

水生态监测国内外发展及在长江流域的应用思考

李德旺^{1,2}, 王春芳^{1,2}, 袁玉洁^{1,2}

(1.水利部中国科学院水工程生态研究所 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室,湖北 武汉 430079;
2.长江流域水生态监测中心,湖北 武汉 430079)

摘要:水生态监测是水生态健康评估、保护及修复的重要基础。随着我国经济转向高质量发展和生态文明建设的不断推进,水生态监测逐步规范化和系统化。文章梳理了国内外水生态监测与评价的发展历程,总结了欧盟和美国水生态监测及评价体系构建的成功经验及对我国的借鉴意义,分析了长江流域水生态监测工作现状及存在的问题,并以问题为导向,从流域统一监管、监测站网优化、监测工作常态化、监测标准体系完善、监测能力提升等多个层面提出建议,以期为长江流域和我国水生态监测和评价工作提供参考。

关键词:水生态监测;发展历程;问题与建议;长江流域

中图分类号:X832 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2021)05-0001-09

长江流域幅员辽阔,水生生境类型多样,源头高原多沼泽湿地,上游浅滩和深潭交错,中下游地区河网纵横,河口多滩涂湿地。丰富的水生生物孕育了多样的水生生物。在水资源开发、污染排放、过度捕捞、挖沙采石等人类活动的叠加累积影响下,长江流域水生态环境形势严峻(李键庸等, 2020),水生态系统退化问题日益显现,岷江、沱江、湘江等重要支流以及洞庭湖、鄱阳湖局部地区水环境问题突出(范力等, 2019; 杜冰雪等, 2019; 王丽婧等, 2020)。2016 年,习近平总书记在重庆主持召开的推动长江经济带发展座谈会上提出“共抓大保护,不搞大开发”的战略导向,标志着长江流域水生态保护工作进入新的发展阶段。

水生态监测是水生态保护与修复的重要基础,但常规的水质监测不足以准确反映复杂的水生态环境质量变化趋势,亦不能满足日益增长的水生态环境评价保护管理需求(朱滨等, 2018)。近年来,长江流域水生态与生物监测力度不断加强、广度不断扩展,从最初单一的物理化学监测发展至涵盖水文、水生生物、水质及物理生境等水生态系统功能的监测。然而,目前的长江流域水生态监测仍存在体系不健全、站点缺乏系统规划和整体布局、监测管理机制有短板、监测标准化和信息化程度不高等问题(杨

增丽等, 2016; 彭文启等, 2018)。目前,欧盟、美国等发达国家均已建立了较完备的水环境与生物监测体系,对我国水生态监测和评价体系的构建和发展具有一定的借鉴意义。本文阐述当前国内外水生态监测发展历程,分析了长江流域水生态监测工作现状及存在的问题,并以问题为导向,提出相关建议措施,以期为长江流域水生态监测和评价提供参考,推动新阶段长江经济带高质量发展。

1 水生态监测国内外发展

1.1 国外

水生态监测是从水生态系统完整性的角度出发,通过水文、生物、物理及化学等多种技术手段,对特定水体中各个生物要素、生境要素以及生物与环境之间的相互关系进行监测,分析评价水生态系统的现状和变化,进而为水生态系统的保护及修复、水生态环境质量的改善和自然资源的合理利用提供依据(Cairns et al, 1982; Bozzetti & Schulz, 2004; 陈水松和唐剑锋, 2013; 陈兴如, 2011)。世界各国在水生态监测和评价体系建立上,均经历了探索、发展、成熟和规范等几个阶段。

从 20 世纪 70 年代开始,美国、欧盟、澳大利亚、英国和南非等发达国家先后开展了水生态监测及评价研究计划。1977 年英国学者通过对大型底栖动物的监测研究,创建了河流无脊椎动物预测和分类系统评价方法(River Invertebrate Prediction and Classification System, RIVPACS)(Wright et al, 2000),澳大利亚在此基础上进一步开发了“澳大利

收稿日期:2021-08-26
基金项目:国家自然科学基金(51809184);水利部财政专项业务费项目“水资源监测”。
作者简介:李德旺,1973 年生,男,正高级工程师,主要从事水生态与水环境研究。E-mail:64644208@qq.com

亚河流评价计划”方法(Australian River Assessment Scheme, AUSRIVAS)(Smith et al, 1999)。1981年,美国研究提出了河流完整性指数(Index of Biological Integrity, IBI)监测评价方法(Karr, 1981),IBI指标体系包含着生藻类、底栖动物和鱼类3个生物类群。1994年,南非实施了“河流健康计划”(River Health Planning, RHP),1994-1997年英国和爱尔兰开展了河流生境状况调查研究(吴阿娜,2008)。早期研究积累的大量水文、生物、生

境数据以及开发的一系列技术方法,为《欧盟水框架指令》(Water Framework Directive, WFD)的颁布和实施奠定了基础。

因为在河流生态监测与评价方面开展工作较早,美国和欧盟积累了丰富的经验,建立了较为完备的监测评价体系。美国从1972年出台《美国水污染控制法》(后称《清洁水法》,Clean Water Act, CWA)开始,至今建立了更为成熟的监测框架体系。其水生态监测的发展分为3个阶段(表1),监测水

表 1 美国水生态监测发展历程

Tab.1 Development of water ecological monitoring in the United States				
阶段	年份	计划项目与指导手册	主要内容	来源
第一阶段 (水生态监测立法和探索阶段)	1972年	《清洁水法》(CWA)	明确提出恢复和维持国家水体的化学、物理和生物完整性的目标	USEPA, 1990
	1977年	《水和废水质量的生物监测会议文集》	利用各类水生生物进行监测以及生物测试的技术	Cairns et al, 1977
第二阶段 (国家水生态监测体系构建阶段)	1989年	《溪流及浅河快速评价方案——大型底栖动物与鱼类》(Rapid Bioassessment Protocols, RBPs)	针对小型河流初步建立了快速高效的生物监测及评价方法,达到清洁水法的目标	USEPA, 1989
	1990年	环境监测和评估计划(Environmental Monitoring & Assessment Program, EMAP)	对全国地表水生态现状进行严格的监测和评估,更侧重于方法研究,将现场监测数据转化为对生态现状的评估和风险的预测	Li et al, 2008; Hughes et al, 2004; Reynolds et al, 2003
	1994年	可涉水河流评估(Wadeable Stream Assessment, WSA)	将EMAP项目重点放在溪流和浅河,为美国小溪和浅河生态状况提供了第一个统计上可靠的总结	Stoddard et al, 2008; Paulsen et al, 2008
	1999年	《溪流及浅河快速生物评价方案——着生藻类、大型底栖动物及鱼类(第2版)》(RBPs)	调查要素在底栖和鱼类基础上增加了着生藻类,监测方法准确度和灵敏度更高	Barbour et al, 1999
	2002年	国家水质评价项目(National Water-Quality Assessment, NAWQA)	解决国家水质因人类活动和自然因素而不同时间和情况下可能发生的变化,是全国、各州和地区等科学数据的主要来源	Moulton, 2002
	21世纪初	美国国家水生资源调查(National Aquatic Resource Surveys, NARS)	采用随机系统抽样的调查及采样方法和实验方法,对全国河流和溪流、湖泊和水库、沿海水域以及湿地的现状和质量变化进行统计调查	Olsen & Peck, 2008
第三阶段 (国家水生态监测体系化运行阶段)	2006年	《深水型(不可涉水)河流生物评价的概念及方法》(Large River Bioassessment Protocols, LRBP)	针对大型河流建立生物监测及评价技术方法,监测要素包括藻类、大型底栖动物和鱼类;对数据的整合分析及评估要求更具体明确	Flotemersch et al, 2006
	2008年	《国家湿地状况评价》(National Wetland Condition Assessment, NWCA)	针对湿地生态状况及与恶劣状况相关的影响因素的研究,加深对湿地生态健康的认识	USEPA, 2008
	2010年	《国家海岸状况评价》(National Coastal Condition Assessment, NCCA)	对国家海洋和五大湖沿岸水域状况进行统计调查,旨在解决水质、生态健康等重要指标的等级差别,受养分和污染沉积物等影响的沿海水域质量问题	USEPA, 2010
	2011年	《国家河流和溪流评价》(National Rivers and Streams Assessment, NRSA)	对全国所有流动水域生态状况开展调查及评估,分析主要影响因素,对采样、分类及鉴定的准确性和精确度进行了优化,并提出将生态区域视为建立区域参考条件的基础	USEPA, 2011
	2012年	《国家湖泊评价》(National Lakes Assessment, NLA)	针对全国湖泊、水库及池塘状况开展了统计调查及评价,旨在评估分析湖泊的健康状况、演变过程及影响水体质量的主要因素	USEPA, 2016

体从小溪、浅河到大型河流再到湖库、河口与海岸等,监测要素从片面到全面,技术方法从易到难、从简单到复杂,监测体系逐步科学化和系统化(Karr, 1981; 阴琨等, 2012; Huerta et al, 2018; Feio et al, 2021),实现了对流动水资源状况进行全面的评价(Stribling et al, 2008; Lee et al, 2019; Tyree et al, 2020)。

欧盟从 1975 年颁布《欧洲水法》开始,水生态监测发展相关的政策和立法亦经历了 3 个阶段(表 2)(L.S.安德森等, 2009)。其中,2000 年《欧盟水框架指令》的颁布和正式生效,标志着欧盟水生态监测步

入了快速发展的第三阶段。WFD 整合之前零碎的指令和标准,针对欧盟内所有水资源(河流、湖泊、地表水、过渡性水域和沿海水域)构建了统一的管理框架体系,并明确到 2015 或 2027 年之前欧洲所有类型的水体均达到良好状态的主要目标(Kallis & Butler, 2001; 王海燕, 2009)。WFD 强调了流域尺度的综合管理,是欧洲实施的水生态环境方面最综合、要求最高的法律和规范,为各国具体行动和规划明确了截止时间(表 3),对指导水生态管理工作具有很强的可操作性(Kazagli et al, 2015; 董哲仁, 2009)。

表 2 欧盟 WFD 相关的独立指令
Tab.2 Independent directives related to EU WFD

阶段	类型	年份	指令
第一阶段 (20 世纪 70 年代 中期至 80 年代)	关注饮用、养殖和洗浴等 用水安全问题阶段	1975 – 2007 年	饮用水指令
		1976 年	游泳水指令
		1976 – 2013 年	危险品指令
		1978 – 2013 年	淡水鱼指令
		1979 年	贝类水指令
		1979 年	饮用水源监测指令
		1980 – 2013 年	地下水保护指令
第二阶段 (20 世纪 90 年代)	关注各行业的用水以及各领域 的污染排放控制阶段	1991 年	城市污水处理指令
		1991 年	硝酸盐指令
		1996 年	综合污染防治指令
第三阶段 (21 世纪初)	关注以流域为单元 进行综合管理和整体规划阶段	2000 年	欧盟水框架指令
		2006 年	地下水指令
		2007 年	洪水风险管理指令

表 3 WFD 实施时间表
Tab.3 Implementation schedule of WFD

年份	完成及实施内容
2000 年	WFD 开始实施,启动 AQEM 项目(Consortium, 2004)
2003 年	纳入各成员国法律体系,明确流域区和主管机构;启动 STAR(Standardisation of River Classifications)项目
2006 年	环境监测计划及监测网络的制定和实施
2008 年	提交流域管理规划初稿
2009 年	第一期流域管理规划(River Basin Management Plans, RBMP)与实施方案的制定和发布
2010 年	水价政策的完善
2012 年	流域管理方案和措施的实施
2015 年	审查第一轮流域管理规划结果是否实现环境保护目标;提出第二轮 RBMP 及第一期洪水风险管理计划
2021 年	审查第二轮流域管理规划结果是否达标,制定和更新第三轮 RBMP
2027 年	审查第三轮流域管理规划结果是否实现环境目标

1.2 国内

总体而言,我国在水生态监测与评价方面起步较晚,近年来,随着经济发展水平的不断提高和水生态环境保护意识的增强,我国水生态监测与评价发展迅速,并逐步走向成熟化和规范化。

我国水生态监测主要经历了 2 个阶段(表 4)。20 世纪 80 年代起进入第一个阶段——初级发展阶段。最初 10 年间,工业化和城市化进程加剧,水质恶化,生态功能退化,基于对国外生物监测和水生态

系统保护和修复成功经验的研究分析,我国开始在全国范围内开展生物监测例行工作,颁布了相关的生物监测技术规程(中国科学院水生生物研究所, 1981),生物监测水平得到了初步提升(阴琨等, 2012; 王业耀等, 2014; Wang et al, 2014)。20 世纪 90 年代后期,随着经济水平的快速发展及人口的增长,水污染问题日益严重,此期间水体理化指标监测技术发展较快,但生物监测相对滞后。到 21 世纪初,我国对水生态环境的保护不断加强,2007 年党

表 4 我国水生态监测与评价相关标准及规范

Tab.4 Standards and norms of water ecological monitoring and evaluation in China				
阶段	发布年份	机构	指导手册	主要内容
第一阶段 (初级 发展阶段)	1986 年	原国家环境保护局	《环境监测技术规范——生物监测(水环境部分)》	对生物监测的基本任务进行了规定
	1989 年	原国家环境保护局	《水和废水监测分析方法》之“水生生物检测分析方法”	提出了水生生物监测分析方法
	1993 年	原国家环境保护局	《水生生物监测手册》	开始在全国范围开展生物监测例行工作,初次建立国家水生生物监测网
	2002 年	原国家环境保护局	《地表水环境质量标准》(GB 3838-2002)	对环境质量标准的基本监测项目进行了规范和修订
	2008 年	中国水利学会	《全国部分重点湖泊水库藻类试点监测简报》	召开“2008 年水生态监测与分析学术论坛”,在全国重点湖泊、水库开展了藻类试点监测工作,初步构建了全国性藻类监测网络
	2010 年	水利部	《河流健康评估指标、标准与方法(试点工作用)》 《湖泊健康评估指标、标准与方法(试点工作用)》	提出评估准则层由水文水资源、物理结构、水质、生物、社会服务功能等 5 大类指标组成
第二阶段 (快速 发展阶段)	“十二五”期间		《太湖流域(江苏)水生态健康技术评估规程(试行)》、《水生态健康监测技术规程 淡水大型底栖无脊椎动物(试行)》和《水生态健康监测技术规程 淡水浮游藻类(试行)》	江苏省依托“十二五”水专项“太湖流域(江苏)水生态监控系统建设与业务化运行示范”课题,在太湖流域开展了一系列水生态监测示范及业务化工作,形成了太湖流域水生态健康监测与评价技术及运行体系
	2013 年	原环境保护部	《流域生态健康评估技术指南》	确定了流域生态健康评估使用范围,为流域生态健康评估提供了具体的技术方法
	2014 年	中国环境监测总站	《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)》、《湖泊库水生态环境质量监测技术指南(试行)》和《湖泊库水生态环境质量评价技术指南(试行)》	针对河流和湖库的不同特点,建立了有效且具有可操作性的流域水生态环境监测和评价技术方法
	2013 年	水利部	《水 环 境 监 测 规 范》(SL219-2013)	将水生态监测重新定义为在充分掌握水域水文地貌、水质、沉降物等基础上开展的水生生物监测
	2014 年	水利部	《水库渔业资源调查规范》(SL 167-2014)	规定了水库渔业资源调查的主要内容、方法及技术要求
	2015 年	原环境保护部	《生物多样性观测技术导则 内陆水域鱼类》(HJ 710.7-2014)、《生物多样性观测技术导则 水生维管植物》(HJ 710.12-2016)等 10 项技术导则	针对鸟类、内陆水域鱼类、两栖动物、水生维管束植物、大型真菌等 10 个种类生物多样性观测的主要内容、技术要求和方法等进行了规范
	2016 年	水利部	《内陆水域浮游植物监测技术规程》(SL 733-2016)	进一步规范了淡水浮游植物监测样品采集、分析、数据处理及成果表达等监测技术体系
	2019 年	农业农村部	《淡水渔业资源调查规范 河流》(SC/T 9429-2019)	对河流渔业资源调查进行了规范,具体包括调查方案的设计、重点调查对象的数据采集以及资源量估算等
	2020 年	水利部	《河湖健康评估技术导则》(SL/T 793-2020)	根据各评估指标综合赋分,将河湖健康评估标准分为 5 级:非常健康、健康、亚健康、不健康、病态
	2020 年	水利部	《河湖健康评价指南(试行)》	提出以整条河流为评价单元,可多指标进行整体综合评价,也可进行单项评价,为各河长制、湖长制下开展河湖治理保护工作提供参考
	2020 年	中国环境监测总站	《河流水生态环境质量监测与评价技术指南(征求意见稿)》、《湖泊库水生态环境质量监测与评价技术指南(征求意见稿)》	对《流域水生态环境监测与评价技术指南(试行)》进行了修订,主要针对监测目标、湖库形态大小、内部生境结构等,修改完善点位设置、生境及水质调查、生物(大型底栖无脊椎动物、浮游植物、浮游动物及大型水生植物)现场采样技术内容,更新和完善生物评价方法

的“十七大”报告提出“建设生态文明”;2008年,水利部启动了太湖、滇池、洪泽湖等湖泊及水库藻类试点监测工作,在全国范围初步构建了浮游植物监测网络(杨增丽,2016)。

自2010年开始,我国水生态监测步入了第二个阶段——快速发展阶段。“十二五”以来,水利部、生态环境部、农业农村部、自然资源部和中国环境监测总站等多家部委及研究机构大力推进生态文明建设和践行长江大保护理念,在长江流域、太湖流域、松花江流域及辽河流域等全国范围内重点河湖开展了水生态监测试点工作及河湖健康评估工作,并颁布和印发了一系列水生态监测与评价标准与规范(表4),初步构建了我国包括监测指标、技术方法、综合

评价等一套比较完善的流域水生态监测方法体系,水生态监测技术得到了快速提升,有力推进了我国水生态监测逐步政策化、成熟化和系统化(阴琨等,2012;金小伟等,2017;彭文启等,2018;高昕和李继影,2020;邹曦等,2021)。

就长江流域而言,早期水生态监测对象较单一、范围较窄,且由于主要职责的不同,国家各部委水生态监测工作存在差异。目前,各部委贯彻落实习近平总书记“共抓大保护”的指示精神,高度重视长江水生态保护,通过积极开展调查监测、创新性平台建设等,加大了水生态监测力度,监测对象及范围有所增加(表5),为新发展阶段下的山水林田湖草系统治理和长江大保护奠定了良好基础。

表5 不同时期各部委水生态监测工作开展情况

Tab.5 Implementation of water ecological monitoring by various ministries and commissions in different periods

时期	水利部	生态环境部	农业农村部	自然资源部
2000年以前	枯水期和丰水期水质监测	地表水为主的水环境监测	全国第一次渔业资源与环境大普查	未见相关报道
2000-2010年	(1)长江流域水资源保护监测(开展长江流域水生生物监测,以及湖泊、水库富营养化监测和重要水源地水质监测); (2)三峡等重点水利工程生态与环境监测	地表水为主的水环境监测,水质参数由20世纪70年代的30多项增至190余项	(1)渔业资源与环境监测; (2)2006年长江淡水豚类考察	(1)第一次全国湿地资源调查和第二次全国湿地资源调查; (2)国家林业重点工程社会经济效益年度跟踪监测
2010年以来	(1)连续开展长江流域水资源保护监测(开展长江流域水生生物监测,以及湖泊、水库富营养化监测和重要水源地水质监测); (2)连续开展三峡等重点工程安全运行监测(包括水环境、湿地生态、水生态的连续监测); (3)连续开展三峡等水库生态调度监测; (4)连续开展长江重点河湖健康评估; (5)2017-2018年开展“长江流域水生态及重点水域富营养化状况调查与评价”,对流域1千8支2湖2库及长江口的水生态状况进行了全面调查与评价; (6)自2019年起开展长江流域水生态环境监测试点; (7)2020年长江水利委员会成立“长江流域水生态监测中心”	(1)发布《中国生物多样性保护战略与行动》计划; (2)2019年会同自然资源部、水利部、林草局等部门开展长江生态环境大普查; (3)2019年起开展饮用水水源地、黑臭水体、湖库蓝藻水华和营养状况遥感监测试点; (4)2020年发布《生态环境监测规划纲要(2020-2035年)》; (5)2020年实施长江流域水生态监测试点工作; (6)2020年组建长江流域生态环境监督管理局	(1)2016年设立“长江渔业资源与环境调查”专项; (2)2016年实施“长江、西藏渔业资源与环境调查”专项,是我国内陆重点水域渔业资源与环境的第二次大调查; (3)自2017年起,组织开展长江水生生物本底资源调查; (4)2012年、2017年开展长江江豚生态科学考察; (5)2020年成立“农业农村部长江流域水生生物资源监测中心”	(1)连续开展国家林业重点社会经济效益年度跟踪监测工作; (2)2011年启动全国第二次陆生野生动物资源调查; (3)2019年参加长江生态环境大普查; (4)与水利部共同开展国家地下水资源监测工程建设; (5)2020年发布《自然资源调查监测体系构建总体方案》

注:生态环境部、农业农村部、自然资源部均于2018年机构改革组建;表格中生态环境部主要指原环境保护部,农业农村部主要指原农业部,自然资源部主要指原国土资源部、原国家林业局、原国家海洋局。

Note: Ministry of Ecology and Environment of the People's of China, Ministry of Agriculture and Rural Affairs and Ministry of Natural Resources were all restructured in 2018. In the table, Ministry of Ecology and Environment mainly refers to the former Ministry of Environmental Protection, Ministry of Agriculture and Rural Affairs mainly refers to the former Ministry of Agriculture, and the Ministry of Natural Resources mainly refers to the former Ministry of Land and Resources, the former National Forestry Administration and the former Oceanic Administration.

2 长江流域水生态监测的有关思考

2.1 国外水生态监测的借鉴

美国和欧盟水生态监测和评价的法律框架体系和管理体制,对我国有一定的借鉴和参考价值。

美国的成功经验对我国的借鉴如下:(1)完善的法律体系。《清洁水法》是美国水体保护权威的框架法律,管理思路系统化、整体化,更加注重生物、生态系统的完整性,从政策和法规层面对国家生物监测和生物保护提出了要求。(2)系统的管理体制。美国在水资源管理上实行以州为单位的管理体制,成立国际联合委员会,在不同河流和湖泊设置专业委员会,管理机构细致,分工及责任明确。(3)成熟的监测和评价方法体系。美国环保局针对不同水域制定了统一的水生态监测标准与规范,目前已形成在法令法规、监测标准、配套监测方法和技术导则等体系框架下的比较成熟完整的生物监测和评价方法体系,可为我国水生态监测与评价方法体系的构建和完善提供参考,加快技术方法标准化的研究进程。

欧盟的成功经验对我国的借鉴如下:(1)健全的法律体系。《欧盟水框架指令》对欧盟水生态环境管理和保护发挥了重要作用,将水生态环境保护目标作为水资源管理的核心,要求各成员国现有法律应根据WFD作出相应的调整。(2)流域综合管理体制。欧盟由多个成员国组成,存在较多流域跨界等区域性特征,WFD采取流域综合管理的方式,建立了跨国协调合作机制,共同开展“流域综合管理规划”的制定及措施的实施。(3)科学的监测和评价方法。WFD将监测类型分为监督监测、运行监测、调查监测3种,可结合不同的目标对监测站点及质量要素进行选择(Allan et al, 2006)。目前,欧盟将各国监测和评价分析方法按照统一的标准进行了规范,并提出了统一的、可比的分类评估方法——相互校准(Intercalibration Exercise, IC)(Almeida et al, 2014; Cathy et al, 2011; Birk & Willby, 2010),使各国监测与评价结果在整个欧盟范围内更具有科学性和可比性(Feio et al, 2021)。(4)监测计划的不断完善。欧盟在WFD实施过程中,注重流域现状的分析及存在的问题,对过程进行评估,制定合理的解决措施或在下一个流域管理规划中进行更新和调整,提高了治理手段和效率。(5)严格规定水生态目标及完成的时限。提出了到2015年欧盟所有水域达到“水生态良状态”的总体目标,各成员国根据不同截止时间制定具体的目标和任务,并以此逐步完

善各国水生态监测和评价技术方法体系。(6)引入公共参与制度及经济手段等综合性管理模式。在公共参与领域,制定了《奥尔胡斯协定》及《关于公众获得环境信息的指导方针》等政策文件,强化了信息公开和民众的监督,提高社会各界对流域工作的理解和支持。

2.2 面临的问题分析

目前,我国湿地生态系统、水生态环境及生物监测已经较为成熟,以长江流域为例,已形成了初具规模的水功能区、省(国)界、饮用水水源地、水生态和入河排污口水质监测站网。然而,水生态监测在站点覆盖、标准规范、监测能力等方面还存在一定的短板。具体体现在如下方面。

(1)水生态监测站点覆盖面较窄,缺乏流域尺度上的系统规划和整体布局。现有的水生态监测站网在长江流域片水生态保护与修复工作中发挥了重要作用,但与目前长江流域较为完善的水文、水环境监测站网体系相比,水生态监测存在站点覆盖不全面、监测水平空间不均衡等问题,缺乏流域尺度上的系统规划和整体布局。目前的水生态监测多集中在生态敏感地区,如金沙江、三峡库区、洞庭湖、鄱阳湖、太湖、滇池、赤水河等,而高原河流生态系统与生物多样性监测相对较少。

(2)水生态监测标准不统一,监测结果可比性较差。长江流域的水生态监测处于长期的“多家管水”状态,目前监测标准规范存在不统一的问题,各部门根据自身工作特点相继出台了一些水生态监测的技术标准和规范,但因分工不明确等原因,各部门或机构缺乏有效的协调机制,往往存在重复建设、重复监测。比如,同一河流湖库的水质监测断面,既有水利部门设置的又有环保部门设置的,多数是重复的,不同部门的监测结果存在一定的差异。同时,由于水生态监测方法和技术规范的不统一,各部门间监测内容、指标、频次和方法也存在一定的差异,导致监测数据的可比性较差。

(3)水生态监测能力建设不足,自动化智能化监测有待提高。如浮游生物监测等大多是野外采样,然后带回实验室进行人工鉴定分析;遥感监测、图形分析、光谱分析、物联网等新技术在水生态监测中得到了一定的应用,但整体而言应用不广泛,自动化监测设施不够完善。随着计算机、物联网、人工智能等科技快速发展,水生态监测技术亟需革新。有必要推进监测新技术研究、推广,对传统监测技术进行改进,以不断提高水生态监测的时效性。

2.3 相关建议

针对长江流域水生态监测站点覆盖、标准规范、监测能力等方面存在的问题,下一步工作重点应是推进监测站网全覆盖建设、常态化实施经常性监测、完善监测标准体系、提升监测能力等。

(1)优化水生态监测站网。在已经建立的台站和监测项目基础上,加快流域水生态监测站网建设,实现覆盖长江一千八支、鄱阳湖、洞庭湖、三峡水库、丹江口水库等区域水生态保护现状监测断面以及长江流域内生态调度断面的监测;实现洞庭湖、鄱阳湖、三峡水库和丹江口水库藻类水华与湿地的遥感监测。

(2)加快实施流域水生态常规监测。建议流域管理机构将水生态监测与评价作为流域综合管理常态化经常性任务,将浮游生物、底栖动物、鱼类、生物综合毒性等参数纳入到日常的监测范围,不断提高水生态监测能力。形成监测信息采集、传输、存储、信息资源管理与共享等完整的水生态监测信息化体系,健全长江流域生态环境、资源、水文等监测网络体系和监测信息共享机制,形成规范化的流域水生态状况滚动调查评价机制。

(3)完善水生态监测标准体系构建。建议结合水生态监测特点和需求,进一步明确水生态监测内涵、监测目标和任务。并在吸收借鉴国内外水生态监测标准体系的基础上,着重针对我国水生态监测技术体系中的生物监测能力薄弱、相关方法标准缺失等问题,开展水生生物监测评价关键标准和规范的制修订,完善水生态监测指标和标准体系。

(4)加快流域水生态监测能力提升。引进、研发与推广水生态监测、预警与评价先进技术或方法;借鉴国际上广泛应用的主要评价手段,根据重要河湖水生态系统自身的特点,研发各流域不同类型水生态系统健康监测指标与评价技术;强化水生态风险监测研究,开展信息化监测的水生态智能采样、快速大量的水样微浓缩技术研究,建设基于微流控芯片、物联网和原位显微图像识别的水生态风险智能化监测、预警与防控管理体系等。

3 结语

由于长江流域水生态系统的复杂性、涉水事务主体的多元性以及管理体制的约束性,目前流域水生态监测管理还存在诸多问题,不能完全满足流域经济社会可持续、高质量发展的需求。《中华人民共和国长江保护法》对长江流域水生态监测提出了新

要求,如第九条“.....在已经建立的台站和监测项目基础上,健全长江流域生态环境、资源、水文、气象、航运、自然灾害等监测网络体系和监测信息共享机制”。因此,新形势下需要加强流域综合管理、统一监管。针对长江流域水生态监测存在的问题,下一步需加快长江流域水生态监测站网全覆盖建设,推进常态化经常性监测,完善监测标准体系,提高监测预警能力。

参考文献

- L.S. 安德森, M.格林菲斯, 2009. 欧盟《水框架指令》对中国的借鉴意义[J]. 人民长江, 40(8): 50-53.
- 陈水松, 唐剑锋, 2013. 水生态监测方法介绍及研究进展评述[J]. 人民长江, 44(z2): 92-96.
- 陈兴茹, 2011. 国内外河流生态修复相关研究进展[J]. 水生态学杂志, 32(5): 122-128.
- 董哲仁, 2009. 欧盟水框架指令的借鉴意义[J]. 水利水电快报, 30(9): 73-77.
- 杜冰雪, 徐力刚, 张杰, 等, 2019. 鄱阳湖富营养化时空变化特征及其与水位的关系[J]. 环境科学研究, 32(5): 77-83.
- 范力, 段慧, 张丹, 等, 2019. 沱江干流水质自动监测断面水质状况分析[J]. 环境影响评价, 41(4): 70-73.
- 高昕, 李继影, 2020. 江苏太湖流域主要湖泊水库水生态环境质量评估[J]. 科技经济导刊, 707(9): 16-17.
- 金小伟, 王业耀, 王备新, 等, 2017. 我国流域水生态完整性评价方法构建[J]. 中国环境监测, 33(1): 75-81.
- 李键庸, 马沛明, 史方, 2020. 长江流域开展经常性水生态监测的必要性与可行性研究[J]. 长江技术经济, 4(2): 26-30.
- 彭文启, 刘晓波, 王雨春, 等, 2018. 流域水环境与生态学研究回顾与展望[J]. 水利学报, 49(9): 1055-1067.
- 王海燕, 2009. 欧盟流域水环境管理体系及水质目标[J]. 世界环境, (2): 61-63.
- 王丽婧, 田泽斌, 李莹杰, 等, 2020. 洞庭湖近30年水环境演变态势及影响因素研究[J]. 环境科学研究, 268(5): 80-89.
- 王业耀, 阴琨, 杨琦, 等, 2014. 河流水生态环境质量评价方法研究与应用进展[J]. 中国环境监测, 30(4): 1-9.
- 吴阿娜, 2008. 河流健康评价: 理论, 方法与实践[D]. 上海: 华东师范大学.
- 杨增丽, 商书芹, 郭伟, 2016. 国内外水生态监测发展概况及建议[J]. 山东水利, (8): 61-62.
- 阴琨, 吕怡兵, 滕恩江, 2012. 美国水环境生物监测体系及对我国生物监测的建议[J]. 环境监测管理与技术, (6): 8-12.
- 中国科学院水生生物研究所, 1981. 环境污染与生态学文集

- [M]. 南京: 江苏科学技术出版社.
- 邹曦, 杨荣华, 杨志等, 2021. 长江流域典型支流生境健康评价[J]. 水生态学杂志, 42(5): 29–39.
- 朱滨, 邓燕青, 胡俊, 等, 2018. 对长江流域水生生态监测评估的思考[J]. 人民长江, 49(18): 10–13, 36.
- Allan I, Vrana B, Greenwood R, et al, 2006. Strategic monitoring for the European Water Framework Directive [J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 25(7): 704–715.
- Almeida S F P, Elias C, Ferreira J, et al, 2014. Water quality assessment of rivers using diatom metrics across Mediterranean Europe: A methods intercalibration exercise[J]. *Science of the Total Environment*, 476–477: 768–776.
- Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, 1999. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition[M]. Washington, DC: US Environmental Protection Agency, Office of Water.
- Birk S, Willby N, 2010. Towards harmonization of ecological quality classification: establishing common grounds in European macrophyte assessment for rivers [J]. *Hydrobiologia*, 652(1): 149–163.
- Bozzetti M, Schulz U H, 2004. An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil[J]. *Hydrobiologia*, 529(1/3): 133–144.
- Cairns J J, Buikema A L, Cherry D S, 1982. Biological monitoring in water pollution [M]. Oxford: Pergamon Press: 221–233.
- Cairns J J, Dickson K L, Westlake G F, 1977. Biological monitoring of water and effluent quality (ASTM-STP-607)[M]. Baltimore, Md: American Society of Testing Materials.
- Cathy, Bennett, Roger, et al, 2011. Bringing European river quality into line: an exercise to intercalibrate macroinvertebrate classification methods [J]. *Hydrobiologia*, 667(1): 31–48.
- Consortium A, 2004. The Development and Testing of an Integrated Assessment System for the Ecological Quality of Streams and Rivers throughout Europe using Benthic Macroinvertebrates: AQEM: Taxa Database [J]. *Unt Theses & Dissertations*, 20(April 2): 508–509.
- Feio M J, Hughes R M, Callisto M, et al, 2021. The Biological Assessment and Rehabilitation of the World's Rivers: An Overview[J]. *Water*, 13(3): 371.
- Flotemersch J E, Stribling J B, Paul M J, 2006. Concepts and Approaches for the Bioassessment of Non-Wadeable streams and rivers[M]. Washington, DC: U. S. EPA, Office of Research and Development, National Exposure Research Laboratory, Cincinnati, OH.
- Huerta B, Rodriguez-Mozaz S, Lazorchak J, et al, 2018. National Rivers and Streams Assessment [J]. *The Science of the Total Environment*, 634(SEP.1): 542–549.
- Hughes R M, Howlin S, Kaufmann P R, 2004. A Biotic Integrity Index (IBI) for Coldwater Streams of Western Oregon and Washington [J]. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133(6): 1497–1515.
- Kallis G, Butler D, 2001. The EU water framework directive: measures and implications [J]. *Water Policy*, 3(2): 125–142.
- Karr J R, 1981. Assessment of Biotic Integrity Using Fish Communities [J]. *Fisheries*, 6(6): 21–27.
- Kazagli E, Bierlaire M, 2015. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council establishing a framework for the Community action in the field of water policy. (EU Water Framework Directive) [C]// International Choice Modelling Conference.
- Lee S S, Bishop I W, Spaulding S A, et al, 2019. Taxonomic harmonization may reveal a stronger association between diatom assemblages and total phosphorus in large datasets [J]. *Ecological Indicators*, 102: 166–174.
- Li J, Herlihy A, Gerth W, et al, 2008. Variability in Stream Macroinvertebrate at Multiple Spatial Scales [J]. *Freshwater Biology*, 46(1): 87–97.
- Olsen A R, Peck D V, 2008. Survey design and extent estimates for the Wadeable Streams Assessment [J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 27(4): 822–836.
- Paulsen S G, Mayo A, Peck D V, et al, 2008. Condition of stream ecosystems in the US: An overview of the first national assessment [J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 27(4): 812–821.
- Reynolds L, Herlihy A T, Kaufmann P R, et al, 2003. Electrofishing Effort Requirements for Assessing Species Richness and Biotic Integrity in Western Oregon Streams [J]. *North American Journal of Fisheries Management*, 23(2): 450–461.
- Smith M J, Kay W R, Edward D, et al, 1999. AusRivAS: using macroinvertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia. *Freshwater Biology* [J]. *Freshwater Biology*, 41(2): 269–282.
- Stoddard J L, Herlihy A T, Peck D V, et al, 2008. A Process for Creating Multimetric Indices for Large-Scale Aquatic Surveys [J]. *Freshwater Science*, 27(4): 878–891.

Stribling J B, Pavlik K L, Holdsworth S M & Leppo E W, 2008. Data quality, performance, and uncertainty in taxonomic identification for biological assessments[J]. Journal of the North American Benthological Society, 27(4): 906 – 919.

Tyree M A, Carlisle D M, Spaulding S A, 2020. Diatom enumeration method influences biological assessments of southeastern USA streams[J]. Freshwater Science, 39 (1): 183 – 195.

USEPA, 1989. Rapid bioassessment protocol for use in streams and rivers, benthic macroinvertebrates and fish [M]. Washington DC: Assessment and Watershed Protection Division.

USEPA, 1990. Biological criteria: national program guidance for surface waters[M]. Washington DC: Office of Water Regulations and Standards.

USEPA, 2008. National Wetland Condition Assessment [M]. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.

USEPA, 2010. National Coastal Condition Assessment: Field Operations Manual[M]. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.

USEPA, 2011. National Rivers and Streams Assessment [M]. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency.

USEPA, 2016. National Lakes Assessment 2012: A Collaborative Survey of Lakes in the United States[M]. Washington, DC: U.S. Environmental Protection Agency; Washington, DC.

Wang Y, Teng E, Liu T, et al, 2014. A national pilot scheme for monitoring and assessment of ecological integrity of surface waters in China[J]. Environmental Development, 10: 104 – 107.

Wright J F, Sutcliffe D W, Furse M T, et al, 2000. Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques [M]. Ambleside, Cumbria, UK: Freshwater Biological Association.

(责任编辑 张俊友 郑金秀)

Development of Water Ecological Monitoring at Home and Abroad and the Thinking of Its Application in the Yangtze River Basin

LI De-wang^{1,2}, WANG Chun-fang^{1,2}, YUAN Yu-jie^{1,2}

(1.Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-projects and Restoration of Aquatic Ecosystem of Ministry of Water Resources, Institute of Hydroecology, Ministry of Water Resources & Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430079, P.R.China;
2.Changjiang River Basin Hydroecological Monitoring Center, Wuhan 430079, P.R.China)

Abstract: Water ecological monitoring is an important basis for water ecological health assessment, protection and restoration. With the development of China's high-quality economy and the continuous progress of ecological civilization, the water ecological monitoring system is gradually standardized and systematized. In this paper, we summarized the development of water ecological monitoring and evaluation at home and abroad, and discussed the successful experience of the European Union and the United States in constructing the water ecological monitoring and evaluation system as well as its reference to China. Further, the current situation and existing problems of water ecological monitoring in the Yangtze River basin were analyzed and some suggestions were put forward, including unifying the supervision of river basin, optimizing the network of water ecological monitoring station, normalizing the monitoring work, improving monitoring standard system and monitoring capacity. The study will provide references for the monitoring and evaluation of water ecology in the Yangtze River basin and other river basins in China.

Key words: water ecological monitoring; development course; problem and suggestion; Yangtze River basin