2000 s 中期达到最坏水平,之后呈现缓慢恢复的趋势。赵艳民等[28]采用 PSR 模型分析了 2001~2017 年间长江口生态系统的健康状况,发现 2001~2006 年间长江口生态健康呈退化趋势,在 2006~2017 年间又呈现了缓慢恢复的趋势,总体上长江口生态健康状况为“中”。周晓蔚等[3]同样基于 PSR 模型对 1996~2005 年间长江口生态健康状况做出了评价,研究认为这十年间长江口生态系统基本处在亚健康-病态,但趋势评价结果有好转的迹象。这一发现与 Wang 等[19]利用 DPSIR 模型对 1998~2009 年间长江口生态健康状况得出的评价结果大体一致。该研究认为长江口生态健康状况自 1990 s 末逐渐退化,在 2000 s 中期达到最坏水平,2000 s 末出现缓慢恢复的趋势。叶属峰等[4]采用层次分析法分析了 2002~2004 年间长江口生态健康状况,认为长江口生态健康状况处于亚健康状态,距离健康状态尚有明显差距。

与其它评价方法相比,生物完整性指数法取得的评价结果更加不容乐观。基于生物完整性指数法的评价研究主要集中在 2000 s 中期左右[3] [4] [7] [25] [26] [27],大多数研究认为在这一时间段长江口健康状态处于“差”-“极差”的水平。这一期间主要的问题是长江口水体富营养化突出,导致赤潮频发、水质恶化;底栖生物群落的物种数和生物量都处于较低水平;鱼类群落多样性趋于简单化,底层中型鱼类个体减少等,生态系统健康状况不容乐观。陈耀辉等[27]基于河口生物完整性指数(EBI)对 1986~2016 年间长江口生态健康状况做出了评价,发现三十年间长江口的生态系统健康状况同样呈现了先下降而后稳定在较低水平的趋势。杨颖等[29]基于《近岸海洋生态健康评价指南》分析了近 15 年(2004~2018 年)长江口海洋生物健康的变化趋势,发现各年份变化幅度较大,但总体仍处于“不健康”状态,2015 年之后维持在较低水平。

综合来看,目前长江口的生态系统健康状况距离健康状态尚有明显水平,总体生态状况仍不容乐观。但是另一方面,虽然生物群落状态未见明显恢复,但生境状态已经表现出了好转的趋势。近些年关于长江口生态系统健康状况的研究比较少,今后仍需要对健康状况进行更多的调查,创新生态系统健康评价的方法,以期更加真实地反映生态状况进一步发展的趋势。

Table 1. Results of different assessment methods on ecosystem health status of Yangtze River estuary

表 1. 长江口生态健康状况不同评价方法的评价结果

评价方法	评价年份	相关指标	评价结果
生物完整性指数 (EBI) [16]	1986~2016	物种组成、营养类型、鱼类丰度和健康状况	生态系统健康状况呈现先下降,而后稳定在较低水平的趋势
鱼类完整性指数 (FAII) [26]	2006~2007	物种丰度及组成、营养类型组成、物种多度和健康状况	基本处在“差”到“极差”的水平
底栖动物完整性指数(B-IBI) [25]	2005	底栖动物的丰度及组成	50%以上点位处于“较差”-“极差”状态
海洋生物健康指数[29]	2004~2018	浮游植物、浮游动物、底栖动物的密度和生物量	海洋生物总体处于“不健康”状态
PSR 模型[28]	2001~2017	压力、状态和响应	2001~2006: 退化趋势; 2006~2017: 缓慢恢复趋势, 总体状况仍不乐观
PSR 模型[3] [7]	2005~2016	压力、状态和响应	亚健康, 但不稳定, 有向病态方向发展的趋势
DPSIR 模型[19]	1998~2009	驱动力、压力、状态、影响、响应	自 90 年代末期开始退化, 在 2000 s 中期达到最坏水平, 在 2000 s 末期出现缓慢恢复的趋势
层次分析法[4]	2002~2004	物理化学指标、生态学指标、社会经济学指标	处于亚健康状态, 距离健康状态尚有明显差距

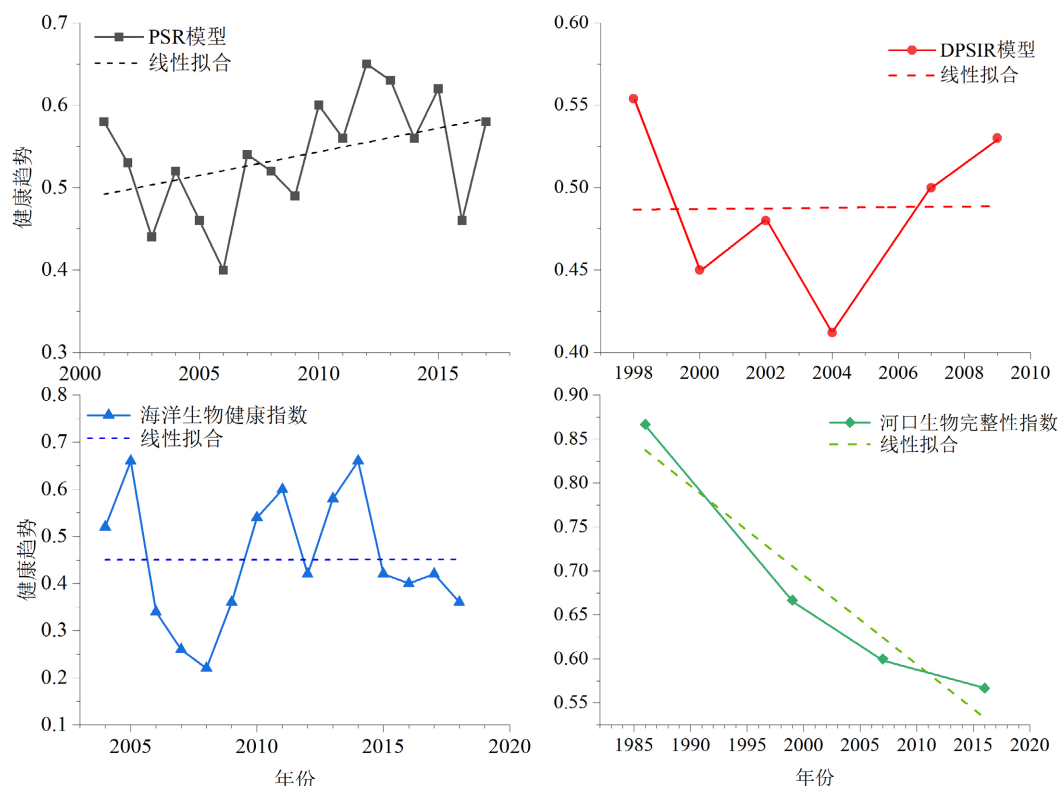


Figure 1. Comparison between different assessment methods on ecosystem health status of Yangtze River Estuary ((PSR model [28], DPSIR model [19], index of ocean biological health [29], and index of biological integrity [27])

图 1. 长江河口生态健康状况不同评价方法的评价结果比较(PSR 模型[28]、DPSIR 模型[19]、海洋生物健康指数[29]和生物完整性指数法[27])

4. 河口生态系统健康评价的关键问题

4.1. 生态系统健康的内涵和标准

合理的健康内涵和标准是河口生态系统健康评价的基础，但关于生态健康的定义目前在不同领域的人群中还没有达成统一的认识，文献中也有很多相近的表述，如“生态质量”“生态完整性”等[30]，社会发展等层面的因素是否应融合进生态健康的概念中仍比较模糊。若没有对生态健康给个清晰的定义，就很难设定生态系统保护和修复目标，也很难评价管理行动是否有效。

河口生态系统是融淡水生态系统、海水生态系统、咸淡水混合生态系统、潮滩湿地生态系统、河口岛屿和沙洲湿地为一体的复杂生态系统[31]，其健康状况不但随系统内部物理、化学和生物因素变化而变化，同时受整个流域及毗邻区域人类活动的影响。目前对于河口生态系统健康内涵和标准的认识尚不统一，但大致明确了健康的河口生态系统在自然属性方面应具有稳定、协调、可持续并能抵抗外界压力的特点[32] [33] [34]，在社会属性方面应能够满足人类合理的需求和社会经济发展的要求[7]。有研究者将实现生态系统健康的管理目标分为生态系统目标、水质目标和人类健康目标[35]，或者将河口分为近口段、河口段、口外海滨段 3 个河段，根据各段的自然特征和水体功能等，对河口各区段的健康内涵进行定义[8]。

4.2. 评价指标的选择

从不同类别的评价方法对长江河口生态健康状况的评价结果来看，仍存在环境指标选取差异大、沟通性较差、评价结果存在差异等问题[7]。这对于分析目标地区生态系统健康状况的年际演变过程是十分

不利的。

基于生物群落指标的生物完整性指数法对于不同等级的健康状况除了有评价指数的定量描述, 还有清晰的定性特征描述, 但是也只反映了生物群落状态信息, 对于生境环境质量等方面信息没有考虑。而且, 生物完整性指数评价法通常需要选择好未受人为干扰的采样点/年份作为参照, 用于建立参照条件。这对于溪流、河流或湖泊来说尚且不易, 对于环境条件呈梯度变化的河口来说更为困难。河口地区的生物分布存在显著的空间变化, 较难找到合适的参考点, 即使要选择历史年份建立参照条件, 可能也要将河口划分为不同盐度范围的地理分区。

PSR、DPSIR 模型和与之类似的层次分析法可以从物理化学、生物学和社会经济学等方面构建多指标组合体系, 能够较为细致地分析描述影响生态环境各种因素之间的相互关系, 但是模型框架的使用与指标的制定等都需要依赖于人为主观设定, 评价体系的标准化有待改进。

综合来看, 创新河口生态系统健康评价的方法对于之后河口地区的生态系统可持续性的管理工作至关重要。

5. 结论

河口地区生态系统健康的评价工作对于河口地区的可持续发展管理至关重要, 但基于不统一的“健康”标准和内涵, 不同领域的研究者选用的评价指标和评价方法也不尽相同, 也导致了评价结果的差异。

以长江河口为例, 不同类别的评价方法所得的评价结果差异明显, 存在环境指标选取差异大、沟通性较差、评价标准不统一等问题。生物群落指标和生境指标的选择对于评价结果有很大的影响。近些年关于长江口生态系统健康状况的研究比较少, 今后仍需要进一步明确河口生态系统健康的内涵和标准, 创新生态系统健康评价的方法, 研究生态状况进一步发展的趋势, 以及探究环境变化对人类大型工程的响应等。

基金项目

感谢中国长江三峡集团有限公司科研项目编号 201903173 资助。

参考文献

- [1] Cairns, J., McCormick, P.V. and Niederlehner, B.R. (1993) A Proposed Framework for Developing Indicators of Ecosystem Health. *Hydrobiologia*, **263**, 1-44. <https://doi.org/10.1007/BF00006084>
- [2] 牛明香, 王俊. 河口生态系统健康评价研究进展[J]. 生态学杂志, 2014, 33(7): 1977-1982.
- [3] 周晓蔚, 王丽萍, 郑丙辉. 长江口及毗邻海域生态系统健康评价研究[J]. 水利学报, 2011, 42(10): 1201-1209.
- [4] 叶属峰, 刘星, 丁德文. 长江河口海域生态系统健康评价指标体系及其初步评价[J]. 海洋学报, 2007, 29(4): 128-136.
- [5] Belt, M., Costanza, R. and Groot, R. (2011) Ecological Economics of Estuaries and Coasts. https://www.academia.edu/2960320/Ecological_Economics_of_Estuaries_and_Coasts
- [6] Burkhard, B., Muller, F. and Lill, A. (2008) Ecosystem Health Indicators. In: Jørgensen, S.E. and Fath, B.D., Eds., *Encyclopedia of Ecology*, Elsevier, Amsterdam, 1132-1138. <https://doi.org/10.1016/B978-008045405-4.00312-8>
- [7] 周晓蔚. 河口生态系统健康与水环境风险评价理论方法研究[M]. 北京: 华北电力大学, 2008.
- [8] 李若华, 郜会彩, 熊李虎, 等. 钱塘江河口健康内涵的探讨[J]. 浙江水利科技, 2012(3): 6-9.
- [9] Hallett, C.S., Traylor, K.M. and Valesini, F.J. (2019) The Fish Community Index: A Practical Management Tool for Monitoring and Reporting Estuarine Ecological Condition. *Integrated Environmental Assessment and Management*, **15**, 726-738. <https://doi.org/10.1002/ieam.4151>
- [10] Borja, A., Franco, J. and Perez, V. (2000) A Marine Biotic Index to Establish the Ecological Quality of Soft-Bottom Benthos within European Estuarine and Coastal Environments. *Marine Pollution Bulletin*, **40**, 1100-1114. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(00\)00061-8](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(00)00061-8)

- [11] Teixeira, H., Weisberg, S.B. and Borja, A. (2012) Calibration and Validation of the AZTI's Marine Biotic Index (AMBI) for Southern California Marine Bays. *Ecological Indicators*, **12**, 84-95. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.05.025>
- [12] Chiu, G.S., Wu, M.A. and Lu, L. (2013) Model-Based Assessment of Estuary Ecosystem Health Using the Latent Health Factor Index, with Application to the Richibucto Estuary. *PLOS ONE*, **8**, e65697. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065697>
- [13] Hallett, C.S., Valesini, F.J. and Clarke, K.R. (2012) Development and Validation of Fish-Based, Multimetric Indices for Assessing the Ecological Health of Western Australian Estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **104-105**, 102-113. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.03.006>
- [14] Hughes, J.E., Deegan, L.A. and Weaver, M.J. (2002) Regional Application of an Index of Estuarine Biotic Integrity Based on Fish Communities. *Estuaries*, **25**, 250-263. <https://doi.org/10.1007/BF02691312>
- [15] 张芮, 徐宾铎, 薛莹, 等. 黄河口及其邻近水域鱼类生物完整性评价[J]. 中国水产科学, 2017, 24(5): 946-952.
- [16] 刘守海, 张昊飞, 何彦龙, 等. 基于河口生物完整性指数评价上海周边海域健康状况的初步研究[J]. 生态环境学报, 2018, 27(8): 1494-1501.
- [17] 刘曼红, 孟瑶, 曹晶晶, 等. 挠力河湿地大型底栖动物功能特性[J]. 东北林业大学学报, 2019, 47(1): 76-82.
- [18] Teixeira, H., Salas, F. and Borja, A. (2008) A Benthic Perspective in Assessing the Ecological Status of Estuaries: The Case of the Mondego Estuary (Portugal). *Ecological Indicators*, **8**, 404-416. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2007.02.008>
- [19] Wang, C., Qu, A. and Wang, P. (2013) Estuarine Ecosystem Health Assessment Based on the DPSIR Framework: A Case of the Yangtze Estuary, China. *Journal of Coastal Research*, **165**, 1236-1241. <https://doi.org/10.2112/SI65-209.1>
- [20] Chen, X., Gao, H. and Yao, X. (2013) Ecosystem Health Assessment in the Pearl River Estuary of China by Considering Ecosystem Coordination. *PLOS ONE*, **8**, e70547. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0070547>
- [21] 牛明香, 王俊, 徐宾铎. 基于 PSR 的黄河河口区生态系统健康评价[J]. 生态学报, 2017, 37(3): 943-952.
- [22] 赖俊翔, 许铭本, 姜发军, 等. 北仑河口近岸海域生态健康分析与评价[J]. 广西科学, 2014, 21(1): 77-83.
- [23] 邵志芳, 胡泓, 李正炎, 等. 基于集对分析模型评价大辽河口生态系统健康[J]. 中国海洋大学学报, 2015, 45(5): 93-100.
- [24] 刘瑜, 杨慧, 刘小川, 等. 基于 PSR 模型的独流减河口生态系统健康评价[J]. 监测与评价, 2014, 32(3): 121-125.
- [25] 周晓蔚, 王丽萍, 郑丙辉, 等. 基于底栖动物完整性指数的河口健康评价[J]. 环境科学, 2009, 30(1): 242-247.
- [26] 毛成贵, 钟俊生, 蒋日进, 等. 应用鱼类完整性指数(FAII)评价长江口沿岸碎波带健康状况[J]. 生态学报, 2011, 31(16): 4609-4619.
- [27] 陈耀辉, 刘守海, 何彦龙, 等. 近 30 年长江口海域生态系统健康状况及变化趋势研究[J]. 海洋学报, 2020, 42(4): 55-65.
- [28] 赵艳民, 秦延文, 马迎群, 等. 基于 PSR 的长江口生态系统的健康评价[J]. 环境工程, 2021, 39(10): 207-212.
- [29] 杨颖, 刘鹏霞, 周红宏, 等. 近 15 年长江口海域海洋生物变化趋势及健康状况评价[J]. 生态学报, 2020, 40(24): 8892-8904.
- [30] O'Brien, A., Townsend, K., Hale, R., Sharley, D. and Pettigrove, V. (2016) How Is Ecosystem Health Defined and Measured: A Critical Review of Freshwater and Estuarine Studies. *Ecological Indicators*, **69**, 722-729. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.004>
- [31] 陆健健. 河口生态学[M]. 北京: 海洋出版社, 2003.
- [32] Meng, W. and Liu, L. (2010) On Approaches of Estuarine Ecosystems Health Studies. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **86**, 313-316. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2009.05.009>
- [33] 彭涛, 陈晓宏. 海河流域典型河口生态系统健康评价[J]. 武汉大学学报(工学版), 2009, 42(5): 631-639.
- [34] Van Niekerk, L., Adams, J.B. and Bate, G.C. (2013) Country-Wide Assessment of Estuary Health: An Approach for Integrating Pressures and Ecosystem Response in a Data Limited Environment. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **130**, 239-251. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.05.006>
- [35] Pantus, F.J. and Dennison, W.C. (2005) Quantifying and Evaluating Ecosystem Health: A Case Study from Moreton Bay, Australia. *Environmental Management*, **36**, 757-771. <https://doi.org/10.1007/s00267-003-0110-6>