



Research Progress of Eutrophication Assessment Methods for Coastal Waters

Zhao Shilan, Sun Helin, Ding Li

National Marine Environmental Monitoring Center, Dalian, China

Email address:

slzhao@nmemc.org.cn (Zhao Shilan), hlsun@nmemc.org.cn (Sun Helin), lding@nmemc.org.cn (Ding Li)

To cite this article:

Zhao Shilan, Sun Helin, Ding Li. Research Progress of Eutrophication Assessment Methods for Coastal Waters. *Science Discovery*.

Vol. 4, No. 5, 2016, pp. 342-346. doi: 10.11648/j.sd.20160405.25

Received: September 26, 2016; Accepted: October 17, 2016; Published: November 5, 2016

Abstract: Reasonable assessment of water eutrophication is an important means, by which we can understand the pollution of water body accurately. In this paper, different assessment methods of coastal waters eutrophication are reviewed, in the purpose of contributing to the coastal waters eutrophication and ecological environment restoration.

Keywords: Coastal Waters, Eutrophication, Assessment Methods

近岸海域富营养化评价方法研究进展

赵仕兰*, 孙禾琳, 丁丽

国家海洋环境监测中心, 大连, 中国

邮箱

slzhao@nmemc.org.cn (赵仕兰), hlsun@nmemc.org.cn (孙禾琳), lding@nmemc.org.cn (丁丽)

摘要: 合理对水体富营养化状况进行评价是准确把握水体污染程度的重要手段, 本文综述了当前近岸海域富营养化评价的主要方法及其优缺点, 以期在近岸海域富营养化评价以及生态环境修复工作提供技术支持。

关键词: 近岸海域, 富营养化, 评价方法

1. 引言

富营养化是一种氮、磷等植物营养物质含量过多所引起的水质污染现象。近年来, 世界上许多临海国家近海水域富营养化现象加剧, 赤潮频发, 对海域环境造成了极大的破坏。近海海水富营养化及赤潮的发生也有加剧的趋势, 对水产养殖业、渔业以及人民的身体健康构成了严重的威胁。

近年来, 随着沿海地区经济的发展, 排入河口、海湾等近岸海域的氮、磷等营养物质也随之增加, 导致海水富营养化严重并诱发赤潮, 近岸海域生态环境已受到了严重的威胁。海洋渔业和养殖业遭受巨大的损失。水体富营养

化已成为困扰世界各国的主要环境问题之一[1-3]。近岸海域富营养化状况评价, 不仅是监测近岸海域生态环境变化的一种有效方法, 也可海水养殖以及海岸带生态环境修复提供重要科学依据。本文综述了当前近岸海域富营养化评价的主要方法及其优缺点, 旨在为近岸海域富营养化评价以及生态环境修复工作提供技术支持。

2. 近岸海域富营养化评价方法

许多研究者对富营养化评价进行了研究, 并提出了多种富营养化评价模型[4], 然而, 迄今为止, 国际上尚未有一个统一的富营养化评价标准或模型。有关海水富营养

化评价方法大部分是从淡水水体的富营养化评价中移植过来的，主要包括单因子评价法、综合指数评价法、潜在富营养化评价法、模糊数学法以及新近发展起来的综合评价法和神经网络评价法等。

2.1. 单因子评价法

单因子评价法是较早运用的方法，其主要依据为海水水质标准，评价模式为：

$$P_i = \frac{C_i}{C_{i0}}$$

式中： P_i —第*i*项因子的标准指数，即单因子标准指数；

C_i —第*i*项因子的实测浓度；

C_{i0} —第*i*项因子的评价标准值。

当标准指数值 P_i 大于1，表示第*i*评价因子超出了其相应的评价标准，即表明该因子已不能满足评价海域海洋功能区的要求。

由于富营养化的复杂性，单因子指数评价法无法准确地说明评价海域水体的综合富营养化的水平，因此一般较少单独使用，多为与其他评价方法搭配使用。

2.2. 综合指数评价法

由于单一的物理、化学和生物学指标很难准确地表示复杂的富营养化现象，富营养化评价体系从单因子法过渡到综合指数法。

1) 营养指数法

营养指数法是目前海洋环境领域使用最多的富营养化评价方法，该方法由日本的冈市友利[5]于1972年提出，计算方程为：

$$E = \frac{COD(mg/L) \times DIN(mg/L) \times DIP(mg/L) \times 10^6}{4500}$$

其中，E为营养指数，当 $E \geq 1$ 时表明水域已经呈现富营养化的特征。4500为来源于特定海域中COD、DIN、DIP三者富营养化单项阈值的乘积。不同的海区，三者的阈值也不同。其阈值范围一般为DIN 0.2~0.3mg/L，DIP 0.01~0.02mg/L，COD 1~3mg/L。邹景忠等[6]较早引入营养指数法，并结合单因子指数法，对渤海湾富营养化状况进行了初步评价。林长清[7]依据1989~1993年大连近海水质监测资料，选用营养状态指数法对大连湾和市区南部沿海的富营养化水平进行了评价，认为大连近海海域水质质量状况较差，处于富营养化状态，局部海域属过营养化类型。覃秋荣等[8]和赖俊翔等[9]分别利用该法对广西北海市和钦州湾近岸海域富营养化状况进行了评价，并通过分析E值的变化情况探讨了可能造成富营养化状况的原因。

2) 营养状态质量法

营养状态质量指数法(NQI)也是目前使用较多的评价方法，其计算公式为：

$$NQI = \frac{COD}{COD_s} + \frac{TN}{TN_s} + \frac{TP}{TP_s} + \left(\frac{Chl.a}{Chl.a_s} \right)$$

其中，CODs、TNs、TPs和Chl.as分别为COD、TN、TP和Chl.a的标准值。NQI>3为富营养水平；NQI=2~3为中营养水平；NQI<2为贫营养水平。丘耀文等[10]在分析2001年冬季和2002年夏季海陵湾附近海域营养盐及其他常规参数时空分布特征的基础上，应用营养状态质量指数的方法评价该海域的水体富营养化状况，并通过多元线性回归的方法分析叶绿素a与水环境要素的相互关系。杨斌等[11]基于2009年8月对钦州湾海域的现场调查资料，分析了钦州湾表层海水中营养盐的分布特征及其成因，并采用营养状态质量指数NQI法对该海域富营养化状况进行评价分析，认为整个海湾水质处于中度污染程度和富营养化状态，以无机氮为主要污染因子。褚帆等[12]于2013年7月对天津近岸海域海水营养盐和叶绿素a等水质因子进行采样调查，运用营养状态质量指数法和富营养化指数法对该海域海水富营养化水平进行评价，采用主成分分析法得出海水富营养化的驱动因子，取得较好评价效果。

2.3. 模糊数学综合评价法

模糊综合评判法是模糊数学中一种函数型指数法，它把污染物超标值、水质质量分级标准、污染物在总体污染中的贡献等几个方面联系在一起，形成一种评价函数，它包含的数学信息广泛，避免了综合指数法不能真实反映水体污染状况、模式分辨性及可比性差等缺点，因此广泛应用于水质综合评价中[13-16]。

隶属度函数是模糊控制的应用基础，能否正确地构造隶属度函数是能否用好模糊控制的关键之一。使用隶属度函数对水体质量进行多因子综合评价时，由实测资料计算出的权值，取决于现实污染源，能比较客观地反映污染的实况隶属度法的评价结果不受实测因子数目多寡的影响，也不受污染因子异同的限制，因此，不同区域环境之间、同一环境的不同时期之间都可以此法进行环境质量的评价，是一种用于评价水体富营养化的实用方法[17]。另外，如果对环境制订了统一的质量分类标准，由这些标准拟出隶属函数编制计算机程序，则可以进行规范化的质量评价，使用计算机进行运算又可大大节省运算时间及提高结果的准确性。杜虹等[18]根据2001年7月~2002年7月拓林湾生态调查数据，运用模糊集理论中的权距离概念，结合隶属度的模糊评价方法，以化学耗氧量、总无机氮、活性磷酸盐和叶绿素a为指标，对粤东拓林湾和湾外水域的富营养化状况进行了评价。王焕松等[19]基于2007年夏季辽东湾海域的水质监测资料，以高锰酸盐指数、溶解无机氮、磷酸盐和溶解氧为海水富营养化评价指标，运用模糊综合评价方法并对其中的评价等级确定方法加以改进，评价了辽东湾海域水体富营养化状况，分析了水体富营养化的关键因子和控制性因素。夏斌等[20]参照国家海水水质标准和海水的富营养化特点，选取活性磷酸盐、溶解无机氮、溶解氧、化学需氧量和叶绿素a为评价指标，将富营养化程度分为3个级别，利用灰类白化权函数描述海水富营养化的等级界限，确定各指标在灰类中的聚类权及聚类系数，

确定各聚类对象的等级,建立了海水富营养化综合评价模型,并应用该模型评价了2009年胶州湾海域富营养化状况,认为灰色聚类法评价的胶州湾水域的富营养化状态与真实情况接近,利用灰色聚类法评价海水富营养化是一种快速、简便、客观的方法。

2.4. 潜在性富营养化评价法

郭卫东等[21]根据中国近岸海域的富营养化普遍受营养盐限制的特征,提出了潜在性富营养化的概念,并在此基础上提出了一种新的富营养化分级标准及相应的评价模式。这一评价模式是基于1958年Redfield[22]提出的Redfield系数,即水体中所有能被浮游植物吸收利用的N与P的比值为16而建立的。由于浮游植物主要吸收N、P物质中的DIN和DIP,因此为了便于统计研究,彭云辉等[23]提出此处的N、P物质简化为DIN和DIP,并以此对长江口浮游植物进行现场培养实验,认为当N/P大于30时受磷限制,N/P小于8时,受氮限制。隋琪等[24]基于2014年春季和冬季渤海海域营养盐数据,运用潜在性富营养化评价模式对渤海海域营养水平进行了评价。曲丽梅等[25]根据2002年6月~9月之间4个航次的调查资料,阐述了辽东湾海域氮磷营养盐的时空变化特征,并对氨氮、硝酸态氮和亚硝酸态氮、磷酸盐和pH及盐度进行了相关分析,对海域进行了潜在性富营养化评价。李桂菊等[26]根据2011年5月对渤海湾海域20个站位海水营养盐的调查结果,分析该海区海水营养盐的分布特征,并进行了潜在性富营养化评价。其营养盐浓度分布特征与潜在性富营养化评价结果基本一致。

2.5. 综合评价法(OSPAR-COMPP)

随着人们对近岸海域富营养化问题认识上的进步和管理的需求,以富营养化症状为主的第2代富营养化评价体系已经成为当前国际上近岸海域富营养化评价的主流,最为著名且正被广泛应用的第2代河口及近岸海域富营养化评价模型,有美国的“国家河口富营养化评价”(NEEA/ASSETS)[27-28]和欧盟的“综合评价法”(OSPAR-COMPP)[29],其中美国ASSETS方法只适用于河口;欧盟的“综合评价法”以区域专属的背景值(即未受人类活动干扰时的状态参数值)为评价参考标准,应用范围更为广泛。

综合评价法(Comprehensive Procedure)是由欧盟于2001年提出并应用于所有欧盟国家之沿岸海域的富营养化状况评价方法,共分为4类评价因子及标准。

I类: 营养盐过富程度(致害因素)

(1) 河流和直排总氮(TN)、总磷(TP)通量:输入量增加和/或趋势增加(较以前年份高出50%以上);

(2) 冬季无机氮(DIN)和/或无机磷(DIP)浓度:浓度增加(高出与盐度相关的和/或区域专属背景值的50%以上);

(3) 冬季N/P比值:N/P比值增大(>25)。

II类: 富营养化的直接效应(生长期)

(1) 叶绿素a浓度最大值和平均值:浓度增加(高出区域专属背景值50%以上);

(2) 区域专属浮游植物指示种:水平增加(和持续期延长);

(3) 大型植物包括大型藻类(区域专属):如:从长期生长种转变为短期生长种或有害种。

III类: 富营养化的间接效应(生长期)

(1) 缺氧程度:含量降低(<2 mg/L为急性危害; 4~5 mg/L为危害-缺乏; 5~6 mg/L为不足);

(2) 底栖动物改变/死亡和鱼类死亡:死亡(与缺氧和/或有毒藻有关),底栖动物生物量和种类组成的长期变化;

(3) 有机碳/有机物:含量增加(与类别I有关)(适用于沉积区)。

IV类: 富营养化可能产生的其它效应

如藻类毒素DSP/PSP贻贝传染事件等。

根据评价结果,可将沿岸海域营养化状况综合分级为四类:问题海域、潜在问题海域和无问题海域。

目前,运用综合评价法进行近岸海域富营养化评价的报道较少,王保栋等[30]以压力-状态-响应模式为基本框架,选取富营养化压力指标、状态指标和响应指标为评价指标,构建了近岸海域富营养化综合评价法,该方法用于评价长江口海域富营养化状况时与美国的ASSETS评价结果一致。吴迪等[31]基于PSR(压力-状态-响应)指标框架建立了一套适用于河口环境的第二代富营养化综合评价体系,并以双台子河口生态监控区为例进行了富营养化综合评价。张庆林等[32]以辽东湾东南部的红沿河海域为研究对象,运用国内目前常用的富营养化评价(NQI)方法与新一代综合评价(欧盟OSPAR-COMPP)方法对研究海域富营养化程度进行了评价,并探讨了2种富营养化评价方法的利弊。

2.6. 神经网络评价法

人工神经网络(Artificial Neural Network)是以大脑的生理研究成果为基础,模拟大脑的某些机理与机制进行信息处理的一种数学模型[33],因其具有自学习、自组织、较好的容错性和优良的非线性逼近等优点,近年来被许多研究学者应用于湖泊等陆地水域富营养化评价中[34-36],其中多以采用误差逆传播的网络模型(BP网络)来进行结果预测与评价。BP算法是Rumelhart于1986年提出的具有输入层、1个或多个隐含层和输出层结构的向前多层神经网络,网络内同层各神经元互不连接,相邻层的神经元通过权值连接,经过学习能够把样本隐含的特征和规则分布于神经网络的连接权上,使得算法适用于多层网络。该方法常用于湖泊与河流等水域的富营养化评价、水质评价,还被用于海面风速和叶绿素浓度反演、潮位和海底多金属结核分布探测、渔业资源补充量预报、植被变化图精度改善、评估陆地施肥造成的土壤侵蚀、气候变化与生态学等方面。相较于其他神经网络,BP神经网络具有运算速度快,叠加性好等特点。

人工神经网络评价法在海洋环境领域的应用尚不多见,王冬云等[37]运用多层前馈神经网络模型和B-P算法对某海域的水质富营养化水平进行了评价,作者认为运用人工神经网络评价海水的富营养化,只要把观测数据提

供给网络,借助计算机就可获得评价结果,方法计算简便、快速且具有实用性。

此外,新近引入的海水富营养化评价的方法还包括支持向量机[38-39]、主成分分析[40]、集对分析法[41]等。

3. 结论与展望

合理对水体富营养化进行评价是准确把握水体污染程度的重要手段,然而,由于富营养化评价受多个评价因子的影响,其间存在非线性关系,且各因子的贡献存在较大差异,因此上述评价方法各有其适用条件和局限性,迄今尚未有一种公认的评价方法。在应用过程中,有必要结合评价海域的实际状况,综合分析水体富营养化的原因,选取恰当的评价指标和方法,或者选取多种评价方法进行对比分析,为水体富营养化评价提供理论依据。

致谢

本文为环境基准与风险评估国家重点实验室项目《基于神经网络的河口近岸海域富营养化评价技术研究》的阶段性成果之一。

参考文献

- [1] Nixon S W. Coastal eutrophication: A definition social causes and future concerns [J]. *Ophelia*, 1995, 41: 99-220.
- [2] Paerl H W. Coastal eutrophication and harmful algal blooms: Importance of atmospheric deposition and groundwater as "new" nitrogen and other nutrient sources [J]. *Limnology and oceanography*, 1997, 42(5): 1154-1165.
- [3] Van Bennekom, Wetsteijn F J. The winter distribution of nutrients in the Southern Bight of the North Sea (1961-1978) and in the estuaries of the Scheldt and the Rhine/Meuse, Netherlands [J]. *Journal of sea research*, 1990, 25: 75-87.
- [4] 劳期团. 环境管理实用技术方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1994.
- [5] 冈市友利. 浅海的污染与赤潮的发生, 内湾赤潮的发生机制 [R]. 日本水产资源保护协会, 1972: 58-76.
- [6] 邹景忠, 董丽萍, 秦保平. 渤海湾富营养化和赤潮问题的初步探讨 [J]. *海洋环境科学*, 1983, 2(2): 41-54.
- [7] 林长清. 大连近海富营养化评价与探讨 [J]. *海洋环境科学*, 1994, 13(4): 63-68.
- [8] 覃秋荣, 龙晓红. 北海市近岸海域富营养化评价 [J]. *海洋环境科学*, 2000, 19(2): 43-45.
- [9] 赖俊翔, 柯珂, 姜发军, 等. 广西钦州湾及邻近海域营养盐特征与富营养化评价 [J]. *海洋环境科学*, 2013, 32(6): 860-866.
- [10] 丘耀文, 朱良生, 徐梅春, 等. 海陵湾水环境要素特征 [J]. *海洋科学*, 2006, 30(4): 20-24.
- [11] 杨斌, 方怀义, 钟秋平, 等. 钦州湾夏季营养盐的分布特征及富营养化评价 [J]. *海洋通报*, 2012, 31(6): 640-645.
- [12] 褚帆, 刘宪斌, 刘占广, 等. 天津近岸海域海水富营养化评价及其主成分分析 [J]. *海洋通报*, 2015, 34(1): 107-112.
- [13] 刘延美, 刘守江, 曾阳梅. 模糊数学在西昌邛海富营养化评价中的应用 [J]. *四川环境*, 2011, 30(2): 67-70.
- [14] 张平, 黄钰铃, 陈媛媛, 等. 模糊数学在香溪河库湾富营养化评价中的应用 [J]. *环境科学与技术*, 2012, 35(6): 173-179.
- [15] 丁铭, 崔嘉宇. 灰色聚类法在太湖富营养化评价中的应用 [J]. *污染防治技术*, 2015, 28(4): 21-24.
- [16] 庞博, 李玉霞, 童玲. 基于灰色聚类法和模糊综合法的水质评价 [J]. *环境科学与技术*, 2011, 34(11): 185-188.
- [17] 王化泉, 赵丽云. 海洋环境质量评价探讨一模糊集理论的应用 [J]. *热带海洋*, 1985, 4(2): 44-51.
- [18] 杜虹, 黄长江, 陈善文, 等. 粤东柘林湾海域富营养化评价与分析 [J]. *生态科学*, 2003, 22(1): 13-17.
- [19] 王焕松, 雷坤, 李子成, 等. 辽东湾海域水体富营养化的模糊综合评价 [J]. *环境科学研究*, 2010, 23(4): 413-419.
- [20] 夏斌, 陈碧鹏, 幸福言, 等. 灰色聚类法在胶州湾富营养化评价中的应用 [J]. *渔业科学进展*, 2011, 32(5): 114-120.
- [21] 郭卫东, 章小明, 杨逸萍, 等. 中国近岸海域潜在性富营养化程度的评价 [J]. *台湾海峡*, 1998, 17(1): 64-70.
- [22] Redfield A C. The biological control of chemical factors in the environment [J]. *Am. Sci.*, 1958, 46: 561-600.
- [23] 彭云辉, 孙丽华, 陈浩如, 等. 大亚湾海区营养盐的变化及富营养化研究 [J]. *海洋通报*, 2002, 21(3): 44-48.
- [24] 隋琪, 夏斌, 谢寒冰, 等. 2014年春季和冬季渤海海水营养盐时空变化特征及富营养化评价 [J]. *渔业科学进展*, 2016, 37(2): 10-15.
- [25] 曲丽梅, 姚德, 丛丕福. 辽东湾氮磷营养盐变化特征及潜在性富营养评价 [J]. *环境科学*, 2006, 27(2): 263-267.
- [26] 李桂菊, 马玉兰, 李伟, 等. 春季渤海湾营养盐分布及潜在性富营养化评价 [J]. *天津科技大学学报*, 2012, 27(5): 22-27.
- [27] Bricker S B, Ferreira J G, Simas T. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status [J]. *Ecol. Moell.*, 2003, 169: 39-60.
- [28] Bricker S B, Clement C G, Pirhalla D E, et al. National Estuarine Eutrophication Assessment: Effect of Nutrient Enrichment in the Nations Estuaries [M]. NOAA-NOS Special Projects Office, 1999: 71.

- [29] OSPAR. Draft Common Assessment Criteria and Application within the Comprehensive Procedure of the Common Procedure[A]. Proceedings of the Meeting of the Eutrophication Task Group(ETG), London, 9-11 October 2001[C]. London: OSPAR Convention for the Protection of the Marine Environment of the Northeast Atlantic, 2001.
- [30] 王保栋, 孙霞, 韦钦胜, 等. 我国近岸海域富营养化评价新方法及应用[J]. 海洋学报, 2012, 34(4):61-66.
- [31] 吴迪, 王菊英, 马德毅, 等. 基于PSR框架的典型河口富营养化综合评价方法研究[J]. 海洋技术, 2010, 29(3):29-33.
- [32] 张庆林, 张学雷, 王晓, 等. 辽东湾东南海域富营养化评价[J]. 海岸工程, 2009, 28(1):38-43.
- [33] RICKER S B, FERREIRA J G, SIMAST. An integrated methodology for assessment of estuarine trophic status[J]. Ecological Modelling. 2003, 169:39-60.
- [34] 梁宵, 殷福才, 孙世群, 等. 基于人工神经网络的巢湖富营养化分时分区评价[J]. 中国环境监测, 2007, 23(3):74-76.
- [35] 任黎, 董增川, 李少华. 神经网络模型在太湖富营养化评价中的应用[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2004, 32(2):147-150.
- [36] 林高松, 黄晓英, 李娟. 神经网络在深圳市水库富营养化评价中的应用[J]. 环境监测管理与技术, 2010, 22(1):59-63.
- [37] 王冬云, 黄焱歆. 海水富营养化评价的人工神经网络方法[J]. 河北建筑科技学院学报, 2001, 18(4):27-29.
- [38] 司晴, 梁伟. 海水富营养化评价的回归支持向量机规范化模型[J]. 四川环境, 2015, 34(1):44-47.
- [39] 王洪礼, 王长江, 李胜朋. 基于支持向量机理论的海水水质富营养化评价研究[J]. 海洋技术, 2005, 24(1):48-51.
- [40] 周斌, 王悠, 王进河, 等. 山东半岛南部近岸海域富营养化状况的多元评价研究[J]. 海洋学报, 2010, 32(2):128-138.
- [41] 李凡修, 陈武. 海水水质富营养化评价的集对分析方法[J]. 海洋环境科学, 2003, 22(2):72-74.