

基于环境管理的河流健康评价体系的研究进展

黄艺*, 文航, 蔡佳亮

北京大学环境科学与工程学院, 北京 100871

摘要: 随着河流环境的逐渐退化, 其自然功能和社会功能都受到了严重的威胁, 河流健康评价的研究也逐渐成为河流生态研究的热点之一。河流健康评价体系能够明确河流的健康状态, 为环境管理和生态修复提高理论基础, 同时提高环境管理和生态修复的针对性和有效性。然而, 环境管理也是河流健康评价体系的制定基准和目标。文章从国内外研究对河流健康的内涵和河流健康评价的指标体系两个方面进行了综述和分析。目前, 国际上对于河流健康的内涵逐渐由仅关注自然功能, 向与社会功能等方面结合的方向扩充。河流健康评价指标体系主要有两种: 一是指示物种评价法, 二是指标综合体系评价法。通过比较这两种方法的发展和优劣, 我国更适宜于指标综合体系评价方法, 有助于环境管理措施的制定。最后, 通过结合和借鉴国内外已有的研究成果, 构建了针对我国国情的、基于环境管理的河流健康评价理论框架。

关键字: 河流健康; 河流健康评价; 环境管理; 理论框架

中图分类号: X826

文献标识码: A

文章编号: 1674-5906 (2010) 04-0967-07

河流对人类社会起着非常重要的作用, 提供了诸如水利、资源、生态和环境等一系列功能。同时, 河流也是在世界范围内受人类活动影响最强烈的生态系统。尤其是近十几年来, 人类社会经济的发展使得河流流域的污染不断加剧。要遏止河流环境退化, 就必须充分了解河流环境的现状, 进而有针对性的进行环境管理和生态修复。河流健康 (river health) 评价作为一种能评估工具和技术手段, 因能识别人类活动对河流系统功能的影响同时确定河流区段内的环境管理和生态修复的目标而逐渐成为研究热点。因此, 基于环境管理的河流健康评价体系是进行生态修复的前提, 是使河流健康退化程度最小化的方法的必要措施, 同时也是政府部门对河流进行管理规划的科学途径之一。本文综合评述了河流健康内涵、评价指标体系和评价框架, 同时对于我国河流健康评价提出建设性的思路框架和建议, 以利于河流的环境管理。

1 河流健康的内涵

河流是在相应的地理、气候、水文条件下经过长期演变形成的完整而和谐的生态系统^[1]。自二十世纪七十年代起, 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^[2]。由于河流本身的变化性以及各个国家地区自身地理条件、基本国情以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达成统一的认识。Suter^[3]认为对于生态系统而言, 健康的说法是不恰当的。有学者也认为河流健康更侧重于是一种河流管理的评价工具^[4], 随时间和空间变化,

无法用固定的参数指标来判断^[5]。karr^[6]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^[7]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。Meyer^[8]和 Vugteveen^[9]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。LIU C M^[10]则立足于我国的河流现状, 提出河流健康是要在相应时期河流的社会功能与自然功能和谐并能够均衡发挥的河流, 其标志则是水质状况、畅通的河床以及能维系的河流生态系统。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^[11], 进一步拓宽了河流健康的内涵。美国阿拉巴马河流联盟 (Alabama Rivers Alliance) 的十年规划^[12]中也将流域健康的建设列为其首要目标。

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

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项: 流域水生态功能分区与质量目标管理技术项目 (2008ZX07526-001-04)

作者简介: 黄艺 (1964年生), 女, 副教授, 主要从事水环境控制与环境生态学研究。E-mail: yhuang@pku.edu.cn。*通讯作者

收稿日期: 2010-03-15

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,进而会影响到具体的环境管理措施。如河流上游水源地区段,河流健康则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。

2 河流健康的评价方法

了解河流的健康状况可使河流管理和生态修复更加合理有效,同时河流退化的过程可以被明确化,因此有目标性的针对河流健康进行准确的评估是十分必要的。而河流健康评价要成功地执行,则依赖于合理的、有科学依据的评价指标工具。在河流系统评价的发展初级阶段,仅仅将评价指标局限在物理—化学性质上^[13],环境管理的相关监督机制也仅仅停留在物化指标等状况。随着评价体系的逐渐完善,大多数欧洲国家将“水环境框架体系”(Water Framework Directive)^[14]纳入环境政策。同时,将评价体系逐渐扩展到河流健康和修复的生物、物理和化学等多个方面,完善河流环境管理策略。根据评价体系的具体标准体系,评价方法大概可分为两类:指示物种评价法和指标体系综合评价法。

2.1 指示物种评价法

指示物种评价法,主要是依据河流中的关键物种、特有物种、濒危物种、长寿命物种和环境敏感物种等的数量、生物量、生产力、结构指示、功能指示及其一些生理生态指标等来描述生态系统的健康状况^[15]。利用选取的指示物种(类群)的结构和数量等要素的变化与河流的退化程度之间的联系,表征河流系统的健康程度,从而进行相应的管理政策^[2]。

不同的生物在河流生态系统内具有不同的生态特征和时空尺度^[16],因此应根据具体地区情况选择生物进行评价。鱼类指标由于其能够在不同空间范围内对环境影响进行表征^[17],已被广泛运用。英国莱茵河拯救项目(The Rhine Action Programme)通过分析莱茵河中影响河流健康的主要影响指标如溶解氧、流量和河道形式等,对鱼类在河流中的

生存和繁殖存在一定影响,因而将远距离迁移鱼类作为莱茵河的河流健康评价和生态修复主要标志,尤其是大西洋大马哈鱼^{[18][19]}。大马哈鱼在莱茵河的迁徙以及再度成功的自然繁殖被认为是该河流健康逐渐恢复的重要指标;同时根据大马哈鱼的习性和产卵地区,将莱茵河的汇水区域全都纳入河流管理及修复范围。法国水利部门把鱼类列为可在全国范围内使用的指标,因为其可以说明河流地理、生态和特定地区的具体情况之间的相对重要性^[17]。同时也因为(1)鱼类在很多水体中都广泛存在;(2)鱼类的分类、生态需求和生命周期都比其他综合指标(大型无脊椎动物和着生藻类等)更明确;(3)具有不同层次的营养水平;(4)具有经济和美学价值,同时有助于提高保护水生态环境的意识。许多生物指数方法也是基于鱼类物种建立起来的。生物完整性指数 IBI (Index of Biotic Integrity)^[20]通过测定鱼类种群的特征来评价鱼类的生境状况,进而评价河流健康状况。IBI 指数包含河流鱼类物种丰富度、指示种类别、营养类型、鱼类数量等 12 项指标,由于其(1)将河流的结构和功能整合;(2)在生态上具有十分广泛的意义;(3)灵活性强且应用广泛;(4)相对健全以及(5)被广泛用于环境管理^[21],其被用于美国中西部河流的健康状况评价中。鱼类集合体完整性指数 FAII (Fish Assemblage Integrity Index)^[22]则是建立在鱼类群落耐污性差异基础上的河流健康评价方法。鱼类健康指数(Health Assessment Index, HAI)^[23]是另外一种指示物评价的数学方法,其能够通过鱼类种群数量评价河流的健康状况。这种方法能比较不同鱼类物种之间的数量差异且能够迅速、简便以及廉价地用于相关评价方面^[24]。基于罗马尼亚境内多瑙河流域区段建立的预备综合指标 PMI (Preliminary Multimetric Indices)^[25]而不需要鱼类物种的种数丰富度这一参数。除此之外,还有在 IBI 基础上进行改进的水生态健康指数(Aquatic Ecosystem Health Index, AEHI)^[21]和基于主成分分析的多元计量评分(Multivariate Condition Score, MCS)^[26],这些评价指数都存在选取目标物种、选取参考点、进行相应数学统计和等级评分划分的一个过程,进而达到对河流健康进行评估的目的。

河流无脊椎动物也被广泛研究于河流健康评价中,主要由于(1)其相对稳定,(2)对外界干扰的敏感性较强;(3)分布较广;(4)有一定的生命周期,能够反映河流阶段性的变化;(5)有较高的生态多样性;(6)相对容易辨别等优点。被广泛接受的基于河流无脊椎动物的河流健康评价有河流无脊椎动物预测和分类系统(River in Vertebrate

Prediction and Classification System, RIVPACS)^[27], 澳大利亚河流评价计划 (Australian River Assessment Scheme, AusRivAS)^[28], 南非计分系统 (South African Scoring System, SASS)^[29] 和营养完全指数 (Index of Trophic Completeness, ITC)^[30]。

除鱼类、无脊椎底栖动物外, 有学者开始研究将水生生态微生物纳入指示生物指标体系中, 但由于这种方法对技术要求较高, 要在短时间内进行普遍应用和接受仍存在一定难度。在指示物种评价法中, 集中关注与指示物种相关的环境影响因素, 即需要重点进行修复的环境因素。在国外, 指示物种指标之所以被广泛运用, 不仅仅是因为指示物种指标相对简单, 步骤清晰, 同时也与国外更侧重于生态环境的河流健康有关。虽然指示物种指标在一定程度上能够体现社会经济和人文的影响因素, 但由于其更加侧重于河流的生态性, 往往忽视了社会经济和人类健康参数; 另外对于鱼类、无脊椎动物等指示物种的生态分类、选择以及得分范围在一定程度上都没有得到充分解释, 因此其对环境管理的反馈存在一定的限制性。另一方面, 指示物种指标需要对生物的生存状态以及与环境的关系都有较清楚的研究和了解, 才能通过利用指示物种指标评价河流健康等级情况后, 同时得出相应的管理目标。指示物种评价法虽然能够评价河流健康的状况, 但缺乏辨别引起环境退化的因素的能力, 同时在流域系统内对所有干扰都敏感的单一河流健康指标是不存在的^[31]。因此, 可能会对其后的河流健康管理措施和河流健康修复存在一定消极的影响。

2.2 指标体系综合评价法

指标体系综合评价法, 能够综合物理、化学、生物, 甚至社会经济指标, 评价河流甚至流域内的生态系统的健康状况, 反映河流、土地利用和人类社会三者之间的相互作用。指标体系综合评价法具有多指标、多空间和多时间尺度的特征^[31]。国外已被接受和应用的指标体系综合评价法包括瑞典的岸边与河道环境细则 (RCE)^[32]、澳大利亚的河流状况系数 (ISC)^[33]、欧盟水框架计划 (The European Union Water Framework Directive)^[34] 和南非的河流健康计划 RHP^[35]。其中 RCE 的指标系统包含河岸带土地利用指标、河道物理指标以及生物指标等三类, 根据实际调查的情况对每项指标进行打分, 进而通过数学处理得到最后得分评价河流的健康状况。然而 ISC 则是基于河流水文学、物理构造特征、河岸区状况、水质及水生生物 5 个大方面共计 22 项指标体系积分而建立的综合评价体系, 但仍缺少能够直观反映社会功能需求的指标因子, 这也与国外侧重于河流生态健康有关。

在我国, 由于我国国情的限制, 利用指标体系综合评价法, 充分结合具体特定情况的河流的自然功能和社会功能进行侧重的评价, 相对于指示物种法更加合理, 同时也能更好地制定相应的环境管理措施。为此, 我国已有一部分研究对我国的部分河流建立局部河流健康评价体系。

耿雷华等人^[36]基于河流的特性, 从河流的服务功能、环境功能、防洪功能、开发利用功能和生态功能出发, 构建了单一目标层、5 个准则层和 25 个具体指标的健康河流评价体系, 将澜沧江流域的河流健康划分为处于良好状态的下缘。

刘昌明等人^[37]以黄河为研究对象研究其河流健康评价体系时, 将评价体系的重点放于河流的流量、水质、水沙关系和供水保证率等主导性因子上, 进而将河流健康状态根据河流健康指数 RHI 的变化, 分为健康、亚健康、过渡区、不健康和病态五种类型。

张楠等人^[38]采用主成分分析与相关性分析方法对所需的 23 个指标体系先进行了筛选, 进而构建了由五日生化需氧量、溶解氧、电导率等 10 个指标构成的河流健康综合评价体系, 以改进的灰关联方法作为评价方法来判断该指标体系下的辽河的健康等级情况。同时将健康等级分为“健康”、“亚健康”、“较差”和“极差”四个等级。

为了使河流健康的评价等级状况更加明确化, 许士国等人^[1]提出了河流功能区划的概念, 主要是针对不同的生态健康等级以及人类活动的需求程度, 即自然生态功能 (水文、河流形态结构、河岸带状况、水质和水生物) 和社会功能 (防洪安全、供水能力、调节能力、文化美学功能和水环境容量) 评级 2 个约束为准则, 通过双约束矩阵进行功能评分, 将浑河沈阳主城区段划分为生态保护区、生境修复区、缓冲区、开发利用区和过渡区等五个健康等级不同的功能区, 从而便于进行河流健康的管理, 同时对受人类活动影响较大的地区按系统要求进行生态修复。

张国平等^[39]从流域的空间尺度上, 对龙河流域系统的健康状况进行评价。从生态经济学和资源经济学的原理出发, 运用市场价值法、影子工程法、资产费用法等多种生态系统服务功能评价方法对龙河流域生态系统服务功能价值进行了评估。同时在此基础上, 结合流域的生态系统特征、功能和社会人文等指标为一级指标, 构建了龙河流域的系统健康评价指标体系。采用模糊综合评价法对流域健康进行了综合评价。此外, 珠江的河流健康评价^[40]、栾河山区流域和北四河平原流域^[41]也都是从流域的空间尺度上进行健康评价的。

随着监测手段越来越多样化,将遥感(RS)、地理信息系统(GIS)和全球定位系统(GPS)纳入指标体系中也越来越频繁。这对于在流域尺度上对河流健康进行评价来说有重要意义,为河流系统的管理提供了更强大的基础数据和决策依据。同时也发展了水—陆相互作用的指标诸如河岸植被带指数(RVI)和土地利用率(NDVI)等一系列与3S密切相关的指标因子。

3 基于我国环境管理的河流健康评价体系的理论框架

国外的评价体系框架^[9]大概可分为自上而下的评价框架和自下而上的评价框架。其中自上而下评价法是较为宏观且不需考虑所有的内部结构和过程的综合方法,只需了解河流系统在外界压力下做出的反应;而自下而上评价框架则侧重于表现外界压力与表现结果之间的因果关系。而我国的评价体系框架则较为零乱,没有在全国范围内建立一套较为基本的河流健康评价的思路框架,对进行河流的管理和生态修复带来了极大的不便。因此,基于国内外的现有研究进展,构思了一套框架思路,如图1所示。

河流健康评价体系总体布局上分为三个大部分:

(1)明确问题概念。在建立我国的评价体系时,可能不能达到国外更侧重于生态保护的目标,同时对于全国范围而言,要保持河流的原始状态是不科学的、不理性的,也是不现实的。要做的是在保护中对河流进行合理的开发,在开发中进行保护,从而达到双赢的目的。因此在评价之前,应该定义符合具体情况所需的河流健康的内涵,如自然功能和社会功能各占多大的比重。只有根据具体情况明确河流健康所应具备的内涵,才能更好地构建基于环境管理基础上的河流健康评价体系。以黄河为例,由于黄河常年水量处于警戒位置,要保持黄河流域的生态完整性,首先就有必要保证其不断流、不枯竭,其它生态功能才能得到发挥,因此在定义该地区河流健康的内涵时,更多地应该侧重于河流的生态完整性,管理措施也应该着重于针对这种特征进行相应制定。

(2)确定划分框架。确定划分框架中又可分为5个步骤:明确应用对象、指标选择、指标权重设定、标准设定和结果表达。在明确应用对象时,应

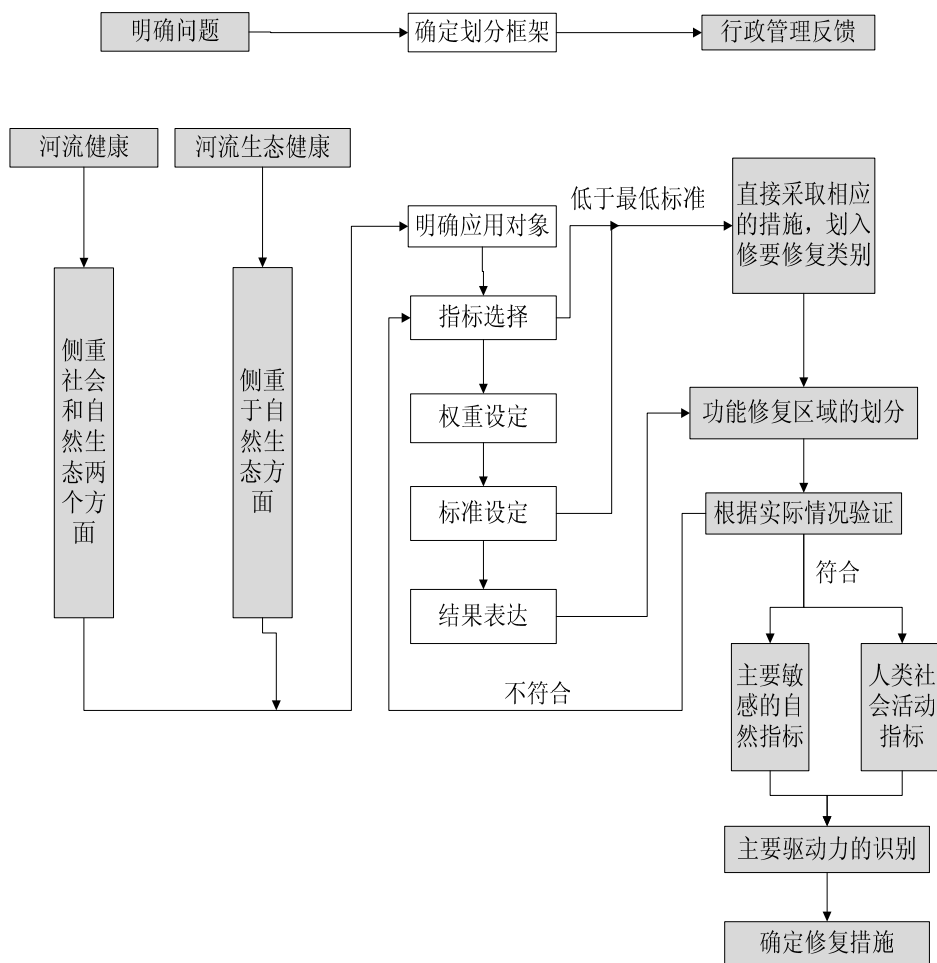


图1 河流健康评价体系框架

Fig. 1 Framework for river health assessment system

明确所研究的河流处于怎样的背景环境中,如是否常年干旱,是否经过长期的人工改造等。背景环境的确定对于指标选择和权重都具有十分重要的意义,而现阶段的研究都基本没有将河流的背景环境在研究之初就放在关键点,如有些河流可能长期枯水,可能没必要再进行深入的健康评价,该河流可明确认定为需要进行生态修复,且首要步骤是使其常年有水。因此,环境管理措施则侧重于保持河流的水量。在指标体系的搭建上,选取多指标层次分析法,分为四个等级的指标。其中一级指标包括:自然功能和社会功能;二级指标包括:水质理化参数、水生态指标、河流形态结构、河流水文特征、河岸带状况等;三级指标和四级指标是根据实际情况对于上级的相对扩充和细化,同时要保持其相对独立性。对于权重的设置,每个指标的等重在不同的地区或者由于时间因素的影响并不相同,用等重比例极有可能得出的结果与实际脱节。因此,可根据层次分析法要求,通过专家咨询和打分结合实验判断,按结构图的层次结构关系进行判别比较,分别构造判断矩阵,然后计算出河流健康各指标权重。对于标准的设定,澳大利亚 ISC 以欧洲人入侵之前的河流状况作为评价的标准;RCE 则以无人为干扰的作为评价的标准;URHA 将城市化之前河流状况设为自然^[42]。这三种标准的设定对我国都不适合,但由于我国已经有相关的国家标准,因此利用国家相关标准作为评价依据时,既能相对简便,也能使各地区的评价标准统一化。最后结果表达部分,应该明确等级的程度层次,同时名称规范化,内容具体化,进而为相应力度的管理措施打下基础。

(3) 管理措施的反馈。河流管理的最高目标即通过各种管理措施提高河流健康状况,达到河流可持续发展。根据双矩阵约束的评价区划结果,对重点区域进行分析,重新回到指标分析的步骤上,将那些低分值以及相关的指标作为重点筛选出来,与社会经济方面的数据进行主成分分析,从而可分析得出环境指标与社会指标之间存在的相关关系,得到主要的驱动力,为环境管理打下基础。

河流健康评价框架中指标体系的构建都是以明确环境管理方向为基础的,因为指标体系能够反映河流自然和社会功能中各自的状态,通过这些指标所构造的框图,相关环境管理部门和人员能够对河流健康状态有大概的了解,从而在我国河流环境管理过程中据此确定管理行为的优先顺序,制定相应的政策。同时在指标体系的构建框架中,分析每一项三级指标,如果该指标存在明显的问题,如经常断流等,便可直接采取相应的首要措施来保证河

流健康。因此,河流健康的各个步骤的设定都应是为河流环境的管理提供便利和服务的。

虽然我国极力关注全国范围内水环境生态状况,但河流健康的评价、管理以及生态修复的研究仍处于一个较初级的阶段,一套适用于全国范围的河流系统健康理论和评价大纲是十分必要的,这也是实现我国河流环境与社会和谐发展的重要手段。通过将河流环境管理设定为河流健康评价体系的方向,有利于提高河流健康综合评判的社会价值,也有助于提高河流管理的有效性。

参考文献:

- [1] 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, 9(39): 1521-1528.
XU Shiguo, SHI Ruihua, ZHAO Qian. Research on the river function regionalization[J]. Science in China Series E-Technological Sciences, 2009, 9(39): 1521-1528.
- [2] JAMES R K. Defining and measuring river health[J]. Freshwater Biology, 1999, (41): 221-234.
- [3] SUTER G W. A critique of ecosystem health concepts and indexes[J]. Environment Toxicology and Chemistry, (12): 1533-1539.
- [4] 董哲仁. 河流健康的内涵[J]. 中国水利, 2005, (4): 15-18.
DONG Zheren. River health connotation[J]. China Water Resources, 2005, (4): 15-18.
- [5] 李国英, 韩其为, 文伏波, 等. 河流健康的定义与内涵[J]. 水环境进展, 2007, 18(1): 140-150.
LI Guoyin, HAN Qiwei, WEN Fubo, et al. River health definition and connotation[J]. Advances in Water Science, 2007, 18(1): 140-150.
- [6] KARR J R. Engineering within Ecological Constraints[M]. Washington, DC: National Academy of Engineering, National Academy Press, 1996: 97-101.
- [7] SCHOFIELD N J, DAVIES P E. Measuring the health of our rivers[J]. Water, 1996, 56(23): 39-43.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] LIU C M, LIU X Y. Healthy river and its indication, criteria and standards[J]. Journal of Geographical Sciences, 2009, 19(1): 3-11.
- [11] 龙笛. 国外健康流域评价理论与实践[J]. 海河水利, 2005, (3): 1-5.
LONG Di. The theory and practice of evaluation of watershed health abroad[J]. Haihe Water Resources, 2005, (3): 1-5.
- [12] Watershed Visions Stewardship Today, Prosperity Tomorrow An Alabama Rivers Alliance Ten Year Strategic Plan[R]. 2002-2012.
- [13] OBERDORFF T, HUGHES R M. Modification of an index of biotic integrity based on fish assemblages to characterize rivers of the Seine Basin, France[J]. Hydrobiologia, 1992, 228(1): 117-130.
- [14] POLLARD P, HUXHAM M. The European water framework directive: a new era in the management of aquatic ecosystem health?[J]. Aquatic

- Conservation-Marine and Freshwater Ecosystems, 1998, 8(6): 773-792.
- [15] TONY P. Multiple attribute decision analysis for ecosystem management[J]. Ecological Economics, 1999, 30(2): 207-222.
- [16] 李春晖, 崔嵬, 庞爱萍, 等. 流域生态健康评价理论与方法研究进展[J]. 地理科学进展, 2008, 27(1): 9-17.
- LI Chunhui, CUI Wei, PANG Aiping, et al. Progress on theories and methods of watered eco-health assessment[J]. Progress in Geography, 2008, 27(1): 9-17.
- [17] THIERRY O, DIDIER P, BERNARD H, et al. A probabilistic model characterizing fish assemblages of French rivers: a framework for environmental assessment[J]. Freshwater Biology, 2001, 46(3): 399-415.
- [18] NEUMANN D. Ecological rehabilitation of a degraded large river system-Considerations based on case studies of macrozoobenthos and fish in the Lower Rhine and its catchment area[J]. International Review of Hydrobiology, 2002, 87(2-3): 139-150.
- [19] ALEXANDER J P R. Ecological rehabilitation of the dutch part of the River Rhine with special attention to the fish[J]. Regulated Rivers: Research & Management, 2001, 17(2): 131-144.
- [20] KARR J P. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. Fisheries, 1981, 6(6): 21-27.
- [21] YEOM D H, ADAMS S M. Assessing effects of stress across levels of biological organization using an aquatic ecosystem health index[J]. Ecotoxicology and Environment Safety, 2007, 67(2): 286-295.
- [22] KLEYNHANS C J. The development of a fish index to assess the biological integrity of South African rivers[J]. Water Sa, 1999, 25(3): 265-278.
- [23] GOEDE R W, BARTON B A. Organismic indices and an autopsy-based assessment as indicators of health and condition of fish[J]. American Fisheries Society Symposium, 1990, (8): 93-108.
- [24] ADAMS S M, BROWN A M, GOEDE R W. A quantitative health assessment index for rapid evaluation of fish condition in the field[J]. Transactions of the American Fisheries Society, 1993, 122(1): 63-73.
- [25] PAUL L A, GRIGORE D. Using fish communities to assess streams in Romania: initial development of an index of biotic integrity[J]. Hydrobiologia, 2004, 511(1): 65-78.
- [26] KEVIN J C. Linking multimetric and multivariate approaches to assess the ecological condition of streams[J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 157(1-4): 113-124.
- [27] WRIGHT J F, ARMITAGE P D, FURSE M T. Prediction of invertebrate communities using stream measurements[J]. Regulated Rivers: Research & Management, 1989, 4(2): 147-155.
- [28] SMITH M J, KAY W R, EDWARD D H D, et al. AusRivAS: Using macroinvertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia[J]. Freshwater Biology, 1999, 41(2): 269-282.
- [29] CHUTTER F M. Research on the rapid biological assessment of water quality impacts in streams and rivers[R]. WRC report NO 422/1/98. Water Research Commission, Pretoria.
- [30] PAVLUK T I, DE V A B, LESLIE H A. Development of an index of trophic completeness for benthic macroinvertebrate communities in flowing waters[J]. Hydrobiologia, 2000, 427(1/3): 135-141.
- [31] TOWNSEND C R, RILEY R H. Assessment of river health: account for perturbation pathways in physical and ecological space[J]. Freshwater Biology, 1999, 41(2): 393-405.
- [32] PETERSEN R C. The RCE: a riparian, channel, and environmental inventory for small streams in the agricultural landscape[J]. Freshwater Biology, 1992, 27(2): 295-306.
- [33] 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, 41(2): 453-468.
- [34] BENNION H, BATTARBEE R. The European Union water framework directive: opportunities for palaeolimnology[J]. Journal of Paleolimnology, 2007, 38(2): 285-295.
- [35] BARBOUR M T, GERRITSEN J, SNYDER B D, et al. Rapid Bioassessment Protocols for Use in Streams and Wadeable Rivers: Periphyton, Benthic Macroinvertebrates and Fish, Second Edition[M]. Washington D C: EPA 841-B-99-002. U.S. Environment Protection Agency; Office of Water, 1999: 1-10.
- [36] 耿雷华, 刘恒, 钟华平, 等. 健康河流的评价指标和评价标准[J]. 水力学报, 2006, 37(3): 253-258.
- GENG Leihua, LIU Heng, ZHONG Huaping, et al. Indicators and criteria for evaluation of healthy rivers[J]. Shuili Xuebao, 2006, 37(3): 253-258.
- [37] 刘昌明, 刘晓燕. 河流健康理论初探[J]. 地理学报, 2008, 63(7): 683-692.
- LIU Changming, LIU Xiaoyan. Healthy river: essence and indicators[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(7): 683-692.
- [38] 张楠, 孟伟, 张远, 等. 辽河流域河流生态系统健康的多指标评价方法[J]. 环境科学研究, 2009, 22(2): 162-170.
- ZHANG Nan, MENG Wei, ZHANG Yuan, et al. Multi-variable assessment of river ecosystem health in Liao River Basin[J]. Research of Environmental Sciences, 2009, 22(2): 162-170.
- [39] 张国平. 基于生态系统服务功能的龙河生态系统健康研究[D]. 重庆: 重庆大学, 2006: 58-62.
- ZHANG Guoping. Study on health assessment of Longhe River watershed ecosystem based on ecosystem service[D]. Chongqing: Chongqing University, 2006: 58-62.
- [40] 林木隆, 李向阳, 杨明海. 珠江流域河流健康评价指标体系初探[J]. 人民珠江, 2006, (4): 1-4.
- LIN Murong, LI Xiangyang, YANG Minghai. Probe into the index system for evaluating the health of the rivers in the Pearl River Basin[J]. Pearl River, 2006, (4): 1-4.
- [41] 龙笛, 张思聪, 樊朝宇. 流域生态系统健康评价研究[J]. 资源科学, 2006, 28(4): 38-44.
- LONG Di, ZHANG Sicong, FAN Chaoyu. Assessment of watershed ecosystem health[J]. Resources Science, 2006, 28(4): 38-44.
- [42] 曾小增, 车越, 吴阿娜. 3种河流健康综合性评价方法的比较[J]. 中国给水排水, 2007, 23(4): 92-96.
- ZENG Xiaozeng, CHE Yue, WU E'na. Comparison of three river health assessment methods[J]. China Water & Wastewater, 2007, 23(4): 92-96.

Research progress on river health assessment based on environmental management

HUANG Yi, WEN Hang, CAI Jialiang

College of Environmental Sciences and Engineering, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: With the degradation of a river environment, its natural features and social functions are subject to serious threat. So river health assessment has become one of the hotspots of river ecology. Furthermore, assessment provides the theoretical foundation for environmental management and ecological restoration while improving the relevance and effectiveness of management and restoration. At the same time, management is the benchmark and goal of assessment. In this paper, the connotation of river health and the index system of assessment were reviewed and analyzed. At present, the connotation of river health places more attention on the combination of nature with society, which no longer a natural condition. There are two methods of assessment: indicator species assessment and integrated indexes assessment. When comparing the advantages of the two methods, integrated indexes assessment is more suitable for China. Also, it can assist management. Finally, by combining previous research, a theoretical framework is constructed based on conditions and environmental management in China.

Key words: river health; river health assessment; environmental management; theoretic frame