

湖泊营养物基准和富营养化控制标准丛书

水体营养物基准理论与方法学导论

席北斗 霍守亮 苏婧 主编



科学出版社

湖泊营养物基准和富营养化控制标准丛书

水体营养物基准理论 与方法学导论

席北斗 霍守亮 苏 婧 主编



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书以近几年的研究成果为主体,整理了大量国内外资料和文献,特别是在美国湖泊水库、河流和湿地的营养物基准技术指南的基础上,结合近十年来该领域最新研究进展和成果,介绍了水体营养物基准的概念、发展历史、现状和趋势,分别总结了湖泊营养物基准的理论和方法、湿地营养物基准的理论和方法、河流营养物基准的理论和方法以及典型案例分析。本书是对当前水体营养物基准理论与方法学的系统总结,反映了国内外水体营养物基准的最新研究动向,是营养物基准相关学科及环境保护部门进行水体富营养化控制、制定营养物基准的参考性资料。

本书可供从事湖泊科学、湿地科学、水质基准、水质标准、环境科学与工程、环境管理和生态学等各个学科的科研和管理人员阅读,也可作为环境科学与工程、生态学等专业研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

水体营养物基准理论与方法学导论/席北斗,霍守亮,苏婧主编. —北京:科学出版社,2013.7

(湖泊营养物基准和富营养化控制标准丛书)

ISBN 978-7-03-038162-0

I. ①水… II. ①席… ②霍… ③苏… III. ①富营养化—研究
IV. ①X522

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 159431 号

责任编辑:杨 震 刘 冉 / 责任校对:刘亚琦

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

新科印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2013 年 7 月第 一 版 开本:B5(720×1000)

2013 年 7 月第一次印刷 印张:13 1/2

字数:270 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《水体营养物基准理论与方法学导论》

编辑委员会

主 编 席北斗 霍守亮 苏 婧

编 委(按姓名汉语拼音排序)

陈 奇	陈艳卿	高如泰	何连生
何卓识	霍守亮	金菊良	马春子
苏 婧	席北斗	许其功	许云峰
咎逢宇	张靖天	张礼兵	周玉良

丛 书 序

湖泊是大自然赐予人类的“天然宝库”，作为自然生态系统的重要组成部分，与人类生存和发展息息相关，是维系人与自然和谐发展的重要纽带，在支撑区域生态安全和流域经济社会可持续发展等方面发挥着重要作用。强化湖泊保护，合理开发利用湖泊资源，维护其生态系统健康，让湖泊休养生息、恢复生机，已经成为世界各国的共识。

我国湖泊数量众多、分布广泛、类型多样，区域差异性显著，是流域经济社会可持续发展和人们赖以生存的基础，在国民经济的可持续发展中具有重要的价值。过去的三十年来，随着湖泊流域人口增长，工业化、城镇化进程快速推进，大量氮磷进入湖泊，超过其环境承载力，湖泊环境保护与流域经济社会发展之间存在诸多矛盾，缺乏基于区域差异性的分区控制策略，流域经济社会发展模式相对粗放，对湖泊水环境造成极大威胁，致使我国湖泊富营养化趋势日益严重，范围不断扩大、频率不断加快、危害不断加重，严重威胁着湖泊生态系统健康和饮用水安全。我国政府高度重视湖泊环境保护与富营养化的控制，提出了“让江河湖泊休养生息、恢复生机”的战略思想。

做好湖泊富营养化防治的顶层设计和防治策略，必须依靠环境科技的进步。目前，美国、欧盟、澳大利亚等基于营养物生态分区，科学确定营养物基准，已出台和正在出台的湖泊、水库营养物基准和富营养化控制标准，对控制湖泊富营养化、恢复湖泊水生态系统健康发挥了巨大作用。虽然我国的水质标准已有很大进步，而我国在湖泊营养物基准和富营养化控制标准研究方面几乎空白，在湖泊富营养化管理方面主要依据《中华人民共和国地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)，缺乏针对不同区域特点的营养物基准和富营养化控制标准，无法体现分区控制和分类指导，与国外先进的水质标准体系相比，仍存在诸多不足之处，还难以达到我国的水生态安全保障的基本目标。基于我国湖泊地理自然、气候、经济社会等区域差异性显著的特点，急需在我国湖泊区域差异性调查和营养物生态分区的基础上，制定不同分区湖泊营养物基准和富营养化控制标准，按照“分区、分类、分期、分级”的总体思路，实施基准标准战略是我国湖泊富营养化防治的全新理念，也是解决我国湖泊富营养化问题的必由之路。本丛书在国家“十一五”水体污染控制与治理科技重大专项“我国湖泊营养物基准和富营养化控制标准研究”(2009ZX07106—001)的大力资助下，在系统开展我国湖泊富营养化区域差异性调查与分析的基础上，阐明了我国湖泊富营养化区域差异规律与驱动机制，建立了能反映区域差异的全国

湖泊营养物生态分区理论和技术方法体系,完成全国 8 个一级分区和 37 个二级分区,统筹运用多元统计、模型推断、历史反演等科学方法,提出适合我国国情的不同分区湖泊营养物基准制定的方法学,并在典型湖区进行应用,确定了典型湖区的参照状态和营养物基准,综合考虑湖泊功能、经济社会发展水平等,实现了湖泊营养物基准向标准的科学转化,构建了湖泊富营养化控制分级标准及其评估技术体系,并在五个典型湖泊进行标准应用示范,提高标准的可操作性,基于湖泊水环境承载力构建绿色流域管理体系,并提出了国家湖泊流域营养物分区分类削减策略。本丛书的部分内容填补了我国在湖泊水质基准方面的空白,将完善我国水质标准体系,提高我国湖泊综合管理水平,规范营养物削减和富营养化综合防治体系,引导并集成适用于不同区域不同富营养化程度湖泊污染控制技术体系,推动我国湖泊富营养化的控制和生态恢复工作。本丛书的出版将对我国湖泊保护、综合治理及管理制度的创新产生重要而深远的影响。

为科学开展湖泊富营养化防治并保障其水生态系统健康,需要综合运用科技、法律法规、经济政策等手段,在相当长的时期内统筹解决。在技术上,希望相关的环境科研工作者继续发挥刻苦钻研的工作精神,在已取得成绩的基础上,持续突破创新,为建立基于不同分区营养物基准标准的我国湖泊富营养化防控和绿色流域管理体系做出应有的贡献,同时,期待更多的好书不断面世。

刘|鸣|亮

2012 年 7 月

前 言

水质基准是环境保护和环境管理工作的基础,是衡量一个国家环境科学研究水平的标志之一。美国等发达国家先后颁布了多种污染物的环境基准资料 and 文件,使其在环境科学研究中的领先地位得以保持和提升。营养物基准的概念是基于营养物在湖泊、水库、河流和湿地等水体中的变化产生生态效应危及水体功能或用途而提出的,营养物基准不同于通常的毒理学基准,是指对水体产生的生态效应不危及其功能或用途的营养物浓度或水平,可以体现受到人类开发活动影响程度最小的地表水体富营养化情况。营养物基准是水质基准体系的重要组成部分,是对富营养化进行评估、预防、控制和管理的科学基础。

美国于 1998 年率先颁布了“制定区域营养物基准的国家战略”,针对湖泊水库、河流、河口海湾和湿地四种类型水域,先后完成了湖泊水库、河流、河口海湾和湿地的营养物基准技术指南,提出了营养物基准制定的步骤和推荐的技术方法。欧洲各国继美国以后也分别开展了分区水体营养物基准方法学研究。和毒理学基准具有完善的理论和方法学体系不同,营养物基准标准方面的研究时间较短,国际上尚未建立起系统的营养物基准标准理论与方法学体系,近年来各国都在加紧开展相关研究和应用工作。水体营养物基准具有明显的区域特征,我国自然地理、气候、水环境特征和营养物效应区域差异性显著,国外的营养物基准值不一定适合我国。我国水体富营养化严重,缺乏能反映区域差异、体现分类指导的分区营养物基准,因此建立具有中国区域特点的营养物基准体系迫在眉睫。

我们在国家水体污染控制与治理课题“我国湖泊营养物基准和富营养化控制标准研究”和国家重点基础研究发展计划(“973”计划)课题“湖泊水环境基准理论与方法体系”资助下,于 2008 年开始在我国率先开展了营养物基准研究工作,在充分借鉴国外最新研究成果的基础上,结合我国水环境特征及污染现状,在我国水体营养物基准理论与方法学方面开展了探索性研究工作。本书以近年来的研究成果为主体,整理了大量国内外资料和文献,特别是在美国湖泊水库、河流和湿地的营养物基准技术指南的基础上,结合近十年来该领域最新研究进展和成果,对营养物基准理论与方法学进行了系统总结,全面论述了营养物基准制定理论与技术方法所涉及的基本概念,阐述了湖泊水库、河流和湿地的营养物基准推导的基本理论、技术和方法,介绍了湖泊营养物基准制定的案例。本书内容涉及面十分广泛,明确了我国水体营养物基准的研究方向,大部分内容是国内首次提出,不但有助于推进我国水环境保护的研究和实践,而且系统地反映了我国的研究成果和经验,期望为

我国水体营养物基准体系的构建提供启示和借鉴。

本书编写工作由席北斗、霍守亮和苏婧统筹、策划和负责。全书共分 6 章:第 1 章和第 2 章由霍守亮、苏婧和何连生完成,介绍了水体营养物基准的概念、内涵和制定的关键要素,总结了国内外水体营养物基准研究的发展历程和最新进展;第 3 章由霍守亮、咎逢宇、陈艳卿、金菊良、张礼兵完成,介绍了湖泊营养物基准制定的分类方法、湖泊营养物基准指标体系、参照湖泊筛选方法、营养物基准参照状态确定技术方法、参照状态向基准转化的技术方法;第 4 章由霍守亮、席北斗和马春子完成,介绍了湿地营养物基准制定程序、湿地分类、湿地营养物基准指标体系和湿地营养物基准制定技术方法;第 5 章由霍守亮、苏婧、席北斗完成,介绍了河流的分类方法、河流营养物基准指标体系、河流营养物基准制定技术方法和河流营养物基准的应用和后续评估;第 6 章由霍守亮、席北斗和咎逢宇完成,介绍了云贵湖区、新疆湖区、东北湖区和东部湖区湖泊营养物基准制定案例。最后由霍守亮完成了对全书的通稿和校稿工作。本书经多次讨论、补充和完善后定稿,但尚有许多不足之处有待完善,书中错漏不当之处在所难免,望同行学者不吝指正。

本书编写过程中,郑丙辉、吴丰昌、陈艳卿、刘永定、李小平、杨柳燕、邓祥征、夏训峰、王圣瑞、姜霞、许其功、高如泰、张列宇等提出了许多宝贵意见。同时,感谢中国环境科学研究院的刘鸿亮院士、孟伟院士、金相灿研究员在本书编写过程中给予的指导和建议。感谢科学出版社杨震编辑和刘冉编辑的支持和帮助。

编 者

2013 年 3 月 30 日

目 录

丛书序

前言

第 1 章 水体营养物基准概况	1
1.1 水体营养物基准的概念	1
1.2 水体营养物基准的内涵	2
1.3 水体营养物基准制定的关键要素	3
第 2 章 水体营养物基准的发展历程	4
2.1 国外水体营养物基准的发展历程	4
2.1.1 美国水体营养物基准	4
2.1.2 欧洲水体营养物基准	7
2.2 中国水体营养物基准的发展历程	8
2.2.1 湖泊营养物基准制定支持平台建设	9
2.2.2 湖泊营养物生态分区技术方法	11
2.2.3 湖泊营养物基准制定技术方法	12
第 3 章 推导湖泊营养物基准的理论和方法	15
3.1 引言	15
3.2 湖泊营养物基准制定的分类方法	16
3.2.1 概述	16
3.2.2 地理学分类——营养物生态分区	16
3.2.3 非地理学分类	20
3.3 湖泊营养物基准的指标体系	23
3.3.1 数据的质量控制要求	23
3.3.2 湖泊营养物基准指标的确定方法	25
3.3.3 湖泊营养物基准指标的选取原则	25
3.3.4 湖泊营养物基准指标的候选变量	26
3.4 参照湖泊筛选的技术方法	30
3.4.1 主要程序和指标	30
3.4.2 参照区域选择	31
3.4.3 参照湖泊筛选方法	31
3.5 湖泊营养物基准参照状态确定的技术方法	36

3.5.1	统计学方法	36
3.5.2	古湖沼学重建法	41
3.5.3	模型推断法	44
3.6	参照状态向基准转化的技术方法	54
3.7	湖泊营养物质基准制定模型	55
3.7.1	湖泊富营养化模型框架评述	55
3.7.2	参照状态模拟模型	59
3.7.3	流域负荷模型	62
第4章	推导湿地营养物质基准的理论和方法	71
4.1	引言	71
4.1.1	湿地的定义	72
4.1.2	湿地的基本特征	73
4.1.3	湿地主要环境问题	74
4.1.4	湿地营养物质基准制定程序	75
4.2	湿地分类	75
4.2.1	概述	75
4.2.2	现有的湿地分类方法	76
4.2.3	绘制湿地分类图的信息源	81
4.2.4	湿地类别中营养物质参照状态或灵敏度的差异	82
4.2.5	小结	82
4.3	湿地营养物质基准的指标体系	83
4.3.1	支持变量	84
4.3.2	原因变量	86
4.3.3	响应变量	88
4.3.4	小结	91
4.4	数据质量保证和数据分析	91
4.4.1	数据质量保证	91
4.4.2	数据分析	94
4.5	湿地营养物质基准制定的技术方法	98
4.5.1	参照状态法	99
4.5.2	模拟预测法	101
4.5.3	历史和文献数据法	102
4.5.4	考虑下游受纳水体	102
4.5.5	拟定基准的评价	102
第5章	推导河流营养物质基准的理论和方法	103
5.1	引言	103

5.2 河流系统的分类	103
5.2.1 基于物理因素的分类方法	104
5.2.2 基于营养物梯度的分类方法	110
5.2.3 基于河流价值的分类方法	112
5.3 河流营养物基准候选指标	113
5.3.1 基本变量	114
5.3.2 二级响应变量	117
5.4 河流营养物基准制定的数据质量保证	123
5.4.1 数据收集与补充监测	123
5.4.2 数据的质量保证/质量控制	125
5.5 河流营养物基准制定数据分析	126
5.5.1 营养物可用性与藻类响应的关系	126
5.5.2 统计分析	135
5.5.3 管理模型	136
5.6 河流营养物基准制定技术方法	137
5.6.1 利用参照河段制定基准	137
5.6.2 利用预测关系制定基准	139
5.6.3 利用已发布的营养物临界值或建议的藻类限值	141
5.7 河流营养物基准的应用和后续评估	143
5.7.1 营养物基准的应用	143
5.7.2 营养物基准的后续评估	146
第6章 湖泊营养物基准制定案例	148
6.1 云贵湖区营养物基准	148
6.1.1 云贵湖区营养物基准指标构建	148
6.1.2 云贵湖区营养物基准参照状态建立	151
6.1.3 云贵湖区营养物基准值确定	164
6.2 新疆湖区营养物基准	167
6.2.1 新疆湖区营养物基准指标构建	168
6.2.2 新疆湖区营养物基准参照状态建立	172
6.3 东北湖区营养物基准	174
6.3.1 东北湖区营养物基准指标构建	175
6.3.2 东北湖区营养物基准参照状态建立	184
6.4 东部湖区营养物基准	188
参考文献	193

第 1 章 水体营养物基准概况

环境基准指的是环境中污染物对特定对象(人或其他生物)不产生不良影响或有害影响的最大剂量(即无作用剂量)或浓度,其实际上是基于不同保护对象的一个多目标函数或一个范围阈值(吴丰昌和孟伟,2010)。国际上现已将环境基准研究视为反映和衡量一个国家环境科学研究水平的标志之一,因而一些发达国家和国际组织投入了大量的人力、物力和财力,其中美国、加拿大、西欧和国际经济合作与发展组织(OECD)等先后颁布了多种污染物的环境基准资料 and 文件,以使其在环境科学研究中的领先地位得到保持和提升。

根据基准的制定特点,可以将水质基准划分为两大类:一类是毒理学基准,这类基准是在大量科学实验和研究的基础上制定出来的,如人体健康基准、水生生物基准;另外一类是生态学基准,是在大量的现场调查的基础上通过统计学分析制定出来的,如营养物基准、生态完整性评价基准。

1.1 水体营养物基准的概念

“营养物”一词被用于描述新陈代谢所必需的化合物。相对于微量营养素如铁或钼来讲,氮(N)和磷(P)是细胞相对大量需要的物质,被称为大量营养素。营养物的量,如果处在一个适当的水平上,则对于人体健康和自然生态系统的持续运作是必要的。

营养物的量可能处于过量、限量或最佳水平上,这取决于受纳水体的特征。合适的初级生产力对于支持食物链中所有其他营养级以及健康、多样和有生产力的生态系统至关重要。营养物不足将导致初级生产者(即植物,包括浮游植物和水下的水生植被)的生长达不到最佳水平。营养物负荷过大将导致大型植物或浮游植物和有潜在危害的藻华过量生长,并使水体缺氧、捕食者与被捕食者物种失衡、对公众健康构成威胁以及水资源质量整体下降。当营养物输入量超过水系统的同化能力时,系统将向富营养化状态发展。其症状包括初级生产者过多、生物多样性减少、藻类暴发、溶解氧下降、水体暂时性缺氧、维管束植物消失、鱼类死亡(Walker et al, 2007)。有关调查显示主要因素是初级营养物磷和氮的浓度过高。因人类活动而非自然的时空变化所造成的营养物过量问题正是营养物基准研究所关注的问题,而人为富营养化问题是管理工作最重要的一个主题(USEPA, 1998a)。

营养物基准的概念是基于营养物在湖泊、水库、河流和湿地等水体中的变化产

生生态效应危及水体功能或用途而提出的,营养物基准是指对水体产生的生态效应不危及其功能或用途的营养物浓度或水平,可以体现受到人类开发活动影响程度最小的地表水体富营养化情况。“营养物基准”一词旨在以其最广泛的意义来阐释相关概念,这其中既包括法律上的解释,也包括科学上的解释。从法律角度来说,营养物基准是一个数值,在制定水质标准时为某一特殊的有益的指定用途提供支持。氮和磷是富营养化的最主要因素,并且是营养物基准的主要变量,但是生物响应变量在说明富营养化的结果时也十分重要。从科学角度来说,营养物基准旨在涵盖原因变量和响应变量(如氮或磷的浓度)以及水生群落反应参数(但不仅仅限于这些参数),如藻类生物量、叶绿素 a 和透明度(USEPA,2000a,2000b)。

1.2 水体营养物基准的内涵

在所有水生生态系统中,某些整体过程决定了究竟是氮还是磷是具有限制性的营养素,可用氮和磷的摩尔比值($N:P$)来表示。对海洋系统中的初级生产者而言,氮和磷的摩尔比值约为 $16:1$ 。在淡水系统中,磷的限制性趋向于更大一些, $N:P$ 大约高达 $26:1$ 。与上述比值明显相差的生态系统,很可能遭遇到氮或磷的营养限制(即在海洋或河口水体中,如果 $N:P$ 小于 16,则氮可能是限制性的;如果 $N:P$ 大于 16,则磷可能是限制性营养物)(USEPA,2000a)。氮、磷等营养物质对水生生物的毒理作用相对较小,其危害主要在于促进藻类的生长而暴发水华,从而导致水生生物的死亡和水生态系统的破坏。因此,防止水体富营养化的营养物基准主要基于生态学原理和方法来制定,而不依赖于生物毒理学方法。

当水域生态环境因诸如植被改变、沉积物转移、肥料使用、工业化、城市化、森林和草地转变成耕地或造林等发生改变时,水质会受到影响。人为富营养化是引起地表水损害的主要因素之一,主要源于点源和非点源营养物污染。非点源污染物输入在近年来有所增加并且致使许多水生生态系统的水质降低,最常见的非点源营养物是间歇性的,通常与季节性农业活动或其他不定期发生的事件相关联,比如降雨。

水生系统中氮和磷的循环使营养物的控制进一步复杂化,沉积物或微生物转化可将营养物重新引入到水体中,即使是在污染源减少之后,潜在的恢复期也需要很长时间。在流动系统中,营养物可迅速流往下游。营养物投入的影响可能是与营养物源相分开的,认识到营养物投入和一般水体反应之间的因果关系是减轻人为富营养化影响的第一步。确定了这些关系之后,可以制定出营养物基准,以保护水体。

氮和磷是富营养化的最主要因素,应作为营养物基准的主要候选变量,但是生物响应变量在说明富营养化的结果时也十分重要。例如,湖泊中藻类生物量与磷

的多少密切相关,同样,水体的透明度是根据藻类浓度而变化的。在一般的湖泊中,透明度的变化主要源于水体中悬浮的藻类数量的差异,它能非常好地表征湖泊的富营养化程度,所以透明度是湖泊营养状态评价常用的一个变量,也是识别湖泊营养状况及趋势最好的变量之一。因此,将营养物和湖泊生态系统的反应信息相结合可得出最有权权威性的综合性基准。

在基准指标中,仅使用原因变量或仅使用响应变量都容易导致水体的“过保护”或“欠保护”(USEPA,2000a,2000b,2007)。有的水体可能满足了原因变量的基准,但是不能满足生物响应变量的基准。例如,被藻类聚集体覆盖的水体,有可能其中原因变量活性氮和磷的量较低,因为它们被结合在生物中,为了避免这个问题,可选择总氮和总磷作为原因变量。另外,在快速流动的高度营养物富集的系统,当只测定生物量和溶解氧时是可以接受的,但是当这些营养物输送到下游的水体时,营养物负荷就会使受纳水体恶化。因此,在基准指标中应统筹考虑原因变量和响应变量,并加上季节性变化等影响因素,这将增强确定的营养物基准指标的科学性。

就营养物来说,整个国家固有的营养物水平和营养物反应有很大的差异性。这一自然差异性是由地质、气候与水体类型的差异引起的。正是由于这一差异,通常推荐单个的污染物控制浓度值,支持全国范围内水体的保护和管理的方式,不适用于水体营养物基准的制定。需要在不同生态区域,就湖泊、河流、湿地和沿海水域等水体类型进行系统分类,为营养物变量(如总氮、总磷、叶绿素a、透明度或浊度)制定合适的营养物基准,推荐性的营养物浓度水平必须反映出地理差异和水体类型(USEPA,1998c)。

1.3 水体营养物基准制定的关键要素

水体营养物基准制定不同于毒理学基准,要综合考虑地理区域、水体类型、基准指标、制定方法以及管理与评价等关键要素。营养物的生态效应在不同地理区域具有明显的差异,制定营养物基准首先需要考虑地理区域的差异性,按照营养物的效应进行科学的分区,在一个特定的区域单元制定营养物基准。由于不同的水体类型的营养物生态效应存在差异,可以将水体分为溪流与河流、湖泊与水库、河口与沿岸海域和湿地等几种类型,然后分别制定营养物基准。营养物基准指标需要综合分析不同区域和不同类型水体的特征和差异分别确定。营养物基准的制定方法要根据不同区域水体特征、人类扰动程度和污染现状采用不同的技术方法,同时要结合不同类型水体中营养物的循环转化过程 and 影响因素的差异。

第2章 水体营养物基准的发展历程

水体营养物基准自20世纪末由美国率先提出并编制技术指南后,欧洲各国和中国等相继开展了营养物基准相关研究工作。水体营养物基准完善了水质基准体系,规范了营养物削减和富营养化防治综合管理体系,推动了水体富营养化的控制和生态恢复工作。水体营养物基准反映了水体富营养化研究、水体保护和管理最新进展。随着营养物基准研究的深入,理论和方法学已经逐渐形成,并将不断发展和完善。

2.1 国外水体营养物基准的发展历程

2.1.1 美国水体营养物基准

美国是最早开展环境基准研究的国家之一,作为环境基准研究的萌芽,1907年研究了工业废水对鱼类的影响,其后,又研究了至少上百种化学物质对水生生物的毒性效应。20世纪50年代,美国加利福尼亚州发布了第一本“水质基准”报告,随后,美国相继发表了“绿皮书”、“蓝皮书”、“红皮书”和“金皮书”等一系列水质基准文献,对众多水体污染物的基准限值进行了限定,最新的美国国家水质基准发布于2009年。

目前,美国环境保护局(USEPA)共提出了165种污染物的基准,包括保护水生生物的水质基准、保护人体健康的水质基准、防止水体富营养化的营养物基准和生物基准等,其中涉及合成有机物(106项)、农药(30项)、金属(17项)、无机物(7项)、基本物理化学特性(4项)和细菌(1项)等(孟伟等,2006)。根据基准的制定特点,水质基准划分为两大类:一类是毒理学基准,一类是生态学基准。前者是在大量科学实验和研究的基础上制定出来的,根据保护目标的不同,分为人体健康基准和水生生物基准;后者是在大量的现场调查的基础上通过统计学分析制定出来的,包括营养物基准和生态完整性评价基准等。根据表述方式的不同,水质基准还可分为数值型基准和叙述型基准,其中数值型水质基准因为便于管理而成为最普遍的形式,在无法推导或不便采用数值型基准时,可使用叙述型基准。

1998年6月,美国环境保护局颁布关于编制科学信息[即根据《清洁水法》第304(a)条的基准文件]“制定区域营养物基准的国家战略”(USEPA,1998c),介绍了其在编制营养物的信息以及与各州和印第安各部落合作以采纳作为国家水质标准的一部分的营养物基准时所遵循的方法。

美国湖泊营养物基准制定程序,首先确定湖泊在各营养阶段的指示性指标,主要选取 TP、TN 和其他营养物参数如叶绿素、透明度或能反映富营养化初级生产力的藻类生物量等指标,统筹考虑有机碳、溶解氧(DO)、大型水生植物生物量和种类、生物群落的结构、土地利用、对下游水域的影响、季节性变化等影响因素,研究湖泊不同营养阶段相互转化的营养物阈值;综合运用多元统计分析、古湖沼学重现、模型推断等方法,建立各分区湖泊营养物基准指标的参照状态(Paul and Gerriksen,2002; USEPA,2000a; Dodds et al,2006; Dodds and Oakes,2004)。

美国的营养物基准分为湖泊水库、河流、河口海湾和湿地四种类型。以湖泊水库为例,首先是确定生态区内的参考湖泊的条件,对生态区内的参考湖泊进行现场调查,然后对参考湖泊的营养物水平进行频数分布统计分析,将上 25%点位对应的值作为基准推荐值。在实际情况中,如果参考湖泊数量不足,可以对所有湖泊进行频数分布统计分析,此时是将下 25%点位对应的值作为营养状态基准值。

USEPA 采用基于频数分布方法对以生态分区为单元的所有收集到的湖泊的数据进行分析,制定了全美 14 个一级生态分区总磷(TP)、总氮(TN)、叶绿素 a(Chl a)和透明度(SD)的基准建议值(表 2-1)(USEPA,2000a)。从表中可见,不同分区同一基准指标值可以存在十分明显的差异。通过一些Ⅲ级生态分区的众多数据发现,大尺度生态分区内可变性也很高。因此,USEPA“推荐各州和部落在Ⅲ级生态分区规模和具备易利用数据的水体分类上制定营养物基准”。目前有些州已分到了Ⅳ级区。

表 2-1 美国 14 个水生态集合区的湖泊水库营养状态基准值

水生态集合区	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	XIII	XIV
总磷/(μg/L)	55	8.75	17	20	33	37.5	14.75	8	20	60	8	10	17.5	8
总氮/(mg/L)	0.66	0.1	0.4	0.44	0.56	0.78	0.66	0.24	0.36	0.57	0.46	0.52	1.27	0.32
叶绿素 a/(μg/L)	4.88	1.9	3.4	2	2.3	8.59	2.63	2.43	4.93	5.5	2.79	2.6	12.35	2.9
透明度/m	2.55	4.5	2.7	2	1.3	1.36	3.33	4.93	1.53	0.8	2.86	2.1	0.79	4.5

在美国,不同用途的湖泊基准可以不同。以湖泊水库总磷基准为例:对于湖泊保护区和饮用水而言,其营养物基准要求可能严于生态区的基准,接近于水体的天然状态。而对于灌溉和防洪功能的湖泊水库而言,水体富营养化对其灌溉和防洪功能影响较小,在此情况下营养物基准值可被制定得很高,接近于极富营养化水平。当然,湖泊水库往往具有多种功能,需要根据最严要求的功能确定湖泊水库的营养基准(图 2-1)。

美国在 1998 年确定了区域性营养物基准的国家战略之后,用八年的时间先后完成了湖泊水库(2000 年 4 月)(USEPA,2000a)、河流(2006 年 7 月)(USEPA,

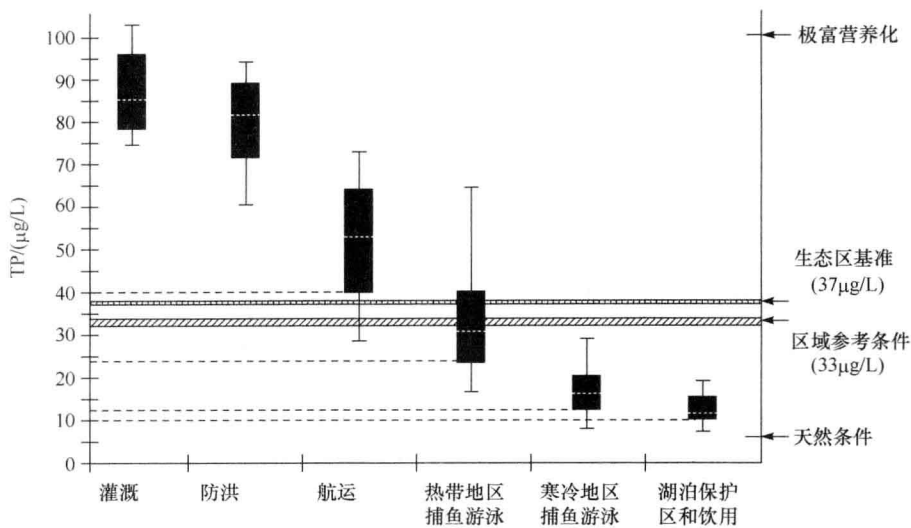


图 2-1 湖泊水库特定用途总磷基准

2000b)、河口海湾(2001 年 10 月)(USEPA, 2001)和湿地(2006 年 12 月草案)(USEPA, 2007)的营养物基准技术指南(表 2-2)。

表 2-2 不同类型水体营养物质基准比较

水体类型	分类	营养物质基准 主要指标	营养物质基准 其他指标	数据分析	基准建立
河口和沿海水域	系统稀释和水力停留时间,或流动速率;单位面积营养物负荷率;垂直混合和分层;藻类生物量;与海洋植物栖息地有关的波浪暴露情况;水深分布等	原因变量(TP、TN);响应变量(透明度、DO、大型底栖动物)等		频率分布;相关分析和回归分析;显著性检验	现场观测;区域负荷
湖泊和水库	地理分区:国家生态分区(地质、水文、气候等);亚区(营养物浓度、土壤和土地利用情况) 非地理分区:湖泊起源;非营养物水化学指标;非藻类浊度(SS)	TP、TN、叶绿素、透明度或能反映富营养化初级生产力的藻类浊度等	有机碳、溶解氧(DO)、大型水生植物生物量和种类、生物群落的结构、土地利用、对下游水域的影响、季节性变化	历史数据的相容性分析;湖泊对营养物的生物响应关系;以箱线图为基础的统计分析	历史数据调查;确定参考条件;模型预测;专家评估;考虑对下游水域的影响