

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2016.06.022

基于水功能区划的河湖健康内涵与评估原则

王乙震¹, 郭书英², 崔文彦¹

(1. 海河流域水环境监测中心, 天津 300170; 2. 海河流域水资源保护局, 天津 300170)

摘要:根据河湖健康内涵及全国重要水功能区划管理制度, 分析了河湖健康评估与水功能区划的关系, 探讨了基于水功能区划的河湖健康内涵, 提出了基于水功能区划的河湖健康评估指标体系的健康河流、湖泊特征, 阐述了基于水功能区划的河湖健康评估原则。基于水功能区划的河湖健康评估, 应该根据不同水功能区的自然属性和主导水体功能类型, 确定评估的重点, 由此设置不同水功能区评估体系中各属性权重及评估指标, 同时评估指标的设置应该体现基于水功能区划的健康河流、湖泊特征, 才能够全面反映河流、湖泊的健康状态。

关键词:水功能区划; 河流; 湖泊; 健康评估

中图分类号:TV213.4;X321 文献标志码:A 文章编号:1004-6933(2016)06-0136-06

Connotations of river and lake health and assessment principles based on water function regionalization

WANG Yizhen¹, GUO Shuying², CUI Wenyan¹

(1. Haihe River Basin Water Environment Monitoring Center, Tianjin 300170, China;
2. Water Resources Protection Bureau of Haihe River Basin, Tianjin 300170, China)

Abstract: Based on the connotations of river and lake health and the management system of regionalization of major water functions in China, the relationship between health assessment of rivers and lakes and water function regionalization are analyzed in this paper. The connotations of river and lake health based on water function regionalization are discussed. The characteristics of health rivers and lakes are proposed and the assessment principles are expounded. It is pointed out that the river and lake health assessment based on water function regionalization should refer to the characteristics of different water function areas and the leading function of water body type, in order to determine the focus of the assessment first, and then determine the weights and the assessment indices for different water function areas. Meanwhile, the assessment indices should reflect the characteristics of health rivers and lakes, and thus the health status of the rivers and lakes could be evaluated comprehensively.

Key words: water function regionalization; rivers; lakes; health assessment

河流、湖泊具有重要的生态功能、环境功能和社会服务功能, 为人类生存和社会发展提供重要的物质基础和保障条件。我国河流数量多, 全国大小河流总长达 42 万 km, 流域大于 100 km² 的河流约有 5 万多条, 流域面积达 1000 km² 的河流也有 1500 多条, 这些河流为国家社会经济发展和保障人民生活发挥着重要的作用^[1]。随着水资源开发利用和污染物排放强度的增大, 全国 57% 的河流水体受到严

重污染, 使河流水生态系统显著退化, 河流的水生态环境问题已成为我国主要的环境问题之一^[2]。我国湖泊问题也较为严重, 其数量、面积和分布近几十年来发生了较为显著的变化, 根据马荣华等^[3]的研究, 近 30 年来我国面积大于 1.0 km² 的湖泊消失 243 个, 远远超过新生和新发现的湖泊数量。我国湖泊正面临着湖泊萎缩与调蓄能力减小、水质下降与富营养化加重、生物多样性减少与生态退化、河湖

基金项目: 中央分成水资源费项目(1261520411635); 国家国际科技合作专项(2013DFA71340)
作者简介: 王乙震(1986—), 男, 工程师, 硕士, 主要从事水环境监测和河湖健康评估研究。E-mail: xiaoyiw858@163.com

水力和生态联系阻隔以及湖岸线和环湖地带过度开发等问题^[4]。我国河流和湖泊水环境、水生态等受到破坏,严重影响人类日常生活和社会经济可持续发展,其水资源开发利用、饮用水安全保障等社会服务功能逐渐得不到有效保障,对人类的长远利益构成严重威胁。

自 20 世纪 80 年代起,人们对河流、湖泊的健康问题越来越重视,河流、湖泊管理的目标从单一的水资源功能管理扩展到对生态系统的管理^[5]。河湖健康评估作为一种管理制度,用以评估河流、湖泊生态系统在自然条件与人类活动共同作用下长期演化过程中的完整性和可持续性,以期在生态系统保护与水资源开发利用间取得平衡^[6]。河湖健康评估的实质是对河流、湖泊在某一时间的生态、环境和社会服务状态进行诊断。本文结合重要江河、湖泊水功能区划管理制度,以及河湖健康评估已有相关概念、原则、方法^[2,5-9],探讨基于水功能区划的河湖健康内涵及评估原则,以期促进重要江河、湖泊水功能区划与河湖健康评估两种管理制度的有机结合,为流域重要河流、湖泊管理、规划与保护提供技术支撑。

1 河湖健康内涵

健康是指系统在受到各种不良环境影响下,其结构和功能保持相对稳定状态,并具有可持续发展和不断完善的特性^[10]。河流、湖泊即是在相应的地理、气候、水文条件下长期演变过程中形成的完整、和谐的生态系统^[11],河流、湖泊与健康的结合是社会可持续发展和价值进步的必然结果,其健康内涵从本质上可以反映出人类对河流、湖泊管理的目标与方向,这成为河流、湖泊管理的导向。由于河流、湖泊在不同区域的基本特征(如规模、类型、时空差异等)、地理条件、基本国情、人类活动以及人们对河流、湖泊的价值判断等存在差异,目前河湖健康评估相关研究尚不成熟,国内外专家和学者对河湖健康内涵的理解不完全一致,仍未达成统一的认识。

河湖健康概念始于 1972 年的美国《清洁水法令》,该法令对河流健康的定义是物理、化学和生物的完整性,其中完整性指维持生态系统自然结构和功能的状态^[12]。Karr^[13]在河流健康评估中引入生态学的基本概念,提出只要河流生态系统当前的使用价值不退化且不影响其他系统,其完整性即使有所破坏,但仍然可认为是健康的;Schofield 等^[14]提出河流健康是与同一类型河流未受破坏的相似程度,尤其是在生物多样性和生态功能方面。这些研究强调的是河流生态系统自然属性内容的健康,认为河流、湖泊仅具有自然属性,河湖健康基本等同于

生态系统自然属性的健康。但是河流、湖泊往往不是孤立存在的,它与人类社会紧密联系形成一个自然-社会经济复合系统^[15],河流、湖泊的健康问题往往是源于人类活动的影响,人类对河湖健康问题的研究是为了维护河流、湖泊的可持续性,以满足人类社会发展的合理需求。因此 Meyer 等^[16-17]随后将河流对人类社会的服务价值纳入河流健康内涵之中,认为健康的河流除了能够维持其生态系统结构和功能正常的同时,还需要满足人类与社会的需要和期望;Fairweather 等^[18-19]也认为探讨河流健康内涵时应考虑河流健康的社会、经济和政治等方面,在此基础上提出河流健康的判断应包括生态标准和人类由该系统获得的价值、用途和适宜性。澳大利亚的河流健康委员会认为健康的河流是与其环境、社会和经济特征相适应,能够支撑满足社会需求的生态系统、经济行为和社会功能的河流^[20]。Liu 等^[21]立足于我国的河流现状,提出河流健康是在相应时期河流的社会功能与自然功能相和谐并能够均衡发挥,其标志则是良好的水质、畅通的河床以及能维系的河流生态系统。

由此可见,随着人类对河湖健康内涵的研究和认识逐渐深入,虽然在其定义上存在一定差异,但始终还是围绕河流、湖泊自身生态系统完整性和社会服务价值两方面来探讨。生态系统完整性反映的是河流、湖泊水文、形态结构、水质、生物等层面功能的完整,生态系统完整性健康与否是河流、湖泊发挥生态和环境功能的体现,属于自然属性范畴;河流、湖泊社会服务层面反映的是对人类经济社会发展的支撑和贡献,是人类开发、利用、保护河流、湖泊并维持其健康的重要目的,社会服务功能健康与否是河流、湖泊发挥社会服务功能的反映,属于社会属性范畴。因此,河湖健康的内涵是河流、湖泊生态系统保持其水文、形态结构、水质、生物等层面功能的完整性并能维持社会服务价值,具有生态、环境和社会服务功能,满足人类社会可持续发展的需求。

2 水功能区划

水功能区,是指为满足和平衡河流、湖泊水资源合理开发利用和有效保护的需求,根据其水资源的自然条件、功能要求、开发利用现状,按照流域总体规划、水资源保护规划和经济社会发展要求,在相应水域根据其主导功能划定并执行相应质量标准的特定区域。

为加强水资源管理与保护,2012 年国务院批复了水利部会同国家发展和改革委员会、环境保护部拟定的《全国重要江河湖泊水功能区划(2011—

2030 年)》,为全面落实最严格水资源管理制度,做好水资源开发利用与保护、水污染防治和水环境综合治理工作提供了重要依据。全国重要江河湖泊水功能区划分为水功能一级区和水功能二级区,一二级水功能区合计 4 493 个。其中,一级水功能区划分为保护区、缓冲区、开发利用区和保留区 4 类,共 2 888 个,区划河长 177 977 km,区划湖库面积 43 333 km²;在水功能一级区划的基础上,根据二级区划分类与指标体系,在开发利用区进一步划分饮用水源区、工业用水区、农业用水区、渔业用水区、景观娱乐用水区、过渡区和排污控制区共 7 类水功能二级区,二级水功能区共 2 738 个,区划长度 72 018 km。全国重要江河湖泊水功能区划中水功能区划分及各功能区的描述如表 1 所示。

全国水功能区划将我国主要河流、湖泊、水库划分了不同的水功能区并根据各自水体功能规定了不同水功能区水质目标,以保证水资源开发利用发挥最大的社会、经济和环境效益,但是区划还未建立水体功能与生态健康状况之间的联系。唐涛等^[22]认为水功能区管理制度可以满足一定的河流管理需求,但对河流的生态状况关注不够,在实际应用中难以遏制河道系统功能继续退化的态势。因此亟须发展基于水功能区划的河湖健康评估研究,促进水功能区划与河湖健康评估两种管理制度有机结合,为维护河流、湖泊健康,加强流域重要河流、湖泊管理、规划与保护提供基础支撑。

3 基于水功能区划的河湖健康内涵与评估原则

3.1 河湖健康与水功能区划的关系

耿雷华等^[23]认为,健康的河流应能在水循环的基础上满足正常的物质和能量循环以及合理的结构和健全的功能要求,对自然干扰的长期效应具有抵抗力和恢复力,并发挥其正常的各项功能和效益。

依据全国重要江河湖泊水功能区划,特定河流、湖泊被划分为具有不同功能和作用的区域,一条河流可由多种水功能区组成,用以控制和引导河流、湖泊的使用方向。水功能区划实质是要求河流、湖泊在维护其生态功能和环境功能的基础上,最大限度地发挥其社会服务功能。

水功能区划管理制度的设置满足河湖健康内涵要求,划分水体功能是为了更好地保护河流、湖泊,维护河湖生态健康并使河湖实现满足人类经济社会可持续发展的价值;河湖健康评估的目的是促进河流、湖泊水生态与水环境保护和水资源可持续利用,通过评估河流、湖泊健康状态,了解河流、湖泊自然属性和社会属性现状,协调水体功能的有效发挥与水资源保护之间的关系,实质也是为水功能区管理服务。

由此可见,水功能区划与河湖健康评估两种管理制度通过实现河湖的生态、环境和社会服务功能协调发展的目的而达到紧密结合,两者是有机统一的关系,共同为维护河流、湖泊健康状态,实现水资源有效管理与保护提供科学支撑。

3.2 基于水功能区划的河湖健康内涵

根据河湖健康内涵分析,健康的河流、湖泊应该是其生态系统水文、形态结构、水质、生物等层面功能的完整性得到保持并且社会服务价值能得到充分发挥,具有生态、环境和社会服务功能,满足人类社会可持续发展的需求。其中,社会服务功能主要侧重河流、湖泊对人类经济社会发展的支撑和贡献,是人类开发、利用、保护河流、湖泊并维持其健康的关键所在。

水功能区划要求根据不同水域的功能定位,实行分类保护和管理,比如对保护区水体,禁止进行不利于功能保护的活動,实施重点保护;对协调用水矛盾突出的省界缓冲区,实行重点监管,促进经济社会发展与水资源承载能力相协调;对保留区水体,实施现状保护,该水域为今后开发利用预留;饮用水源区、工业用水区、农业用水区、渔业用水区、景观娱乐

表 1 全国重要江河湖泊水功能区划

一级区	二级区	一级、二级合并	定义
保护区		保护区	对水资源保护、自然生态系统及珍稀濒危物种的保护具有重要意义,需划定范围进行保护的水域
缓冲区		缓冲区	为协调省际、用水矛盾突出的地区间用水关系而划定的水域
保留区		保留区	目前水资源开发利用程度不高,为今后水资源可持续利用而保留的水域
开 发 利 用 区	饮用水源区	饮用水源区	为城镇提供综合生活用水而划定的水域
	工业用水区	工业用水区	为满足工业用水需求而划定的水域
	农业用水区	农业用水区	为满足农业灌溉用水而划定的水域
	渔业用水区	渔业用水区	为水生生物自然繁育以及水产养殖而划定的水域
	景观娱乐用水区	景观娱乐用水区	以满足景观、疗养、度假和娱乐需要为目的的江河湖库等水域
	过渡区	过渡区	为满足水质目标有较大差异的相邻水功能区间水质要求而划定的过渡衔接水域
	排污控制区	排污控制区	生产、生活废水排污口比较集中的水域,且所接纳的废污水不对下游水环境保护目标产生重大不利影响

用水区、过渡区、排污控制区等水体,实施功能保护,人类活动不得影响各自水体功能,并要求执行相应的水质标准。

由此可见,基于水功能区划的河湖健康内涵,就是河流、湖泊应保持其水文、形态结构、水质、生物等自然属性层面功能的完整,不同水功能区的主导水体功能得到维护并可持续发挥,水资源得到合理使用、有效管理与保护,生态、环境和社会服务功能协调统一,为人类社会可持续发展服务。

3.3 基于水功能区划的河湖健康评估原则

通过建立系统科学的河湖健康评估指标体系反映河流、湖泊健康状况是河流、湖泊环境质量和生态系统保护的重要环节。近年来,国内外关于河湖健康评估指标体系研究多有报道并付诸实践,构建了一系列各具特色的指标体系和评估方法,支撑了河流、湖泊环境质量和生态系统保护,如澳大利亚溪流状况指数 (ISC)^[24] 和河流评估系统 (AUSRIVAS)^[25]、美国快速生物评估协议 (RBPs)^[26]、英国河流栖息地调查 (RHS) 方法^[27] 及河流无脊椎动物预测和分类系统 (RIVPACS)^[28]、南非栖息地完整性指数 (IHI)^[29]、欧盟水框架指令 (WFD)^[30] 等。近年来,我国在建立河湖健康评估指标体系,以及实现河流、湖泊的可持续管理等方面开展了大量研究^[5,31],但由于我国幅员辽阔,全国七大流域的河流、湖泊因地理位置、气候等自然条件的不同,使其水文、水质、生态系统差异较大,因而评估河湖健康的指标也不同。目前,虽然各大流域已经逐步开展河湖健康评估工作,开始从河湖健康角度管理与保护河流、湖泊,但是全国标准的河湖健康评估指标体系尚未建立,因此并不利于指导流域层面的河流、湖泊管理与保护工作。在国务院批复的《全国重要江河湖泊水功能区划(2011—2030 年)》基础上,建立基于水功能区划的河湖健康评估指标体系,有助于从水功能区管理角度,推动全国河湖健康评估指标体系的发展与不断完善。

基于水功能区划的河湖健康评估指标体系中,河流、湖泊自然属性包含水文、形态结构、水质、生物等准则层,社会属性主要包含反映社会服务功能的经济和社会等准则层,该指标体系的健康河流、湖泊特征如表 2 所示。

根据以上分析,要建立基于水功能区划的河湖健康评估指标体系,需要在特定河流、湖泊所处的水功能区中,根据不同水功能区的自然属性和主导水体功能类型,确定评估的重点,由此设置不同水功能区评估体指标系中各属性权重及评估指标,体现不同河流、湖泊水功能区特征。基于水功能区划的河湖健康

表 2 基于水功能区划的河湖健康评估指标体系的健康河流、湖泊特征

属性 准则层		健康河流、湖泊特征
自然属性	水文	流量变化、最低生态流量、用水量、泥沙输移、水资源承载能力、水环境承载能力等水文水资源情势应满足水体功能要求
	形态结构	河流、湖泊形态结构合理,河岸带/湖滨带功能完善
	水质	水环境状况良好,水质目标能达到所在水功能区水质目标,满足水功能区纳污能力要求
	生物	水生生物丰富多样,物种多样性好
社会属性	经济	河流、湖泊的生活用水、工业用水、农业灌溉、渔业养殖、景观娱乐、发电、防洪等人类服务功能的经济效益得到有效发挥
	社会	河流、湖泊的主体功能能够得到满足并被充分利用,河流、湖泊社会服务功能健全

评估重点确定原则如表 3 所示。同时,评估指标的設置原则应该体现上述基于水功能区划的健康河流、湖泊特征,才能够全面反映河流、湖泊的健康状态。

表 3 基于水功能区划的河湖健康评估重点确定原则

水功能区类别	评估重点
保护区	水文准则层、水质准则层、生物准则层
缓冲区	水文准则层、水质准则层
保留区	水文准则层、水质准则层
饮用水源区	水质准则层
工业用水区	社会服务功能准则层
农业用水区	水质准则层、社会服务功能准则层
渔业用水区	水质准则层、社会服务功能准则层
景观娱乐用水区	社会服务功能准则层
过渡区	水文准则层、水质准则层
排污控制区	水质准则层

4 结 论

基于水功能区划的河湖健康,其内涵就是河流、湖泊应保持其水文、形态结构、水质、生物等自然属性准则层功能的完整,不同水功能区的主导水体功能得到维护并可持续发挥,水资源得到合理使用、有效管理与保护,生态、环境和社会服务功能协调统一,为人类社会可持续发展服务。基于水功能区划的河湖健康评估,应根据不同水功能区的自然属性和主导水体功能类型,确定评估的重点,由此设置不同水功能区评估体系种各属性权重及评估指标,同时评估指标的設置应该体现基于水功能区划的健康河流、湖泊特征,才能够全面反映河流、湖泊的健康状态。

参考文献：

[1] 蔡守华,胡欣. 河流健康的概念及指标体系和评价方法 [J]. 水利水电科技进展,2008,28 (1) : 23-27. (CAI Shouhua, HU Xin. Concept of river health and index system for its evaluation [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2008,28 (1) : 23-27. (in Chinese))
[2] 孟伟,张远,郑丙辉,等. 生态系统健康理论在流域水环

- 境管理中应用研究的意义、难点和关键技术[J]. 环境科学学报, 2007, 27(6): 906-910. (MENG Wei, ZHANG Yuan, ZHENG Binghui, et al. The significance, challenge and key technologies in the application of ecosystem health method in watershed environmental management[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2007, 27(6): 906-910. (in Chinese))
- [3] 马荣华, 杨桂山, 段洪涛, 等. 中国湖泊的数量、面积与空间分布[J]. 中国科学: 地球科学, 2011, 41(3): 394-401. (MA Ronghua, YANG Guishan, DUAN Hongtao, et al. China's lakes at present: number, area and spatial distribution[J]. Scientia Sinica Terrae, 2011, 41(3): 394-401. (in Chinese))
- [4] 杨桂山, 马荣华, 张路, 等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略[J]. 湖泊科学, 2010, 22(6): 799-810. (YANG Guishan, MA Ronghua, ZHANG Lu, et al. Lake status, major problems and protection strategy in China[J]. Journal of Lake Sciences, 2010, 22(6): 799-810. (in Chinese))
- [5] 张晶, 董哲仁, 孙东亚, 等. 基于主导生态功能分区的河流健康评价全指标体系[J]. 水利学报, 2010, 41(8): 883-892. (ZHANG Jin, DONG Zheren, SUN Dongya, et al. Complete river health assessment index system based on eco-regional method according to dominant ecological functions[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41(8): 883-892. (in Chinese))
- [6] 董哲仁. 河流健康评估的原则和方法[J]. 中国水利, 2005(10): 17-19. (DONG Zheren. Principles and methods of river health assessment [J]. China Water Resources, 2005(10): 17-19. (in Chinese))
- [7] US EPA. The watershed protection approach. the annual report 1992 [R]. Washington D C: US EPA, Office of Water, 1993.
- [8] 邓红兵, 王庆礼, 蔡庆华. 流域生态学: 新学科、新思想、新途径[J]. 应用生态学报, 1998, 9(4): 443-449. (DENG Hongbing, WANG Qinli, CAI Qinghua. Watershed ecology: new discipline, new idea and new approach[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1998, 9(4): 443-449. (in Chinese))
- [9] 张华, 骆永明. 美国流域生态健康评价体系的发展和实践[J]. 应用生态学报, 2013, 24(7): 2063-2072. (ZHANG Hua, LUO Yongming. Assessment system for watershed ecological health in the United State: development and application [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, 24(7): 2063-2072. (in Chinese))
- [10] KARR J R. Ecological integrity and ecological health are not the same [C]//SCHULZE P. Engineering within Ecological Constraints. Washington D C: National Academy Press, 1995.
- [11] 许士国, 石瑞花, 赵倩. 河流功能区划研究[J]. 中国科学: E 辑 技术科学, 2009, 39(9): 1521-1528. (XU Shiguo, SHI Ruihua, ZHAO Qian. Research on the river function regionalization [J]. Science China: Ser E Technology Sciences, 2009, 39(9): 1521-1528. (in Chinese))
- [12] KARR J R. Defining and measuring river health [J]. Freshwater Biology, 1999, 41: 221-234.
- [13] KARR J R. Engineering within ecological constraints [M]. Washington, D C: National Academy Press, 1996: 97-101.
- [14] SCHOFIELD N J, DAVIES P E. Measuring the health of our rivers [J]. Water, 1996, 56(23): 39-43.
- [15] 孙雪岚, 胡春宏. 河流健康的内涵及表征[J]. 水电能源科学, 2007, 25(6): 26-28. (SUN Xuefeng, HU Chunhong. River health: connotation and characteristic [J]. Water Resources and Power, 2007, 25(6): 26-28. (in Chinese))
- [16] MEYER J L. Stream health: incorporating the human dimension to advance stream ecology [J]. Journal of the North American Benthological Society, 1997, 16(2): 439-447.
- [17] VUGTEVEEN P, LEUVEN R S E W, HUIJBREGTS M A J, et al. Redefinition and elaboration of river ecosystem health: perspective for river management [J]. Hydrobiologia, 2006, 565: 289-308.
- [18] FAIRWEATHER P G. State of environment indicators of 'river health': exploring the metaphor [J]. Freshwater Biology, 1999, 41: 211-220.
- [19] BOULTON A J. An overview of river health assessment: philosophies, practice, problems and prognosis [J]. Freshwater Biology, 1999, 41: 469-479.
- [20] 刘恒, 涂敏. 对国外河流健康问题的初步认识[J]. 中国水利, 2005(4): 19-23. (LIU Heng, TU Min. Brief review of healthy river issues in foreign countries [J]. China Water Resources, 2005(4): 19-23. (in Chinese))
- [21] LIU C M, LIU X Y. Healthy river and its indication, criteria and standards [J]. Journal of Geographical Sciences, 2009, 19(1): 3-11.
- [22] 唐涛, 蔡庆华. 水生态功能分区研究中的基本问题[J]. 生态学报, 2010, 30(22): 6255-6263. (TANG Tao, CAI Qinghua. The essential issues in aquatic ecological function regionalization [J]. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(22): 6255-6263. (in Chinese))
- [23] 耿雷华, 刘恒, 钟华平, 等. 健康河流的评价指标和评价标准[J]. 水利学报, 2006, 37(3): 253-258. (GENG Leihua, LIU Heng, ZHONG Huaping, et al. Indicators and criteria for evaluation of healthy rivers [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(3): 253-258. (in Chinese))
- [24] LADSON A R, WHITE L J, DOOLAN J A, et al. Development and testing of an index of stream condition for waterway management in Australia [J]. Freshwater Biology, 1999, 41: 453-468.
- [25] HART B T, DAVIES P E, HUMPHREY C L, et al. Application of the Australian river bioassessment system

- (AUSRIVAS) in the Brantas River, East Java, Indonesia [J]. *Journal of Environmental Management*, 2001, 62(1): 93-100.
- [26] BARBOUR M T, GERRITSEN J, SNYDER Blaine, et al. Rapid bioassessment protocols for use in streams and Wadeable Rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish [R]. Washington D C: U. S. Environmental Protection Agency, Office of Water, 1999.
- [27] RAVEN P J, HOLMES N T H, NAURA M, et al. Using river habitat survey for environmental assessment and catchment planning in the U K [J]. *Hydrobiologia*, 2000, 422/423: 359-367.
- [28] WRIGHT J F, SUTCLIFFE D W, FURSE M T. Assessing the biological quality of fresh waters: RIVPACS and other techniques [M]. Ambleside, Cumbria, U K: The Freshwater Biological Association, 2000: 124.
- [29] KLEYNHANS C J. A qualitative procedure for the assessment of the habitat integrity status of the Luvuvhu River [J]. *Journal of Aquatic Ecosystem Health*, 1996 (5): 41-54.
- [30] European Communities. Directive 2000/60/EC of the European parliament and the council of 23rd October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy [J]. *Official Journal of the European Communities*, 2000, 43: 1-15.
- [31] 涂敏. 基于水功能区水质达标率的河流健康评价方法 [J]. *人民长江*, 2008, 39(23): 130-133. (TU Min. River health assessment methods based on the probability of meeting water quality standard [J]. *Yangtze River*, 2008, 39(23): 130-133. (in Chinese))
- (收稿日期: 2016-03-11 编辑: 熊水斌)
-
- (上接第 130 页)
- [19] 蔡琨, 张杰, 徐兆安, 等. 应用底栖动物完整性指数评价太湖生态健康 [J]. *湖泊科学*, 2014, 26(1): 74-82. (CAI Kun, ZHANG Jie, XU Zhaoan, et al. Application of benthic index of biotic integrity for the ecosystem health assessment of Lake Taihu [J]. *Journal of Lake Sciences*, 2014, 26(1): 74-82. (in Chinese))
- [20] SILVERA M P, BAPTISTA D F, BUSS D F, et al. Application of biolotical measures for stream integrity assessment in south-east Brazil [J]. *Environment Monitoring and Assessment*, 2005, 10(1): 117-128.
- [21] BARBOUR M T, GERRITSEN J, GRIFFITH G E, et al. A framework for biological for biological criteria for Florida streams using benthic macroinvertebrates [J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 1996, 15(2): 185-211.
- [22] BLOCKSOM K A, KURTENBACH J P, KLEMN D J, et al. Development and evaluation of the lake macroinvertebrate integrity index (LMII) for New jersey lakes and reservoirs [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2002, 77(3): 311-333.
- [23] 耿世伟, 渠晓东, 张远, 等. 大型底栖动物生物评价指数比较与应用 [J]. *环境科学*, 2012, 33(7): 2281-2287. (GENG Shiwei, QU Xiaodong, ZHANG Yuan, et al. Comparison and application of biological indices of macroinvertebrates in river health assessment [J]. *Environment Science*, 2012, 33(7): 2281-2287. (in Chinese))
- [24] 殷旭旺, 徐宗学, 高欣, 等. 渭河流域大型底栖动物群落结构及其与环境因子关系 [J]. *应用生态学报*, 2013, 24(1): 218-226. (YIN Xuwang, XU Zongxue, GAO Xin, et al. Macrobenthos community structure and its relationships with environmental factors in Weihe River Basin, Northwest China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(1): 218-226. (in Chinese))
- [25] 张欣, 徐宗学, 殷旭旺, 等. 济南市水生态功能分区研究 [J]. *北京师范大学学报 (自然科学版)*, 2016, 52(3): 303-310. (ZHANG Xin, XU Zongxue, YIN Xuwang, et al. Freshwater ecological function zoning in Jinan City [J]. *Journal of Beijing Normal University (Nature Sciences)*, 2016, 52(3): 303-310. (in Chinese))
- [26] 李强, 杨莲芳, 吴璟, 等. 底栖动物完整性指数评价西苕溪溪流健康 [J]. *环境科学*, 2007, 28(9): 2141-2147. (LI Qiang, YANG Lianfang, WU Jing, et al. Stream health assessment using a benthic-index of biotic integrity in Xitiao Stream, Zhejiang Province, China [J]. *Environment Science*, 2007, 28(9): 2141-2147. (in Chinese))
- [27] 杨柳, 李泳慧, 王俊才, 等. 基于 B-IBI 指数的温榆河生态健康评价 [J]. *生态学报*, 2012, 32(11): 3313-3322. (YANG Liu, LI Yonghui, WANG Juncai, et al. The assessment of river health using benthic-index of biotic integrity for Wenyu River [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2012, 32(11): 3313-3322. (in Chinese))
- [28] VLEK H E, VERDONSCHOT P F M, NIJBOER R C. Towards a multimetric index for the assessment of Dutch streams using benthic macroinvertebrates [J]. *Hydrobiologia*, 2004, 516(1): 173-189.
- [29] 陈桥, 徐东炯, 张翔, 等. 太湖流域平原水网区底栖动物完整性健康评价 [J]. *环境科学研究*, 2013, 26(12): 1301-1308. (CHEN Qiao, XU Dongjiong, ZHANG Xiang, et al. A preliminary benthic index of biotic integrity (B-IBI) for bioassessment of the plain waterway network of Taihu Basin [J]. *Research of Environmental Sciences*, 2013, 26(12): 1301-1308. (in Chinese))
- [30] KARR J R. Assessment of biotic integrity using fish communities [J]. *Fisheries*, 1981, 6(6): 21-27.
- (收稿日期: 2016-06-22 编辑: 徐 娟)