

河口区营养物基准制定方法

孟 伟, 王丽婧, 郑丙辉, 雷 坤

(中国环境科学研究院, 北京 100012)

摘要:河口区营养物基准是河口环境监测、评估和管理的基础。然而, 如何从营养盐基准制定的角度分析相关的科学基础问题, 提出有效操作方式和制定方法仍然缺乏系统研究, 国内外营养物基准制定亦处于探索阶段。从基准状态的判断、基准关注的营养物质、河口生态系统对营养盐的响应特征 3 个方面分析了基准制定的科学基础问题, 认为基准值的判断可以参照状态为基础, N、P、Si、Fe 等对植物生长具有较明显限制作用, 实践中均应纳入考虑, 复杂的物理特征使河口营养物敏感性具有显著差异, 地理区域和河口类型的划分有利于基准的制定。结合上述分析及国内外经验, 提出了基准制定的 6 个步骤, 认为河口分类与分区、参照状态确立是基准制定的核心步骤, 其分析方法较多, 需要针对河口特征选择并调整。结合我国营养物基准研究现状和管理需求, 提出了建立我国河口基础数据库、制定河口营养物基准技术指南、建立基于生态系统健康的河口营养物基准及标准体系等建议。

关键词:河口; 营养物; 基准; 方法

文章编号: 1000-0933(2008)10-5133-08 中图分类号: X171 文献标识码: A

Methods for developing nutrient criteria in estuarine waters

MENG Wei, WANG Li-Jing, ZHENG Bing-Hui, LEI Kun

Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China

Acta Ecologica Sinica, 2008, 28(10): 5133 ~ 5140.

Abstract: Nutrient criteria in estuarine waters are essential to water environment monitoring, assessment and management. However, its development is in a preliminary stage. With regard to the correlative scientific problem and approaches, specific researches are still limited. As viewed from criteria judgment, right nutrient control and estuarine ecosystem responses to nutrient, scientific basis for criteria development was analyzed. It is presented that reference condition can help to identify the state of criteria. Nitrogen, phosphorus, silicon and iron impose obvious limitation on phytoplankton growth, and they should be included in the control. Complex physical characteristics of estuaries result in different nutrient susceptibility, and geographical classification can contribute much to the practice. Resting on the above analysis and abroad experiences, methods for developing nutrient criteria in estuarine waters were put forward. Building up Regional Technical Assistance Group (RTAG), background investigation, estuary classification and partition, variables selection, data collection and in-situ observation, reference condition determination and criteria recommendation, and criteria evaluation and modification are the six main steps. Considered as the most vital one, estuary classification and partition as well as reference condition determination were particularly addressed. Several ways are available to achieve them while detailed selection and proper modulation should be applied to the process. In view of Chinese situation, establishing national

基金项目:国家重点基础研究发展计划(973)资助项目(2002CB412409);国家自然科学基金资助项目(40406026)

收稿日期:2007-07-11; **修订日期:**2008-02-22

作者简介:孟伟(1956~),男,山东青岛人,博士,研究员,主要从事河流、河口及海岸带环境研究。E-mail: mengwei@craes.org.cn

Foundation item: The project was financially supported by National Basic Research Program of China (No. 2002CB412409) and National Natural Science Foundation of China (No. 40406026)

Received date: 2007-07-11; **Accepted date:** 2008-02-22

Biography: MENG Wei, Ph. D., Professor, mainly engaged in river, estuarine and coastal environment research. E-mail: mengwei@craes.org.cn

estuarine database, developing national nutrient criteria manual, and setting up ecosystem-health-based estuarine nutrient criteria and standard system are highly suggested.

Key Words: estuary; nutrient; criteria; methods

河口是河流与海洋的生态交错区,是陆海相互作用的集中地带。与其他生态系统相比,河口生态系统最基本的生境特征在于受淡水径流及海洋潮汐两种主要动力作用的影响,陆海物质在此交汇,咸淡水体在此混合,使河口的理化过程、生物过程更为复杂^[1]。在河口生态系统中,氮、磷等营养物质是维持浮游植物生长的基础,并通过浮游植物这一重要初级生产者影响调节着系统的物质循环和能量流动。然而,随着人类社会的发展,入海河流带来大量氮、磷等营养物质,破坏了河口生态系统平衡,使河口及沿海富营养化问题愈来愈受到关注。

河口区营养物基准(nutrient criteria in estuarine waters)可定义为环境中营养状态参数对河口区不产生不良或有害影响的最大剂量(无作用剂量)或浓度^[2]。基准的制定和实施是人类为防止富营养化而提出的一种重要手段,亦是开展河口营养物监测、评估和管理,维护河口生态系统健康的基础。近几十年来,国内外学者们围绕河口区营养物质循环分布、理化因子与初级生产力关系、营养盐生态动力过程等方面开展了大量研究^[3~7],为了解富营养化的发生过程提供了重要基础。然而,如何吸收利用相关研究成果,从营养盐基准制定的角度分析相关的科学基础问题,提出有效操作方式和方法,对此,学术界的关注和系统研究显然不够。同时,学术方面尚存的争议、复杂的河口富营养化机制、地理区域和自然特征的差异、不同定位(学术或管理)的研究需求和手段差异,亦使得营养物基准制定难度较大。

从国内外营养物基准制定的进展来看,河口以及河流、湖库等水体的营养物基准制定普遍滞后于其他水质指标基准的制定,目前仍处于探索阶段。美国早在 1976 年就发布了第一部国家水质基准^①,至 1998 年制定《区域营养物基准的国家战略》^[8],至 2000 年前后才分别发布湖泊与水库、河流、河口及近岸水域、湿地营养物基准技术指南,期望以此推动各州和各部落制定区域性营养物基准^②。欧盟于 2002 年制定了《水框架指令实施战略》^[9],其中针对过渡水体及海岸水体的参照状态问题提出了指导意见和方法,然而,其主要从水生态保护角度涵盖了部分生物指标,并未从营养物控制角度,系统地考虑营养物管理相关指标。

本文将从基准制定的角度出发,结合国内外研究经验,分析河口营养物基准制定的科学基础,探讨河口区营养物基准制定方法,并对我国开展相关工作提出建议。

1 河口区营养物基准制定的科学基础

河口区营养物基准状态的判断、基准关注的营养物质、河口生态系统对营养物的响应特征是制定基准首先要回答的基础性科学问题,以下从各方面简要分析。

1.1 基准状态的判断

河口营养物基准制定中参照状态(Reference condition)概念的引入有效地回答了哪种状况下的营养状态可被认为是基准状态的问题。参照状态是追踪水体自然、初始的一种较好状态,可将区域范围内受土地开发和人类活动影响最小的河口水域可作为参照水域,用以衡量此区域内该水体类型相对未受干扰的营养状态。参照状态介于富营养化、原始未开发的两类营养状态之间。其与后者的数值范围被认为是基准值理论上的合理范围^[10,11](图 1)。

河口营养物基准制定过程中,基准值的确定应以参照状态为基础。美国环保局主要汲取了生态学基准制定中的“最低影响参照点(Minimally impacted reference sites)”思想来确定参照状态。实践中,各区域的数据储备、污染现状、是否存在参照点等情况不一,参照状态的确定方法相应有所不同。参照状态本身一般不能明

① <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/history.htm>

② <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/nutrient/guidance/index.html>

确地作为基准来提出,仅是提供基准值一个可参考的上限,建立参照状态后,允许根据历史数据分析、模型模拟及专家判断对其进行适当修正。

1.2 基准关注的营养物质

自 1926 年 Harvey 发现海水中 N、P 比为 16:1 以来,国内外开始广泛关注营养盐对植物生长的限制作用^[12]。1958 年 Redfield 比值(浮游植物 C:N:P = 106:16:1)的提出更极大地促进了该领域的研究^[11,12],20 世纪 70 年代以来,究竟哪种营养元素更具限制作用更成为国内外学者研究和争论热点^[13]。我国也主要集中在渤海、长江口的营养盐限制问题上展开了一系列探讨^[6,13,14]。从上述研究来看,营养物质中常量元素方面以 N、P、Si 关注较多,微量元素以 Fe 关注较多;营养盐的限制作用表现出十分明显的地域差别和季节性变化,

N、P、Si、Fe 等都可能在不同时期、不同程度地成为限制因子;其中,N、P 是导致富营养化的主要营养物;Si 可能在 N、P 浓度相对较高的前提下,限制硅藻的生长;Fe 是协同限制营养物,在某些海域限制作用明显,但仍然是次于 N 的作用。

分析营养盐的限制作用,有利于回答应该针对哪种物质或指标制定基准的问题,使目的性和针对性更加明确。在河口营养物基准制定过程中,首先要明确用于衡量限制作用的要素,即:限制浮游植物种群增长,或净初级生产力潜在增长,还是净生态系统生产力增长。从实践角度,认为净初级生产力是衡量营养盐限制作用的较好因子^[11]。其次,对于关注哪一类营养物的问题,按照保守的做法一般倾向于将 N、P、Si、Fe 均纳入考虑,在针对具体河口时,对某一方面有所侧重亦认为是合适的。

此外,在实践中出于管理的需求,制定基准的指标也可不仅仅限于营养物质。按照美国的做法,理论上应包括用于解释河口富营养化原因和结果的所有变量,例如,生物学变量(如叶绿素 a)和流域特征变量(如单位土地面积的营养物流失参数)。一般来说,5 个指标为基准的基本变量,即总氮(TN)、总磷(TP)、叶绿素 a(Chla)、透明度(SD)或藻类浊度、溶解氧。其中,TN、TP 是营养物指标,也是主要原因变量;藻类生物量(如 Chla、大型藻类干重、SD 是生物学指标,也是初始响应变量,以体现初级生产力对营养物质的反应。在存在低氧、缺氧问题的区域,溶解氧应被考虑。沉水植物、底栖动物、Fe、Si 等指标亦可根据区域实际情况酌情纳入。

1.3 河口生态系统对营养物的响应特征

根据 Cloern 提出的第二代河口海岸带富营养化概念模型、浮游植物生物过程概念模型^[7,15],分析营养负荷与河口生态系统的响应关系。营养物质作为输入系统的压力,首先干扰浮游植物生长,进而引起生态系统的直接、间接响应。对于以浮游植物为核心的生物过程而言,虽然直接受营养盐供给的影响,但这种影响明显受到过滤和调节。河口物理特征充当了“过滤器”角色,除了光照、温度、盐度等因子影响生物过程以外,河口地形、冲淡水、风、环流也通过影响水体的混合与循环,来影响营养物输入、循环和吸收^[5,11,16]。对单个河口来说,上述“过滤”作用使营养负荷与系统响应之间因果关系具有不确定性,某一类输入不一定产生理想中的某一类输出,可见,河口生态系统对营养物响应机制十分复杂。对不同河口来说,各个河口物理特征一般较为独特,“过滤”效果不同,系统对营养负荷的响应特征差异较大。

营养物敏感性(nutrient susceptibility)是指水体对营养物干扰或变化的响应敏感程度^[11,17]。在河口营养物基准制定过程中,营养物敏感性的概念得到强调,它倾向于关注系统输入、系统输出两个层面,基于响应特征来分析输入量对输出量的敏感程度,但避免对系统内的响应机制和过程进行过多关注。这样理解的好处在于可结合已有经验和研究基础,开展分类、分区,促使基准研究尽量在营养物敏感性相似的河口、区域开展,排

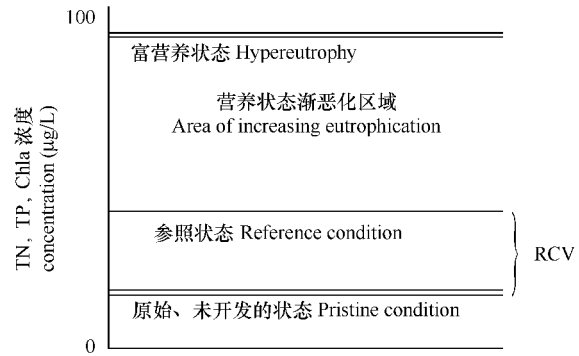


图 1 营养物基准与参照状态关系示意图

Fig. 1 The concept map of the reference condition and the nutrient criteria

RCV. 基准值参考范围 Range of potential criterion value

除一些物理因素的考虑,有利于更清晰地把握和认识规律,也一定程度上减轻了复杂响应机制研究的压力,增强了基准制定的可操作性。该做法在美国得以充分体现,其区域性营养物基准国家战略中曾明确指出,不同的地质、气候条件以及不同水体类型对营养物的浓度水平反应具有很大的差异^[8],因而,在制定基准时首要的要求是划分地理区域和水体类型。若水体类型明确为河口水域,则开展地理区域的划分。一是生态区域划分,即根据各区域的地质、土壤、气候、植被、生物、水文、水化学等特征,在国家范围内划分较大尺度的生态区。如美国目前常用的Ⅲ级生态区域图中的 79 个陆域生态区^[8,11]。亦可根据实际情况将生态区进一步细分到适当的程度。二是鉴于区域内部的差异性,依据河口生态系统的营养物敏感性,对区域内若干河口进行分类,便于营养物基准的制定实施。

2 河口营养物基准制定方法

2.1 技术路线

河口营养物基准制定主要涵盖 6 个步骤^[8,11],分别为:①组建区域技术协作组(Regional Technical Assistance Group,简称 RTAG),了解背景状况,包括河口上游流域、河口生态系统等;②划分河口,包括区域的河口分类以及河口内部分区;③选择基准变量指标;④建立历史及现状数据库,开展补充采样监测。⑤建立参照状态,提出推荐基准值;⑥基准值评价、解释和校正。

推荐基准值首先按照各步骤针对各个基准指标逐一建立,继而由 RTAG 专家进行综合分析,包括分析各指标推荐基准值的匹配状况。若出现压力指标浓度高、响应指标浓度低等不相匹配的问题,将由 RTAG 专家进行综合诊断及决策。推荐的基准值需要提交 RTAG 专家进行评价、确定和解释。基准值的校正则主要由地方政府根据实际状况开展。从各主要步骤来看,河口分类及分区、建立参照状态较为复杂和关键,需要借助诸多模型方法来完成。

2.2 河口分类及分区

由于解决河口区“人为”富营养化是基准制定的目的,因而,河口分类分区的过程中应尽量避免人类活动导致的营养物污染影响。河口分类及分区的出发点是河口生态系统对营养物的敏感性,美国提出了影响河口对营养物负荷(或浓度)响应敏感程度的 7 类特征因子,分别为冲淡水影响与水力停留时间、河口单位面积的营养负荷比、垂向混合与层化、藻类生物量、波浪、水深、周边海湾影响^[11],其中,实践中分析较多的为冲淡水、水力停留时间和垂向分层。

分类过程一般从传统的河口生境类型划分着手,可根据景观特征将河口划分为平原海岸型、泻湖及沙坝型、峡湾型、构造型^[18],辨析不同地形地貌对于营养物敏感度的影响。其次,基于物理特征层面实施分类,可依次考虑咸淡水混合、层化与环流、水力停留时间(如淡水停留时间)、径流、潮汐及波浪等因素。对不同影响因子作用下河口的营养物敏感性进行分析,对营养物敏感性相似的河口进行归类。

具体的分类方法有很多,除表格对比法、指数法等定性、半定性分析法以外,美国主要采用的定量分析方法有 2 种,一是美国海洋与大气管理局提出的河口输出潜力法,通过建立一个敏感矩阵来实现。二是类比经验模型法,通过类比河口系统对营养物的退化反应来实现,其假设前提是影响因子(营养物)对所有系统的影响和扰动具有普适性,任何退化反应均是由这一影响因子造成的。前者目前多用于较大河口系统的预测分析,后者则多用于较小的海湾,且效果比较理想。除此之外,涵盖更多影响因子,尤其关注生物效应的理论方法及框架亦正在发展中,但其对数据要求较高,目前用于河口分类的可操作性较弱。

在河口分类的基础上,针对单个河口生态系统,根据实际需要和自然特征,可选择性地开展河口内部分区,分区主要考虑因素为盐度、环流、水深、径流特征等。河口分区在一定程度上能增加实践中的可操作性。

2.3 参考状态确定

建立河口区营养物参照状态有两种基本途径,一是基于现场观测数据分析(*in-situ* observation based approach),二是基于流域分析(watershed-based approach)。对应于参照点是否可寻、生态系统退化是否严重等情景,采取的途径不一样,具体分析方法亦相应有所变化(表 1)。各方法在确立参照状态的操作过程中,均

应考虑区域内的季节和年际水文变化因素^[8,11]。

表 1 河口区营养物参照状态建立方法

Table 1 Approaches for establishing nutrient reference condition in estuaries

	情景分类 Scenarios	推荐方法 Methods	衡量指标 Variables
情景 1 Scenario 1	生态环境状况完好 Excellent condition	参照点指标频率分布曲线法 Frequency distribution analysis of variables in reference sites	TN、TP、Chla 浓度;透明度 Concentration of TN、TP、Chla; SD
情景 2 Scenario 2	生境部分退化,但参照点可寻 Some degradation but reference sites exist	参照点或观测点指标频率分布曲线法 Frequency distribution analysis of variables in reference sites and observation sites	
情景 3 Scenario 3	生境严重退化,包括所有潜在参照地点 Significantly degraded including all potential reference sites	回归曲线法; 历史、现状数据综合分析法 Regression curve analysis; historical and present data analysis	
情景 4 Scenario 4	生境严重退化,且历史数据不足 Significantly degraded as Scenario 3, but insufficient historical data	子流域存在参照点,采用子流域推算;子流域无参照点,利用模型进行回顾计算。 Reference sites along tributaries and calculate delivery; models required to calculate where all tributaries are degraded	TN、TP 负荷 Load of TN and TP

基于现场观测数据分析的途径适用于情景 1、情景 2 及情景 3。其中,情景 1 需要大量时空数据支持,且数据可靠性得到认可。参照状态一般取参照点相应指标的频率分布曲线的中值(图 2)。该方法的原理在于,由于参照点受环境影响较小、营养物浓度波动小,理论上认为参照点不存在趋势性变化,参照点各指标值的频率分布曲线中值可以较好地表达受“最低影响”的参照状态。在实际情况中参照状态的值可与盐度梯度相对应,即确立不同盐度状态下的营养物参照状态。

情景 2 中,鉴于实际条件下难以存在基本未受影响的参照点,受到营养物影响程度较小的部分地域被认为具备“参照状态的环境质量”,可作为参照点。在数据充足的情况下,可以取参照点营养物指标频率分布曲线的上 25 个百分点对应值或所有观测点营养物指标频率分布曲线的下 25 个百分点对应值。在数据不足的情况下,借鉴河口分类成果,可建立类比河口数据库,得到相似河口生态系统的营养物频率分布曲线。一般而言,该数据库建设需要 15 个以上相似河口的数据支撑,15 个以下略显不足,若只有 1 至 2 个相似河口,则仅能定性地用于辅助分析。事实上,相对于河流、湖泊而言,河口一般比较个体化,对营养物敏感性差别显著,较缺乏物理性质相似、可用于类比的河口,因而,频率分布曲线法的运用相应地受到限制。

情景 3 中,主要通过分析历史变化过程来识别参照状态,是不存在参照点时的替代方法。可通过三类途径实现,一是历史记录分析(包括历史营养物数据、水文数据);二是柱状沉积物采样分析;三是模型回顾分析。历史记录分析的实现首先要求具备充足的数据库,其次,分析者应具有丰富的研究经验,能够进行敏锐、科学的判断,在复杂历史情况中去伪存真、层层剖析,再次,需要选择相对稳定的时间、空间段,最后,要求在相似物理特征子区中开展分析(如同一盐度区)。若历史变化过程较清晰,主要借助回归过程曲线来识别参照状态(图 3)。若历史变化过程模糊,存在较多无法评估和剔除的干扰影响时,可对历史数据及现状数据进行

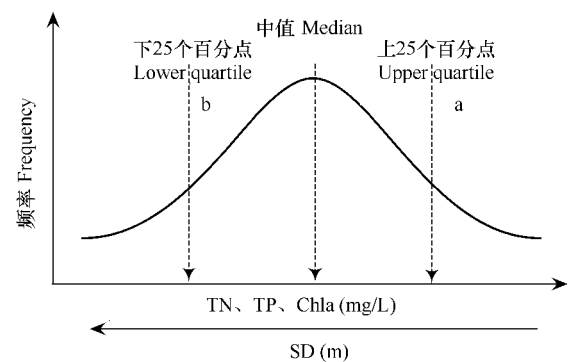


图 2 频率分布曲线法确定参照状态

Fig. 2 Derivation of the reference condition from frequency distribution of variables

(a)参照点数据 For reference quality data; (b)混合数据 Mixed data

综合评估,借助频率分布曲线法来完成(见图4)。柱状沉积物分析法则较适用于受外界扰动最小的沉积区域,尤其是营养物质浓度远低于现状的历史状态分析。对于较浅的河口,一般难有良好沉积区,不宜使用该方法。模型回顾分析法存在很多的不确定性,譬如计算机回顾模拟过程中,数据难以量化时则无法校正历史营养状态、水文状态,因而颇具争议。诚然,当前两类途径无法实现时,仍可考虑采用该方法。

基于流域分析的途径主要适用于情景4。与其他3种情景不同,情景4中其参照状态以营养物参照负荷、而非营养物参照浓度的形式表示。其方法要求建立营养物负荷—浓度响应关系模型,使各指标的参照负荷直接对应于参照状态下的浓度值。若河口的上游流域基本未受干扰,则流域的营养物负荷代表着较好的自然状态,为参照负荷。若上述条件不满足,而河口上游流域存在一些开发程度低、受影响小的子流域或流域片区,则可以通过子流域、流域片区的营养负荷推算整个流域的最小营养负荷。但后者的采用必须考虑整个流域地理相似性,判断能否足以支持将参照子流域推广到整个流域。如若不能,则须找出第二类甚至第三类典型子流域来作推算。此外,运用该方法的前提条件还包括流域内大气沉降作用稳定、原始营养负荷水平相似(例如用单位面积粮食产量衡量)、海岸地区污染负荷相对于上游流域而言可忽略、地下水对河口影响不显著。

2.4 模型辅助分析

参照状态的确定涉及大量经验模型、数学模型的引入和运用。其中,经验模型中主要借鉴的是统计学模

型,其特点是从观测数据寻找规律,便于掌握和运用,能够在一定情况下获得十分有效的信息。数学模型则相对更能准确反映污染负荷与营养物质浓度之间的关系。根据水动力条件以及模拟精度要求,营养物基准制定中主要采用的数学模型可归为四个层次。表2列举了对应于各个层次美国环保局所推荐的模型^[11]。上述模型的选择运用应在满足基本研究需求的情况下,尽可能选择简单的模型,避免过多成本投入。

3 我国制定河口营养物基准的建议

我国目前仍未系统开展河口营养物基准制定工作,但其必要性和重要性已经凸显:其一,入海河口均已受到不同程度的营养物污染,近岸海域赤潮时有发生,急需提高河口区营养物监测、评估和管理水平,例如,近20年来,随着流域内及沿海地区人类开发活动的愈加频繁,河口营养物浓度不断上升,如长江口水域2004年硝酸盐氮含量为1963年的3.4倍^[19],渤海海域无机氮含量与1982年相比亦显著增加^[20]。其二,现行标准中涉及营养物指标的有《地表水环境质量标准(GB3838-2002)》、《海水环境质量标准(GB3097-1997)》,前者适用于淡水水域、后者适用于咸水水域,两类标准对于咸、淡水交汇的河口区的适用性值得商榷。其三,由于各海区水温、气象、盐度、密度、水动力条件等自然特征各异,现行标准的单一营养物标准值理论上无法用于所有河口环境。其四,作为水质管理的科学依据,水质基准在我国标准体系中仍属欠缺,往往以水质标准来替代^[2,10],基准研究对于完善我国标准体系具有重要意义。由此,研究和制定我国河口区营养物基准、加强河口

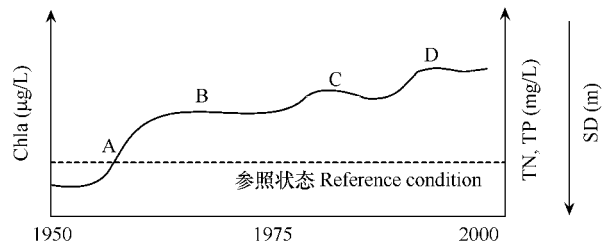


图3 回归曲线法确定参照状态

Fig. 3 Using the regression curve to establish a reference condition

A. 沉水植物丧失 Loss of submerged aquatic vegetation; B. 藻类异常繁殖 Increased unattached algae; C. 鱼类死亡 Fish kill; D. 鱼类经常性死亡 Frequent fish kill

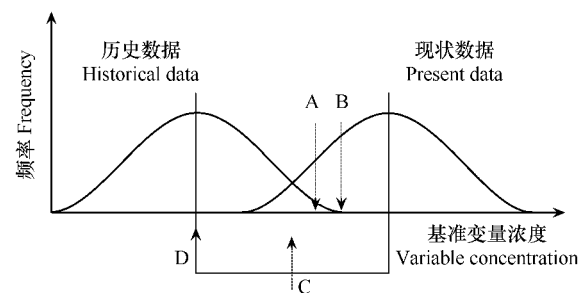


图4 数据综合分析法确定参照状态

Fig. 4 The historical and present data analysis for determining reference conditions

A. 现状数据下25个百分点 Lower quartile of present data; B. 中值区间上25个百分点 Upper quartile of both distribution; C. 历史与现状数据中值区间中值 Medians of both distribution; D. 历史数据中值 Medians of historical data

区营养物监测和管理十分必要,其不仅“对下”有利于海域环境保护,亦能“对上”推动流域社会经济的优化发展。

表 2 营养物基准制定中的推荐数学模型
Table 2 Recommended mathematical model in the nutrient criteria development

层次 Level	模型/方法 Model/method	时间尺度 Time scales	空间尺度 Spatial dimensions	水动力耦合情况 Hydro dynamics	数据需求 Data requirements	投入时间 Scale of effort
层次一 Level 1	淡水组分法	稳态	一维	无水动力参数	较少	数日
	Fraction of Freshwater	Steady state	1-dimensional(1-D)	No hydrodynamics input	Minimal	Days
	潮交换修正模式	稳态	一维	无水动力参数	较少	数日
	Modified Tidal Prism	Steady state	1-D	No hydrodynamics input	Minimal	Days
	对流-弥散方程	稳态	一维	无水动力参数	较少	数日
层次二 Level 2	Advection-Dispersion equation	Steady state	1-D	No hydrodynamics input	Minimal	Days
	二维箱式模型	稳态	二维	无水动力参数	较少	数日
	2-D Box Model	Steady state	1-D	No hydrodynamics input	Minimal	Days
	QUAL2E	稳态	一维	水动力参数输入	适中	数月
		Steady state	1-D	hydrodynamics input	Moderate	Months
层次三 Level 3	WASP5	准动态/动态 Quasi-dynamic or dynamic	一维、二维或三维 1-D, 2-D or 3-D	水动力参数输入或水动力场模拟 hydrodynamics input or simulated	适中或大量 Moderate to substantial	数月 Months
层次四 Level 4	CE-QUAL-W2	动态 Dynamic	二维 2-D	水动力场模拟 hydrodynamics simulated	大量 Substantial	数月 Months
	CH3D-ICM	动态 Dynamic	三维 3-D	水动力场模拟 hydrodynamics simulated	大量 Substantial	数月或年 Months to years
	EFDC	动态 Dynamic	三维 3-D	水动力场模拟 hydrodynamics simulated	极其丰富 Extreme	数月或年 Months to years

结合当前我国研究基础及管理需求等,提出相关建议如下:

(1) 建立我国沿海河口环境特征基础数据库。我国 4 个海区的地质构造、径流特征、气候气象、海洋水文、海水化学要素、生物资源状况等复杂多变^[21],同一海区不同河口的物理化学特征亦存在显著差异,譬如长江口冲淡水作用明显,而钱塘江口潮汐作用明显。建议完善沿海河口监测体系,分区、分步地开展我国沿海主要河口生态调查,整合现有数据基础,逐步构建国家沿海河口环境特征基础数据库。

(2) 研究制定我国河口营养物基准技术指南。借鉴国外经验,尝试性开展全国河口及近岸海域生态分区研究,选择部分研究基础较好、富营养化问题较突出的河口,率先开展河口营养物基准研究探讨和示范,以此为基础,研究制定我国河口营养物基准制定的技术指南。

(3) 建立基于生态系统健康的河口营养物基准和标准体系。河口生态系统健康是河口营养物管理的终极目标,应加快探索建立基于生态系统健康的河口营养物基准。此外,基准的价值并不在于基准值本身,而在于基准的应用过程,应积极探索营养物基准应用管理模式,尤其,结合我国现行标准体系及管理实践,研究河口营养物标准体系的建立及实施机制等。

4 结论

基准状态的判断、基准关注的营养物质、河口生态系统对营养物的响应特征是制定河口区营养物基准要回答的基础性科学问题。分析表明,基准值的判断可以参照状态为基础,N、P、Si、Fe 等对植物生长具有较明显限制作用,实践中均应纳入考虑,复杂的物理特征使河口营养物敏感性具有显著差异,地理区域和河口类型的划分有利于基准的制定。结合国内外经验,认为组建区域技术协作组、区域河口分类及分区、选取基准变量、收集数据及现场观测、建立参照状态及推荐基准值、评价、解释和校正基准值是河口营养物基准制定的 6 个主要步骤。其中,河口分类与分区、参照状态确立是基准制定的核心步骤,其分析方法较多,需要针对河口特征选择并调整。结合我国营养物基准研究现状和管理需求,建议我国未来需要重点加快河口基础数据库建

设、河口营养物基准国家技术指南研究、探索建立基于生态系统健康的河口营养物基准及标准体系,为河口营养物管理提供有效支撑。

References:

- [1] Lu J J. Estuarine Ecology. Beijing: Ocean Press, 2002. 3—4.
- [2] Meng W, Zhang Y, Zheng B H. The quality criteria, standards of water environment and the water pollutant control strategy on watershed. *Research of Environmental Sciences*, 2006, 19(3): 1—6.
- [3] Nixon S W, Ammerman J W, Atkinson L P, *et al.* The fate of nitrogen and phosphorus at the land-sea margin of the North Atlantic Ocean. *Biogeochemistry*, 1996, 35: 141—180.
- [4] Sun J, Liu D Y, Cai X Y, *et al.* The chlorophylla concentration and estimating of primary productivity in the Bohai Sea in 1998—1999. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 517—526.
- [5] Gao H W, Yang H, Zhang Y J, *et al.* A Preliminary study on factors affecting the primary production in the Bohai Sea. *Journal of Ocean University of Qingdao*, 2001, 31(4): 487—494.
- [6] Liu H, Yin B S. Model study on Bohai ecosystem II. Annual cycle of nutrient-phytoplankton dynamics. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 29(4): 20—31.
- [7] Cloern J E. Phytoplankton bloom dynamics in coastal ecosystems: a review with some general lessons from sustained investigation of San Francisco Bay, California. *Reviews of Geophysics*, 1996, 34(2): 127—168.
- [8] USEPA. National Strategy for the Development of Regional Nutrient Criteria. Washington DC: USEPA, 1998.
- [9] European Commission. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive-Transitional and Coastal waters: Typology, Reference Conditions and Classification Systems. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2003.
- [10] Xia Q, Chen Y Q, Liu X B. Water quality criteria and standard. Beijing: Standards Press of China, 2004.
- [11] USEPA. Nutrient Criteria Technical Guidance Manual Estuarine and Coastal Marine Waters. Washington DC: USEPA, 2001.
- [12] Liu H, Dong S L, Fang J G. The Progress of nutrient salts control research in global oceans. *Marine Sciences*, 2002, 26(8): 47—53.
- [13] Yang D F, Wang F, Gao Z H, *et al.* An approach to the effect of Physicochemical factors on Primary Productivity in the Changjiang Estuary I. Application of judging methods and rules of nutrient Limitation to the Changjiang Estuary water area. *Advances in Marine Sciences*, 2005, 23(3): 368—373.
- [14] Pu X M, Wu Y L, Zhang Y S. Nutrient limitation of phytoplankton in the Changjiang Estuary I. Condition of nutrient limitation in spring. *Acta Oceanologica Sinica*, 2001, 23(3): 57—65.
- [15] Cloern J E. Our evolving conceptual model of the coastal eutrophication problem. *Marine Ecology Progress Series*, 2001, 210: 223—253.
- [16] Chai C, Yu Z M, Song X X. The status and characteristics of eutrophication in the Yangtze River (Changjiang) Estuary and the adjacent East China Sea, China. *Hydrobiologia*, 2006, 563: 313—328.
- [17] Zhang Y, Zheng B H, Fu G, *et al.* On the assessment methodology and standards for nutrition status in channel type reservoirs based on zoning of eutrophication sensitivity. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2006, 26(6): 1016—1021.
- [18] Dai Z J, Ren J, Zhou Z F. Research Advance in Definition and Classification of Estuaries. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2000, 19(2): 254—260.
- [19] Zhou J L, Liu Z T, Meng W, *et al.* The Characteristics of Nutrient Distribution in the Yangtze River Estuary. *Research of Environmental Sciences*, 2006, 19(6): 139—144.
- [20] Yu Z G, Mi T Z, Xie B D, *et al.* Changes of the environmental parameters and their relationship in recent twenty years in the Bohai Sea. *Marine Environmental Science*, 2000, 19(1): 15—19.
- [21] Feng S Z, Li F Q, Li S H. An Introduction to Marine Sciences. Beijing: Higher Education Press, 1999.

参考文献:

- [1] 陆健健. 河口生态学. 北京: 海洋出版社, 2002.
- [2] 孟伟, 张远, 郑丙辉. 水环境质量基准、标准与流域水污染物总量控制策略. *环境科学研究*, 2006, 19(3): 1—6.
- [4] 孙军, 刘东艳, 柴心玉, 等. 1998~1999年春秋季渤海中部及其邻近海域叶绿素 a 浓度及初级生产力估算. *生态学报*, 2003, 23(3): 517—526.
- [5] 高会旺, 杨华, 张英娟, 等. 渤海初级生产力的若干理化影响因子初步分析. *青岛海洋大学学报*, 2001, 31(4): 487—494.
- [6] 刘浩, 尹宝树. 渤海生态动力过程的模型研究 II. 营养盐以及叶绿素 a 的季节变化. *海洋学报*, 2007, 29(4): 20—31.
- [10] 夏青, 陈艳卿, 刘宪兵. 水质基准与标准. 北京: 中国标准出版社, 2004.
- [12] 刘慧, 董双林, 方建光. 全球海域营养盐限制研究进展. *海洋科学*, 2002, 26(8): 47—53.
- [13] 杨东方, 王凡, 高振会, 等. 长江口理化因子影响初级生产力的探索 I. 营养盐限制的判断方法和法则在长江口水域应用. *海洋科学进展*, 2005, 23(3): 368—373.
- [14] 蒲新明, 吴玉霖, 张永山. 长江口区浮游植物营养限制因子的研究 I. 春季的营养限制情况. *海洋学报*, 2001, 23(3): 57—65.
- [17] 张远, 郑丙辉, 富国. 河道型水库基于敏感性分区的营养状态标准与评价方法研究. *环境科学学报*, 2006, 26(6): 1016—1021.
- [18] 戴志军, 任杰, 周作付. 河口定义及分类研究的进展. *台湾海峡*, 2000, 19(2): 254—260.
- [19] 周俊丽, 刘征涛, 孟伟, 等. 长江口营养盐浓度变化及分布特征. *环境科学研究*, 2006, 19(6): 139—144.
- [20] 于志刚, 米铁柱, 谢宝东, 等. 二十年来渤海生态环境参数的演化和相互关系. *海洋环境科学*, 2000, 19(1): 15—19.
- [21] 冯士祚, 李凤岐, 李少菁. 海洋科学导论. 北京: 高等教育出版社, 1999.