



流域水生态 环境质量监测与 评价案例研究

MONITORING AND ASSESSMENT OF
AQUATIC ENVIRONMENTAL QUALITY
IN TYPICAL WATERSHED

王业耀 主编



科学出版社

流域水生态环境质量监测 与评价案例研究

王业耀 主编



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书总结了国外流域水生态环境质量监测与评价的研究进展,提出了我国流域水生态环境质量监测与评价方法体系,并以辽河、太湖以及松花江流域为典型案例示范研究。书中除理论方法的阐述,还列举多个实际研究案例,力求使读者不但对目前流域水生态监测与评价研究的理论知识有较全面的掌握,而且可以将书中的知识应用在实际的环境监测工作中。

本书可供环境科学、生态学、生物学、农学和资源保护等学科领域的研究者、管理者、实验技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

流域水生态环境质量监测与评价案例研究 / 王业耀主编. —北京: 科学出版社, 2018.9

ISBN 978-7-03-058916-3

I. ①流… II. ①王… III. ①区域水环境—环境监测—案例—中国 ②区域水环境—环境质量评价—案例—中国 IV. ①X832 ②X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 218600 号

责任编辑: 朱 丽 李丽娇 / 责任校对: 杨 赛
责任印制: 张 伟 / 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

北京建宏印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 9 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2018 年 9 月第一次印刷 印张: 17 1/2

字数: 350 000

定价: 128.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

编 委 会

主 编 王业耀

副主编 金小伟 李旭文 李中宇 卢 雁

编 者 (按照参与编写章节顺序排列)

金小伟 许人骥 阴 琨 王业耀

姜永伟 卢 雁 蔡 琨 李旭文

李中宇 魏 楠

校 核 王俊才 秦保平 王春利 邵开忠

前 言

20 世纪 80 年代,许多发达国家水环境管理的重点由水质保护拓展到了生态系统的恢复,开始强调用生态工程方法恢复水环境的生态系统,回归河流的自然功能,在流域水环境中开展生物监测也成为发达国家环境监测发展的一个重点。20 世纪 80 年代,国家环境保护局也颁布了《生物监测技术规范(水环境部分)》,组织编写了《水和废水监测分析方法》和《水生生物监测手册》等指导性技术资料,并以以上资料为参考,组织国内部分监测系统的同事一起,在全国 27 条河流、31 个湖库开展了生物监测,并在水生生物种群调查、水质微生物监测和生物毒性试验等方面形成了一定的监测能力,但这部分技术尚未形成系统的、标准化的监测体系。

从 20 世纪 80 年代到 21 世纪初,发达国家和地区先后提出了“环境监测与评价计划”(Environmental Monitoring and Assessment Program, EMAP)(美国)、“国家水资源调查”(National Rivers and Streams Assessment, NRSA)(美国)、“水框架指令”(Water Framework Directive, WFD)(欧盟)、“国家河流健康计划”(National River Health Program, NRHP)(澳大利亚)等很多侧重于流域生态环境保护的法律及政策,推动了一批如“快速生物评价方案”(Rapid Bioassessment Protocols, RBPs)(美国)、“河流保护评价系统”(System for Evaluating Rivers for Conversation, SERCON)(英国)、“澳大利亚河流评价系统”(Australian River Assessment System, AUSRIVAs)(澳大利亚)等水生态监测与评价技术方法的完善和成熟。这二十年间,我国在环境监测技术方面形成了比较系统和完善的化学物理监测技术体系,但由于各种原因,生物监测的业务化程度并未同理化监测一样得到迅速发展和提高,相应的标准和监测技术方法、规范都比较欠缺,只有东北三省和东部沿海部分省市开展了水环境生物监测,但是监测项目相对比较单一,生态监测领域基本属于空白,虽然有部分遥感信息的应用,但是对基于地面生态完整性的水生态监测,如监测指标体系的确定、指标数据的获取和评价体系的建立等,仍有大量的基础性研究工作需要完成。

随着 2003 年“无锡太湖水华事件”、2005 年“松花江水污染事件”等重大环境事件的发生,国家环境管理部门和社会民众对水生态环境的关注也在逐渐提升,如何监测与评价水生态环境质量也就成了一个亟待解决的重大问题。国家 863 计划、“水体污染控制与治理科技重大专项”在“十一五”“十二五”期间安排了不

少相关的研究工作,2011年,环境保护部开展松花江流域水生生物试点监测工作,也是对流域水生态环境质量监测与评价的一次重要尝试。为了满足国内日益增长的流域水生态环境监测与评价方面的技术需求,在这些重要技术成果的基础上,中国环境监测总站于2014年6月印发了《流域水生态环境质量监测与评价技术指南(试行)》,在全国各大流域示范推广。同时组织相关科学技术研究单位共同编写了《流域水生态环境质量监测与评价技术指南》和《流域水生态环境质量监测与评价案例研究》。

本书第一章“流域水生态环境质量监测与评价方法”由中国环境监测总站负责编写(金小伟,王业耀);第二章“辽河流域水生态环境质量监测与评价”由辽宁省环境监测实验中心负责编写(姜永伟,卢雁);第三章“太湖流域水生态环境质量监测与评价”由江苏省环境监测中心负责编写(蔡琨,李旭文);第四章“松花江流域水生态监测与评价运行示范”由黑龙江环境监测中心站负责编写(李中宇,魏楠)。

虽然本书难免会有挂一漏万的情况,但它是推动国内开展流域水生态环境质量监测与评价的有益尝试,相信随着全国更多的流域加入水生态环境质量监测工作中,本书内容也会随之得到不断补充和完善,为环境管理提供更有效的技术支撑。

作者

2018年5月

目 录

前言

第 1 章 流域水生态环境质量监测与评价方法	1
1.1 河流水质相关概念	1
1.1.1 水质概念	1
1.1.2 水质参数	1
1.2 河流生态健康	2
1.3 流域水生态环境质量监测与评价研究进展	3
1.3.1 国外研究状况	3
1.3.2 国内研究进展	7
1.4 我国流域水生态环境质量监测与评价方法构建	9
1.4.1 监测体系构建	9
1.4.2 评价方法构建	13
1.5 展望	16
参考文献	17
第 2 章 辽河流域水生态环境质量监测与评价	21
2.1 汤河、柳壕河研究区	21
2.1.1 实施方案	21
2.1.2 监测及评价结果	26
2.2 2014 年辽河流域示范研究	39
2.2.1 实施方案	39
2.2.2 监测及评价结果	43
2.3 2015 年辽河全流域示范研究	63
2.3.1 实施方案	63
2.3.2 监测及评价结果	66
第 3 章 太湖流域水生态环境质量监测与评价	135
3.1 长荡湖、溇湖、竺山湖研究区	135
3.1.1 实施方案	135
3.1.2 监测结果	143
3.1.3 评价结果	175

3.2	太湖水生态环境监测运行应用示范	204
3.2.1	实施方案	204
3.2.2	监测结果	207
3.2.3	评价结果	213
第4章	松花江流域水生态监测与评价运行示范	217
4.1	实施方案	217
4.1.1	监测范围	217
4.1.2	监测项目	218
4.1.3	监测时间	219
4.1.4	采样要求	219
4.1.5	鉴定要求	220
4.1.6	数据上报	220
4.2	监测及评价结果	221
4.2.1	流域水质概况	221
4.2.2	流域内河流着生藻类群落特征	222
4.2.3	流域内湖库浮游植物群落结构特征	236
4.2.4	藻类植物水质生物学评价	240
4.2.5	藻类植物评价结果年际比较	241
4.2.6	松花江流域底栖动物群落特征	246
4.2.7	松花江流域底栖动物综合评价	260
4.2.8	水生态综合评价	267

第 1 章 流域水生态环境质量监测与评价方法

1.1 河流水质相关概念

1.1.1 水质概念

水质 (water quality) 是水体质量的简称。它标志着水体的物理 (如色度、浊度、臭味等)、化学 (无机物和有机物的含量) 和生物 (细菌、微生物、浮游生物、底栖生物) 的特性及其组成的状况。

1992 年由联合国教科文组织、世界卫生组织和联合国环境规划署共同出版的《水质评价指南》(Water Quality Assessments) 一书将“水质”定义为“水环境的总体质量”(overall quality of the aquatic environment)。我国环境水质学的开拓者汤鸿霄指出,“水质一词通常具有双重含义:一为水的性质,即水及其中所含物质构成的综合特性;另一为水的质量,即人类现代生产与生命保健对水质特性要求的水平”^[1]。《现代水环境质量评价理论与方法》指出,水质是指水体的物理、化学和生物学的特征和性质^[2]。

河流污染是指由工业废水、生活污水、农田排水及其他有害物质进入河流水体,超过河流的自净能力而引起的水质恶化现象。其特点为:①污染程度随径流量而变化,一般径流量大,污染轻;②污染物易扩散;③污染的影响危害大,污染水体通过人畜饮用、灌溉,经食物链作用、危害人体健康;④污染易控制,河流交替快、自净能力强,只要治理措施得当,可以较快恢复^[3]。

目前,人类活动是对水质最主要的影响,且这些影响具有全球性。

1.1.2 水质参数

水质参数的分类方法较多,根据水质物理、化学及生物学特征,可分为物理参数、化学参数和生物参数。按污染物化学性质可分成无机物、有机物和重金属。

水质的物理参数是指用各种物理方法测得的与水生生物栖息地有关的水质信息,如光在水中的散射情况、水的颜色、温度、电导率(KSC,水在 25℃时传输电流的能力,其大小由水中带电荷溶质的总浓度决定)、水体中悬浮物的数量和粒径分布、水的密度、水的流量及水流的动力状况、水面的坡度、水体底部沉积物的特点与河床地貌等。

水质的化学参数是指用各种化学分析方法所测得的水质信息。化学分析的介质包括通过 0.45 μm 孔径滤膜的过滤水样品 (filtered water)、原水样品 (raw water)、水体中的颗粒物样品及生物体样品 (生物组织的样品和生物体总样品)。化学分析的组分包括无机化合物、有机化合物、金属、元素的同位素与放射性核素等。

水质的生物参数是指水体中的生物种群数量、分布及其健康状态 (繁殖率、存活率、生长速度等)。生物参数监测和评价手段具有化学监测和评价无法比拟的优势, 已越来越受到重视, 并逐步得到应用。

1.2 河流生态健康

自 20 世纪 70 年代起, 美国水污染防治修订案 (US Water Act, section 101 (a)) 便提出“河流健康” (river health) 的理念。由于河流本身的变化性以及各个国家、地区自身地理条件、基本国情及价值观判断的差异, 至今国际上对于河流健康的内涵仍没有达成统一的认识。Simpson 等把河流受扰前的原始状态当作健康状态, 认为河流健康是指河流生态系统支持与维持主要生态过程, 以及具有一定种类组成、多样性和功能组织的生物群落尽可能接近受扰前状态的能力^[4]。

Karr^[5]则将生态学的基本概念纳入河流健康中, 提出只要河流生态系统当前的使用价值不退化且不对其他系统产生影响, 虽其完整性有所破坏, 河流仍可认为是健康的; 而 Schofield 则认为河流健康是与相同类型未受干扰的河流的相似程度^[6]。Meyer 和 Vugteveen 将河流对人类社会的服务价值纳入河流健康的内涵中, 即健康河流在维持其生态系统结构和功能的同时, 要满足人类与社会的需要和期望^[7, 8]。由于任何生态系统都不是孤立存在的, 尤其是河流所处的流域生态系统内, 各部分相互结合、相互作用, 因此, 近年来有学者将河流健康的评价尺度扩展至流域健康上, 认为因为流域决定河流, 有什么样的流域就有什么样的河流, 同时要维持一个健康的河流生态系统, 首先应该有一个健康的流域环境, 而健康的河流又是健康流域的基础, 进一步拓宽了河流健康的内涵。

虽然不同国家和学者对于河流健康的内涵定义存在差异, 但归根于两个方面, 一方面是指河流自身生态系统的完整性, 在时间和空间的变化过程中是否能够保持其各项指标和功能, 即侧重于河流的生态系统; 另一方面是河流的社会价值, 是否能够满足人类日益增长的物质需求, 即可持续性。因此, 总的来说, 河流系统不一定要恢复到原始状态才是健康的, 而应该是能维持其结构功能的一种可持续状态, 这也是被评价河流的合适的环境管理水平。我国拥有多条跨行政边界的河流, 这些河流在不同的空间区域内再加上不同的人文环境, 可能对河流评价的内涵存在差异, 进而影响到具体的环境管理措施。例如, 河流上游水源地区段, 河流健康则应更侧重于河流生态系统是否完好, 尽量避免人为干扰, 将它划为保

护带进行环境管理；而在河流下游区段，由于防洪和娱乐的需求，应在保证一定河流生态条件的情况下，进行河道的人工堤坝化。因此，在进行河流健康评价时，根据实际情况明确河流健康的内涵，对其评价是十分必要的，也是河流管理的目标和方向。

1.3 流域水生态环境质量监测与评价研究进展

1.3.1 国外研究状况

20世纪80年代，西方国家水环境管理的重点由水质保护拓展到了水环境生态系统的恢复，开始强调用生态工程方法恢复水环境的生态系统，回归河流的自然功能。1977年英国有学者开展利用大型底栖动物监测河流生物质量和利用理化指标预测生物种群的研究，在积累大量数据和经验的基础上，创建了RIVPACS预测模型评价方法^[9]。随后，澳大利亚在RIVPACS基础上开发出Aus Riv AS方法^[10]。1994~1997年英国和爱尔兰开展了河流生境状况的调查研究，南非于1994年实施了“河流健康计划”，开展了河流健康监测的相关技术研究^[11]，在这些早期的研究中，积累了大量的经验和生物、生境、水文的数据，并开发形成了一些技术方法，为后期“水框架指令”的推行奠定了技术基础。随着水生态质量调查研究的进行，欧盟各成员国对于用水、水污染和水资源退化所引发的分歧和争议成为欧盟关注的重点，最终促使欧盟颁布了“水框架指令”（WFD）。美国Karr^[12]于1981年研究提出了基于河流鱼类完整性指数（F-IBI）的评价方法，并相继发展出底栖生物完整性指数（B-IBI）^[13]、藻类完整性指数（D-IBI）^[14]。基于IBI方法的发展，美国国家环境保护局在1999年推出RBPs评价方法，IBI作为河流生态状况监测的基础得到广泛应用。目前，IBI已经发展出多类群生物组合，如浮游动物和浮游植物^[15]、大型底栖生物、鱼类和藻类^[16]。

1.3.1.1 欧盟“水框架指令”

“水框架指令”中提出了以流域综合管理为核心，以维持生态系统良好状态、实现水资源可持续利用为目标的多要素综合评价方法，并以生态监测结果作为水资源管理策略是否有效的评价标准^[17]。WFD对生态质量状况评价的特点在于，体现了多要素综合评价的意义，强调了流域尺度综合管理，遵循多要素最低评价原则。这种评价体系以一种更为严格的方式处理了理化评价结果和生物评价结果的关系。WFD在支持流域综合管理和发展多要素综合评价方面都非常有意义。

在WFD发布后，欧洲国家根据框架的要求开展各自的方法研究。诸多学者的研究中发现了多要素综合评价的优势和缺陷；同时，也有学者开展了新方法的

研究,推进了 WFD 的应用。首先,多要素评价方法可以帮助发现水生态系统中究竟是哪个要素受到了干扰,并影响了水体生态质量;评价结果可以有效支持后期的水资源和水生态修复和管理。多个国家的应用研究已经表明多要素评价在这方面的应用价值。丹麦^[18]的研究发现,Odense 流域大多数河流生物要素基本可以达到良好的状态,水质清洁,但由于部分河流的物理生境条件不足,直接造成河流生态状况无法达到优良。研究表明,物理生境可能对生物质量形成潜在的威胁,为下一步对 Odense 流域管理和修复提出了方向。瑞典^[18]在对 Stensan 河的研究中发现,在某些生物指标和水质化学指标相对良好的水域,水文质量较差,成为直接影响流域生态质量的因素。研究结果为管理部门对 Stensan 河的修复和治理提供了重要数据。对 WFD 方法的应用结果显示,以最低评价原则评价后瑞典大量的湖泊和水体都未达到优的状态,某些生物指标显示出优良状态的区域,由于水文条件的影响,其生态状况无法实现优的目标。芬兰^[18,19]通过多要素评价,发现河流水文和地貌要素的变化程度比生物和水质要素更严重,从而决定从加强水文地貌的管理和采取必要的修复措施等方面来改善目前国内的河流生态质量。德国^[18-20]利用多要素综合评价,根据各要素评价的质量状况,将水体划分为不同的类型(如河流形态退化、生物退化、生物状态良好等),为后期确定不同类型受干扰水体的修复和治理措施及目标。应用研究结果表明,虽然德国现在已经开展了三要素的评价体系的应用,但德国目前开展的 WDF 评价方法仍然是试验性应用^[18]。这些研究表明,多要素评价为国家流域生态质量的管理和修复提供了非常有价值的信息。另外,WDF 方法也存在一些缺陷,其评价的准确性受基础数据量和参照条件确定的影响。例如,芬兰在河流生态质量状况的评价中采用专家判定的方法来确定参照位点^[18],结果发现,专家确定生物参照位点存在不合适的情况,使得研究对河流实际生态质量状况产生了过高评价,影响了评价的准确性。WFD 提出的这种方法虽然被证实在参考样点缺乏的区域是有效的,但是此方法同时存在主观性强和缺乏定量判定措施等缺点^[21]。德国的研究指出^[18],由于生物监测数据的缺乏,无法完全采用多要素评价方法来准确评价河流生态状况。丹麦学者的研究也发现,由于缺乏参照位点的数据信息、缺乏水质分级的足够数据和生物指标指示性的研究数据,在丹麦河流的研究中,在欧洲和北美广泛应用的大型植物或鱼类完整性指数无法采用^[22],只能采用单要素和两要素评价^[23,24]。有学者为促进欧盟推出统一的、可比的分类方法,开展了“相互校准”方法的研究^[25],这种方法可以实现将各类用于生物质量要素评价分类系统工具统一成可互相比较的良好状况等级界限,相互校准的结果应用在流入管理规划中,可以帮助完成各国评估结果的相互比较和校准,更好地实现流域的管理和评价^[21]。

WFD 评价方案是一项长期的监测方案,虽然 WFD 存在一些缺陷,在跨界河流的评价与管理中也存在很多突出的矛盾情况^[26],但 WFD 采用的多要素评价方

法可以为水资源和水生态修复及管理提供有利的支持（如参照状态的确定），推动了水生态质量监测评价向综合评价体系的转变，是流域水环境监测评价发展的方向^[27]。WFD 对我国河流生态质量评价体系的意义在于，其在流域尺度的评价和水生态系统中受干扰因素的确定等方面为我国提供了很重要的参考。

1.3.1.2 美国快速生物评价方案和生物完整性指数

美国河流快速生物评价方案（RBPs）^[28]是基于生物完整性指数（IBI）来进行监测和评价的，IBI 指标体系包含了着生藻类、底栖动物和鱼类 3 个生物类群。RBPs 整个调查内容包括 11 项生境指标、45 项候选生物指标、多项化学指标。IBI 可弥补单指标生物评价通常具有高的可变性的缺点，具有比较高的稳定性^[29]，同时，采用多类群组合，IBI 可以提供不同压力综合影响的结果，其限制因素是评价的准确度依赖参照状态的确定^[30]。随着 IBI 研究的深入，在评价体系方面，IBI 由最初鱼类完整性指数^[12]发展到不同生物类群的完整性指数，由单类群发展到多类群组合，如大型底栖动物、硅藻和鱼类，水生大型植物^[31]、浮游动物和浮游植物，大型底栖动物、鱼类和藻类。在适用性研究方面，开展了 IBI 在可涉类河流、不可涉类大型河流及不同尺度范围的适用性研究。美国学者在国家可涉河流评估行动中^[32]成功应用大型无脊椎动物完整性指数（M-IBI）对国内总长 1.08×10^6 km 的可涉类河流进行了评价，证明了 M-IBI 在可涉类河流中的适用性，研究结果为评价清洁水法案目标的完成情况和判定其他国家政策的有效性提供了重要的数据和信息。巴西学者利用大型底栖生物完整性指数（B-IBI）对森林覆盖区的溪流进行了生物评价，在 Guapimirim、Macaé 和 Grande 三个流域内研究表明，B-IBI 对于溪流类河流的生物质量评价是有效的，方法有效区分出不同程度的干扰位点^[33]，为后期河流的管理和修复提供了河流生态受损位点和程度的重要信息。对溪流上游河段的研究，比利时学者 J. Breine 等^[34]采用鱼类完整性指数（F-IBI）研究分析了生境质量与生物指数间的相关性，验证了评价体系的有效性，表明 F-IBI 可以有效区分优良位点及不同程度的受损位点，认为 IBI 评价方法是对生态评价的一个重要的方法补充，且不仅适用于溪流下游河段，也同样适用于对溪流上游区域生态质量的评价。针对不可涉大型河流的评价，Weigel 和 Dimick^[35]在美国威斯康星州的研究证明了 M-IBI 评价方法在不可涉类大型河流生态质量监测评价中的有效性和适用性。研究为 IBI 方法在大型河流监测计划中的应用提供了非常重要的参考，同时也为 IBI 在大型河流环境管理和成效评估提供了重要的方法。除了在河流尺度的研究，韩国有学者开展了国家尺度河流健康监测评价研究，涉及全国范围多个水系 388 条溪流。研究在敏感性和有效性方面成功验证了 M-IBI 在国家范围溪流类河流评价中的适用性，表明 M-IBI 是一个非常有效的评价方法，适用于国家范围的长期监测计划，在

更多河流中可开展更广泛的应用^[36]。在 IBI 适用性研究中,很多学者也分析了阻碍 IBI 发展和应用的一些因素:缺少标准来定义和确定参照状态;缺少对流域中各参数敏感性和冗余度的信息资料和统计分析;缺乏对参照条件自然变化的评估分析;生物采样的方法缺乏标准化和规范化;基于 IBI 的研究很多是根据研究区域的特点采用了各自的指标参数用于评价,不同的指标体系使得在全球范围很难对评价结果进行比较分析^[37, 38]。这些因素都阻碍和制约了多指标评价方法在河流生物监测和生物评价中的发展和应用。

1.3.1.3 预测模型评价方法

英国 RIVPACS 与澳大利亚 Aus Riv AS 是预测模型评价方法的代表。RIVPACS 是由英国淡水生态研究所提出和建立的^[32], Aus Riv AS 是在 RIVPACS 基础上发展起来的、更适应澳大利亚河流特点的评价方法。预测模型方法在澳大利亚和英国得到了广泛的应用^[34],但仍具有一定的局限性。模型利用单一物种(底栖无脊椎动物)对河流健康状况进行评价,当这类生物对河流的变化没有敏感的响应时,这类方法就无法反映河流真实状况,这是评价预测模型法的一大缺陷^[35, 36]。RIVPACS 和 Aus Riv AS 方法已经越来越多地被应用到生物监测计划中,英国、澳大利亚及美国都开展了应用^[39],涉及的变量也各不相同^[40, 41],使得方法更适用于各自的河流特点。在可涉河流的研究中,一些学者基于大量的生物数据和大量的位点资料开发了预测模型方法,远不是单次的调查数据。调查分析了九年间来自 925 个监测位点的积累数据^[42]。为确保模型的准确性,研究还采集了大量数据用于模型的校准、模型的验证及对参考位点 O/E 值变化的检查。研究结果表明,方法在空间和时间上都可以准确、精确地检测到干扰和压力的影响,可以在较广阔和生态多样性区域进行有效评估,证明了模型方法的有效性和适用的广泛性。澳大利亚威廉姆斯河和阿莱恩河的评价研究也显示, Aus Riv AS 方法在监测河流干扰影响、帮助制定河流管理目标中是非常有用的,在评价河流健康方面是一种非常有效的定量评价方法。虽然一些学者的研究表明了预测模型方法在河流生态质量评价以及河流管理中的重要作用,但也有另一些学者的研究发现了方法的一些缺陷。例如,有学者在维多利亚境内河流的研究发现,预测模型的建立受到空间尺度和环境梯度的影响,所以一个预测模型仅适用于特定的空间区域,不能外推到不同空间尺度^[43],而且预测模型方法非常依赖环境类型和大型无脊椎动物组成间的关系^[44],表明不同类型的环境区域需要建立不同的模型,在流域和国家尺度范围用同样的方法进行河流监测会存在适用性差的问题。此外,模型建立需要连续多年的数据资料的积累才能实现方法评价的敏感性和准确性,若缺乏足够的环境数据和生物数据,如只有一年监测数据或单次监测数据,则模型预测方法不能准确判定干扰范围,评价的敏感性也不够^[45]。葡萄牙学者的研究也发

现了类似的问题,在蒙德古河(Mondego River)流域开展的研究发现,由于缺乏参照位点的数据,模型在流域下游地区的评价效果不佳,未能很好地判别出干扰位点^[46]。预测模型方法可以对一个特定环境类型进行准确的评价,也可以用于长期的监测评价,但是需要长期全面的生物监测数据作基础。在缺少数据基础和背景信息区域以及在流域和国家尺度范围开展河流监测评价方法仍存在一定的缺陷。

1.3.2 国内研究进展

国内近几年才逐渐开展从河流健康角度评价河流生态系统的研究,主要在河流生态健康基础理论、河流生态健康评价体系的建立方法及评价方法的应用三方面开展了工作。2003~2006年,国内研究集中在总结和探讨国外有关河流生态健康和河流生态完整性概念的提出和发展以及对河流健康内涵的多种定义和理解等方面^[47-49],汇总了现有研究对河流生态健康的不同理解,但对其内涵主要还是定义为生物完整性和可持续性^[50],与未受人为干扰河流的相似度,以及生态中的生物完整性、生境状况和化学参数质量状况,也提出明确河流健康概念及内涵,对于促进我国河流生态健康研究、指导河流保护有重要的现实意义。另外,在河流生态健康评价体系的构建方面,吴阿娜等^[51-53]对河流生态系统健康评价方法进行了探讨,研究内容包含河流健康的评估原则,主要的表征因子和评价指标的选取,评价方法和评价标准的确定,以及整个评价指标体系的建立等理论研究。其中,冯彦等^[53]分析了近40年国内外相关研究中对评价体系指标的使用率,从中筛选出使用率高的8个指标作为河流健康的评价指标(河岸植被覆盖率、河流连通性、水质达标率、鱼类生物完整性指数等),为我国建立体系提供了有价值的参考。刘晓燕^[52]研究建立了黄河健康的评价框架和指标体系,理论研究中兼顾了河源、上游、中游、下游及河口段的不同指示指标,但研究中没有利用黄河数据对评价框架的有效性进行应用分析,体系的适用性和准确性都需要在长期的应用中验证。

我国的生物监测工作与环境监测事业几乎同时起步,始于20世纪70年代的环境污染调查。1984年,国家环境保护局召开了第一次环境生物监测工作会议;1986年出版了《生物监测技术规范(水环境部分)》;1989年组织编写了《水和废水监测分析方法》中的“水生生物检测分析方法”;1993年编写出版了《水生生物监测手册》,并在这个时期初次建立起国家水生生物监测网,开始在全国范围开展生物监测例行工作^[54,55]。20世纪70年代由于我国大力发展乡镇企业,水体污染急剧加重,导致部分水体中鱼虾绝迹,与此同时理化监测技术体系的快速发展以及理化监测任务的加重使我国环境监测工作重点基本集中到理化方面^[56],生物监

测工作陷入了可有可无的尴尬境地,很多 20 世纪 80 年代中后期开展生物监测的监测站也取消了这方面的工作,仅保留细菌学方面的例行监测项目。进入 21 世纪以后,由于国家水环境管理不断加强,水污染治理投入逐年增加,使得流域水环境质量开始改善,生态系统逐渐得到恢复^[57,58]。而常规的理化监测指标(如 COD、氨氮、BOD₅)很难满足水环境管理的需求,不能准确反映复杂水环境健康的变化趋势,需要建立一套包括物理生境、生物、水体理化等指标的综合监测与评价体系,准确评价我国水环境质量现状和预测变化趋势^[59-61]。

虽然目前我国引入了水生态完整性的概念,但现有水生态系统评价体系距离发达国家现有技术水平、实现流域水科学管理仍有一定的距离,主要存在以下几方面不足之处:从指标来看,选择的常规水质评价指标仍然以物理和化学指标为主,缺乏对生物及其完整性的评价,不能综合反映水环境质量状况;从技术方法来看,现有监测技术与方法不完善,缺乏规范的生物监测方法和质量控制体系;从评价方法来看,评价方法和技术比较单一,仍以单个指标或某几个指标简单相加的分析为主,缺乏综合考虑水生态系统完整性等。因此需要建设符合我国国情的流域水生态环境监测与评价技术体系,并尽快开展业务化运行,为我国的流域水环境质量管理提供技术支持。

“十一五”期间,中国环境科学研究院的水专项研究课题以辽河、太湖流域为主要研究区域^[62],以外来压力导致流域水生生物的种类组成与群落结构发生改变为切入点,把流域环境变化、水生生物效应、生物评价作为一个有机的整体,重点开展了流域水生生物群落及其生态效应、水生生物调查方法、水生生物评价方法三个方面的研究。研究阐明了辽河、太湖流域典型区域的水生生物的种类组成与群落结构特征,辨识出群落中的优势种、特征种及环境指示生物;探讨不同生物类群的调查、监测方法,尤其针对大型底栖动物,比较了不同采样工具、采样方法采集效力及对评价结果的影响,确定最佳的采样策略;筛选出能够客观反映水环境质量状况的生物评价指标并确定其评价标准,初步分析了基于生物完整性理论的水生生物评价方法在这两个地区的适用性。

2011 年,环境保护部计划开展松花江流域水生生物试点监测工作,监测工作由中国环境监测总站负责,并于 2012 年 4 月正式启动。由黑龙江省、吉林省、内蒙古自治区、哈尔滨市、伊春市、齐齐哈尔市、大庆市、佳木斯市、牡丹江市、鸡西市、长春市、吉林市和呼伦贝尔市各级环境监测中心(站)承担监测工作。监测河流 12 条,共 37 个断面;湖库 7 个,共 17 条垂线(点位)。监测项目分为水生生物多样性、鱼类生物残留、水体富营养化、鱼类生长观测和例行理化监测等五大项内容。

“十二五”期间,由中国环境监测总站组织开展的水专项“流域水生态环境质量监测与评价研究”课题(2013ZX07502001),以建立综合有效的流域水生态

环境监测与评价技术体系为目的, 针对河流和湖库的不同特点, 基于国内外现有基础, 特别是水专项研究成果的基础上, 重点研究具有共性和可操作性的关键技术, 建立一套涵盖物理生境、水生生物、水体理化等指标的水生态环境质量监测与评价体系, 整理编写了《河流水生态环境质量监测技术指南(试行)》、《河流水生态环境质量评价技术指南(试行)》、《湖库水生态环境质量监测技术指南(试行)》、《湖库水生态环境质量评价技术指南(试行)》等4项技术文件, 于2014年6月由总站下发至各地方监测部门进行试用, 应用于水生生物试点监测等专项工作并对相关问题进行反馈。建成基于国家、省、区市三级水生态环境监测业务化平台, 并在太湖、辽河、松花江等流域开展水生态环境质量监测业务化运行示范。

“十三五”期间, 水生态环境监测内容将会更多地纳入水环境质量评价当中, “十二五”研究成果中的技术指南和业务化平台都将在“三河三湖”和其他有能力开展生态监测的流域地区进行推广。辽河流域、太湖流域和松花江流域的业务化示范工作将有力推动全国水生态监测的全面开展, 为全国水生生物监测与评价技术体系及水环境质量管理提供借鉴。

1.4 我国流域水生态环境质量监测与评价方法构建

1.4.1 监测体系构建

1.4.1.1 监测要素

在流域水生态完整性评价中, 可以采用的指标不胜枚举, 在业务监测实践中, 不可能也不必要测定所有评价指标, 仅需要根据生态区域和特定流域的实际状况, 因地制宜地选择合适的指标集。选择评价指标时, 通常应该遵循以下标准: ①指标本身具有明确意义, 且能够直接与特定的生态功能相联系; ②指标能够灵敏反映流域内的生态质量变化趋势和污染过程, 可用于确定主要生态胁迫因子; ③指标相对容易测定, 尽可能选择相对经济合算的指标; ④指标应该具有良好的重现性, 存在统一的监测标准或规范^[63]。

常见的水生态完整性监测指标大致可分为物理生境指标、水质理化指标和生物类群指标三大类(表1-1)。其中生物类群指标主要包括着生藻类、浮游植物、浮游动物、大型底栖动物。应当根据特定的监测目的, 充分考虑每个类群的特点、优势、生命周期, 结合区域的环境特点选择适合的水生生物类群。例如, 较为短期的环境监测可选用浮游植物、浮游动物, 较为长期的环境监测可选用大型底栖动物; 监测化学水质变化(尤其富营养化)可选用浮游植物、浮