

汉江中下游河流健康综合评价研究

朱 惇, 贾海燕, 周 琴

(长江水资源保护科学研究所, 湖北 武汉 430051)

摘要:汉江中下游地处湖北省经济社会发展的核心地带, 是受水利工程建设开发影响较突出的区域。以该河流为研究区域, 针对水电梯级开发程度较高以及地域社会经济发展所带来的生态环境影响, 采用资料调查与现场监测的方法, 整理分析了 2011 年前后研究河流水文水资源、物理结构、水质状况、水生生物以及社会经济等方面的相关资料, 从水文情势、水环境、水生态及服务等方面综合诊断河流健康存在的问题, 提出了受人类活动强烈干扰河流的健康评估体系。参考河流健康评价相关研究成果, 结合河流生态环境特点, 在对比分析了多种河流生态完整性状况和社会服务功能评价因子类型的基础上, 确定了具体评价指标及其指数, 利用层次分析原理和方法确定参评指标的权重。结果表明, 研究河段生态完整性赋分为 63.7 分, 虽然处于健康状态, 但已接近亚健康, 其中物理结构和水生生物健康状况相对较差, 主要环境影响因素为河流连通阻隔较严重、河岸带状况欠佳以及底栖动物种类较为稀少; 社会服务功能赋分为 78.3 分, 基本处于较理想状态, 河流综合健康赋分为 67.8 分, 总体处于健康状态。经敏感性分析, 该综合评价体系在河流研究中具有较好的适用性。

关键词:河流健康; 汉江中下游; 综合评价

中图分类号: X826 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2019)01-0001-08

随着大规模开发, 河流系统不断退化, 已经成为水行政管理部门所需关注的问题(董哲仁, 2005; 夏自强和郭文献, 2008)。河流健康是人类对其生命存在状态的描述, 是一个极具社会属性的概念。因此, 将河流健康评价作为有效的管理工具, 对维护河流健康, 实现流域可持续发展具有重要的意义。

20 世纪 70-80 年代, 西方发达国家日益重视河流健康, 开展了一系列河流生态保护方面的研究, 欧美一些国家从水量、水质、生境、生物多样性等方面出发, 提出了河流健康的评价方法和指标(Boulton, 1999; 董哲仁, 2005; 王超等, 2014); 强调河流不仅具有资源功能, 也具有生态功能, 既要合理开发利用, 也要维持河流生态系统健康。国内外学者在河流健康评价研究上已有较多成果, 如河流健康的时空特征研究、黄河流域健康评价研究、健康长江指标体系研究(蔡其华, 2005; 刘晓燕等, 2006; 胡春宏和陈建国, 2006; 张晶和董哲仁, 2010; 车越和吴阿娜, 2011; 彭勃, 2014), 都分别提出各自的河流健康内涵、河流健康评价指标及评价方法等, 但迄今尚未形

成统一或公认的河流健康状况评价指标体系。因此, 结合我国不同自然地理区域河流生态系统的特征及经济社会发展背景, 构建适用于特定流域和管理要求的河流健康状况评价体系尤为重要(陈敏建, 2006)。

南水北调中线工程实施运行对汉江中下游河流的水文情势、水环境、生态环境等会产生一定影响, 特别是水资源减少可能会产生一些生态环境和社会经济问题。汉江中下游地区生态环境保护压力不断增大, 经济发展与生态保护的矛盾日渐突出, 直接关系到流域生态安全和社会经济的可持续发展。有鉴于此, 本研究通过对汉江中下游水质、水量、水生态状况的全面调查, 结合其河流特点, 划分评价单元, 建立评价指标体系, 从河流健康的生态完整性和社会服务功能两方面对汉江中下游河流健康状态进行评价, 旨在为生态环境整治和资源开发利用提供科学依据。

1 研究区概况

汉江又称汉水, 为长江最大的支流。汉江干流流经陕西和湖北两省, 在武汉汇入长江。丹江口水库以上为汉江上游, 丹江口至钟祥为中游, 钟祥至汉口为下游, 全长 652 km, 流域面积 15.9 万 km²。汉江中下游区域属东亚副热带季风气候区, 多年平均降水量在 700~1 800 mm, 年降水量呈现南岸大于

收稿日期: 2017-02-04

基金项目: 国家重点研发计划课题(2016YFC0402207, 2017YFC0505302); 水体污染控制与治理科技重大专项(2017ZX07108)。

作者简介: 朱惇, 1979 年生, 男, 高级工程师, 博士, 主要从事水资源保护、水生态环境与 GIS 应用研究。E-mail: zhudun@126.com

北岸、上下游大、中游小的地区分布规律。汉江中下游主要支流有北河、南河、小清河、唐白河、蛮河、竹皮河和汉北河。

汉江中下游是湖北省经济社会发展的核心地区之一,人口、耕地面积和地区生产总值均占湖北省的1/3,作为全国重要的粮食主产区和工业重地,在湖北省总体发展战略中占有极其重要地位。汉江中下游河段既是水利工程建设的重要基地,也是受水利工程建设与开发影响突出的河段。汉江中下游的干流梯级水电站共6座,分别是王甫洲水利枢纽、新集水利水电枢纽、崔家营航电枢纽、雅口航电枢纽、碾盘山水利水电枢纽和兴隆水利枢纽。根据汉江中下游干流水功能区划,对应地将其划分为丹江口-襄阳段、襄阳市区段、襄阳-钟祥段、钟祥市区段、钟祥-潜江段、潜江市区段、天门-仙桃段、仙桃市区段、仙桃-汉川段、汉川市区段、武汉蔡甸区段和武汉市区段,共12个江段(图1)。

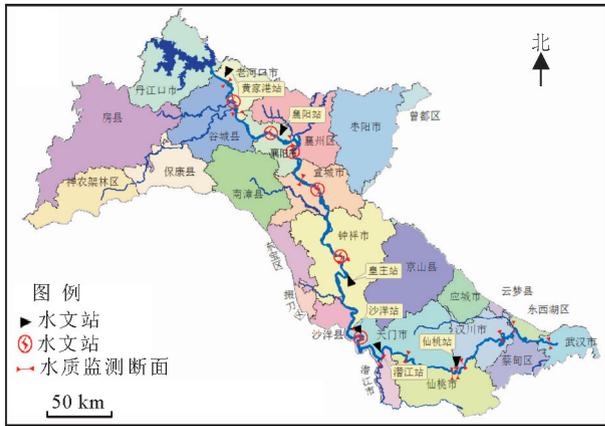


图1 汉江中下游河流水系

Fig.1 The middle and lower Hanjiang River

2 数据与方法

2.1 研究数据获取

本研究采用资料收集、文献筛选和实地监测的方式,获取了2009-2011年汉江中下游干流黄家港、襄阳、皇庄、沙洋、仙桃共5个水文站的历史监测数据,老河口、格垒嘴、襄阳五水厂、闸口、宜城水厂、皇庄、兴隆、泽口、岳口、何湾、万福闸、徐家口、新沟、宗关共14个水质断面(图1)的历史监测数据以及研究区域社会经济、污染源调查、水资源开发利用和防洪工程建设资料,并收集了1980年以来汉江中下游浮游生物、底栖动物和鱼类历史调查数据。2011年底,对研究河流自然形态、水质、水生生物、河流适宜性等环境状况进行了实地考察与补充监测,并以

走访问卷方式调查周边群众对河流健康的满意度。

2.2 评价指标体系建立

河流健康是在河流生命存在的前提下对其现状的描述,河流生命特性来源于其自然属性和社会属性。因此,河流健康状况的标准应具备既满足河流自身生命特征的维持和延续,又能为人类社会经济发展提供必要的服务功能(何俊仕,2013)。本研究参考水利部《河流健康评估指标、标准与方法(试点工作)(2011)》,结合汉江中下游区域自然社会特征,综合分析各类评估指标与河流健康状况之间的关系及影响程度,从水文水资源、物理结构、水质、水生生物以及社会功能5个方面构建河流健康评价指标体系并确定各指标的权重。

2.2.1 水文水资源表征 汉江水资源较为丰沛,但受大气环流及人为影响,近10多年来,汉江年均径流量呈脉动式波动起伏,整体表现出减少的趋势;同时,随着汉江梯级电站建设,尤其是汉江中下游6个梯级电站以及城市化过程中流域土地利用方式调整,都显著改变了河流流速、流量、洪水频率及洪水量等水文参数,而河流的水文水资源特征对于河流洪泛区、河流形态、生物群落组成、河岸植被以及河流水质等具有重要意义(宋兰兰,2005;吴阿娜,2008)。本研究选取了流量过程变异指数和生态流量满足程度两项指标作为评价区域水文水资源的表征参数。

(1)流量过程变异程度。反映评估年逐月实测径流量与天然月径流量的偏离程度,反映人为活动和水电开发对河流自然水文过程的影响。指标表达式为:

$$FD = \left\{ \sum_{m=1}^{12} \left(\frac{q_m - \bar{Q}_m}{\bar{Q}_m} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$\bar{Q}_m = \frac{1}{12} \sum_{m=1}^{12} Q_m \quad (1)$$

式中: q_m 为评估年实测月径流量(万 m^3); Q_m 为评估年天然月径流量(万 m^3); \bar{Q}_m 为评估年天然月径流量年均值(万 m^3),天然径流量按照水资源调查评估相关技术规划得到的还原量。流量过程变异程度指标(FD)值越大,说明其相对天然水文情势的河流水文情势变化越大,对河流生态的影响也就越大。

(2)生态流量满足程度。维持河流生态系统的不同程度生态系统结构、功能必须维持的流量过程。采用最小生态流量表征,表达式为:

$$EF_1 = \min \left[\frac{q_d}{\bar{Q}} \right]_{m=4}^9 \quad EF_2 = \min \left[\frac{q_d}{\bar{Q}} \right]_{m=10}^3 \quad (2)$$

式中: q_d 为评估年实测径流量 (m^3/s); \bar{Q} 为多年平均径流量 (m^3/s); EF_1 为 4-9 月日径流量占多年平均流量的最低百分比; EF_2 为 10-3 月日径流量占多年平均流量的最低百分比。

2.2.2 物理结构表征 河流物理自然形态是其生物群落潜力的主要决定因素之一, 直接影响着河流生物栖息的环境, 很大程度上决定着河流生物的种类及其群落的结构组成, 是维持河流健康的重要前提 (Kershner & Snider, 1992)。汉江中下游人口众多, 人类活动比较频繁, 对河道和河岸的干扰程度也比较严重; 此外, 汉江中下游江段上下游的闸坝是主要考虑因素, 评估江段上游的丹江口水库大坝以及汉江中下游已建成的王甫洲、崔家营和兴隆水利枢纽, 对评估江段的鱼类迁徙、生态基流都有重大影响。选择河岸带状况和河流连通阻隔状况两项指标综合反映物理结构健康状况。

(1) 河岸带状况。综合反映河岸稳定性、河岸植被覆盖度和河岸带人工干扰程度。

(2) 河流连通阻隔状况。综合反映河流闸坝修建对河流纵向连续性的影响, 主要通过鱼类迁移阻隔、水量及物质流通阻隔特征表示。按照下式计算河流纵向连续性赋分。

$$R_{Cr} = 100 + \min[(DAMr)_i, (GATREr)_j] \quad (3)$$

式中: R_{Cr} 为河流连通阻隔状况赋分; $(DAMr)_i$ 为评估断面下游江段大坝阻隔赋分 ($i = 1, N_{\text{Dam}}$), N_{Dam} 为下游大坝座数; $(GATREr)_j$ 为评估断面下游江段水闸阻隔赋分 ($j = 1, N_{\text{Gate}}$), N_{Gate} 为下游水闸座数。

2.2.3 水质状况 水质状况直接影响河流生态系统功能的正常发挥。汉江中下游分布有重要饮用水水源地 10 余处, 干流江段以 II、III 类水质为主, 总体水质较好。目前, 研究河流枯水期主要表现为有机污染和富营养化问题, 主要污染物为总磷、氨氮、高锰酸盐指数; 下游江段 1992-2011 年曾经陆续发生了多次“水华”, 且汉江部分支流表层沉积物中重金属富集现象严重, 累积风险突出 (雷沛, 2014)。研究中选择溶解氧、耗氧有机物、重金属 3 项指标评价当前河流水质状况。

(1) 溶解氧。采用全年 12 个月的月均浓度, 按照汛期和非汛期进行平均, 分别评估汛期与非汛期赋分, 取其最低赋分为指标的分值。

(2) 耗氧有机物。对高锰酸盐指数、化学需氧

量、五日生化需氧量、氨氮分别赋分; 选用 12 个月的月均浓度, 按照汛期和非汛期进行平均, 分别评估汛期与非汛期赋分, 取其最低赋分为水质项目的分值, 取 4 个水质项目赋分的平均值作为耗氧有机污染状况分值。

(3) 重金属。汞、镉、铬、铅及砷分别赋分, 选用 12 个月的月均浓度, 按照汛期和非汛期进行平均, 分别评估汛期与非汛期赋分, 取其最低赋分为水质项目的分值, 取 5 个水质项目最低赋分作为重金属污染状况指标分值。

2.2.4 水生生物状况 水生态生物完整性指数 (IBI) 用多个生物参数综合反应水体的生物学状况, 从而评价河流健康。国内外相关研究中, 鱼类和底栖动物等常用于表征水生态系统健康状态的生物 (Karr, 1981; Karr, 1993, Griffith et al, 2005)。本研究将底栖动物和鱼类作为指示性物种, 选取两个指标中最低者作为最终评估结果。

(1) 底栖动物完整性指数:

$$BIBr = \frac{BIB}{BIBE} \times 100 \quad (4)$$

式中: $BIBr$ 为评估江段底栖动物完整性指标赋分; BIB 为评估江段底栖动物完整性指标值; $BIBE$ 为河流所在评估单元底栖动物完整性指标最佳期望值。

(2) 鱼类种类变化指标:

$$FOE = \frac{FO}{FE} \quad (5)$$

式中: FOE 为鱼类种类变化指数; FO 为评估江段调查获得的鱼类种类数量; FE 为 1980 年以前评估江段的鱼类种类数量。

2.2.5 社会服务功能 本研究从河流共性及个性问题出发, 综合考虑研究河流的开发利用程度、流域社会经济状况等因素, 选择水功能区达标率、水资源开发利用、防洪工程达标率、公众满意度共 4 项, 综合反映河流满足人类合理需求的能力 (中华人民共和国水利部, 2011)。根据层次分析法基本原理, 将河流健康状况评价指标体系按递阶层次结构设计, 分为目标层、准则层和指标层, 构建的汉江中下游河流健康评估指标体系详见表 1。

2.3 评价标准及指标权重确定

河流健康的评价标准具有相对性, 是一个动态标准, 主要取决于河流的自然状况及人类社会的发展需求。本研究结合汉江中下游河流实际情况, 以水环境质量改善、生态多样性恢复、保证河流景观质

表1 汉江中下游河流健康评估指标体系

Tab.1 River health comprehensive evaluation index system for the study area

目标层	亚层	准则层	指标层	
流 健 康 状 况 (RH)	生 态 完 整 性	水文水资源 (HD)	流量过程变异程度	
			生态流量保障程度	
		物理结构 (PF)	河岸状况	
			河流连通阻隔状况	
		水质 (WQ)	溶解氧	
			耗氧有机物	
			重金属	
			水生生物 (AL)	底栖动物完整性指数
	社会 服务 功能 (SS)			鱼类种类变化指标
				水功能区达标率
水资源开发利用率				
防洪工程达标率				
			公众满意度	

量为河流管理目标,以汉江中下游20世纪50-60年代初期河流状况为参照,参考其他研究的等级划分和评价标准阈值确立,将各指标得分定为理想状态、健康(较理想)、亚健康(不理想)、不健康(较差)、病态共5个等级。基于减少主观性判断,提高客观性和准确性的原则,参考国内外研究成果,采用层次分析法,通过决策打分确定权重(刘晓燕等,2006;彭勃等,2014)。最终确定的评价标准及各指标权重见表2。

河湖健康评估采用分级指标评分法,逐级加权,综合评分,最终将汉江中下游的河湖健康分为5级,即理想状况、健康、亚健康、不健康、病态(表3)。

根据汉江中下游干流水功能区划,将研究河流划分为12个江段。首先对物理结构、水质和水生物3个准则层中断面尺度指标监测数据进行分级处理,通过算术平均方法求得各江段的评价结果;然后

表2 汉江中下游河流健康评价标准

Tab.2 Health evaluation criteria for the middle and lower Hanjiang River

亚层 (权重)	准则层 (权重)	指标层	权重	评分标准					
				1	2	3	4	5	
生 态 完 整 性 (0.7)	水文 水资源 (0.2)	流量过程变异程度	0.3	0.05~0.1	0.1~0.3	0.3~1.5	1.5~3.5	>3.5	
		生态流量保障程度	0.7	100%~50%	50%~40%	40%~30%	30%~10%	<10%	
	物理结构 (0.2)	河岸带状况	0.5	优	良	一般	差	极差	
		河流连通阻隔状况	0.25	无阻隔	较阻隔	一般阻隔	很阻隔	完全阻隔	
	水质 (0.2)	溶解氧	最小 分值	7.5~6	6~5	5~3	3~2	<2	
		耗氧有机物		优	良	一般	差	极差	
		重金属		优	良	一般	差	极差	
	水生生物 (0.4)	底栖动物完整性	最小 分值	>3.49	2.62~3.49	1.74~2.62	0.87~1.74	<0.87	
		鱼类种类变化		1~0.85	0.85~0.75	0.75~0.6	0.6~0.5	<0.5	
	社会 服务 功能 (0.3)			水功能区达标率	0.25	优	良	一般	差
水资源开发利用率				0.25	优	良	一般	差	极差
防洪工程达标率				0.25	95%	90%	85%	70%	50%
公众满意度				0.25	优	良	一般	差	极差

注:最小分值权重即取该准则层下所有评估指标赋分中的最小分值作为其赋分。

Note: The minimum score weight means that the score of the criterion level is the minimum score among all the evaluation indicators.

从水文水资源、物理结构、水质和生物4方面对12个江段分别进行评估,并结合各江段的空间长度对整个评价河流的生态完整性状况进行整体赋分评估;同时从水功能区达标、水资源开发利用、防洪和公众满意度4方面对整个评价河流进行社会服务功能整体赋分评估。最终对整个汉江中下游河流生态完整性和社会服务功能进行综合评价。

表3 汉江中下游河流健康分类标准及描述

Tab.3 River health classification criteria and descriptions

等级	健康状态类别	赋分
1	理想状态	[80,100]
2	健康(较理想)	[60,80]
3	亚健康(不理想)	[40,60]
4	不健康(较差)	[20,40]
5	病态	[0,20]

3 结果与分析

以 2011 年为基准年, 对汉江中下游河流健康状况进行综合评价, 赋分为 67.8 分。总体表现为健康

状态。结果见表 4。

3.1 生态完整性评价分析

汉江中下游各江段的生态完整性评价赋分结果见图 2。

表 4 汉江中下游河流健康状态评估结果

Tab.4 Health assessment result for the middle and lower Hanjiang River

河流评估指标系统					健康水平		
目标层	亚层	准则层	指标层	指标	准则层	亚层	目标层
河 流 健 康	生 态 完 整 性	水文	流量过程变异程度	亚健康	健康 (72.8)	健 康 (63.6)	健 康 (67.8)
		水资源	生态流量保障程度	理想			
		物理	河岸带状况	亚健康	亚健康 (54.9)		
			结构	河流连通阻隔状况			
		水质	溶解氧	理想	理想 (95.6)		
			耗氧有机物	理想			
			重金属	理想			
		水生	底栖动物完整性指数	亚健康	亚健康 (47.4)		
			生物	鱼类种类变化指数			
		社 会 服 务 功 能		水功能区达标率	健康		
	水资源开发利用		理想				
	防洪工程达标率		健康				
	公众满意度		健康				

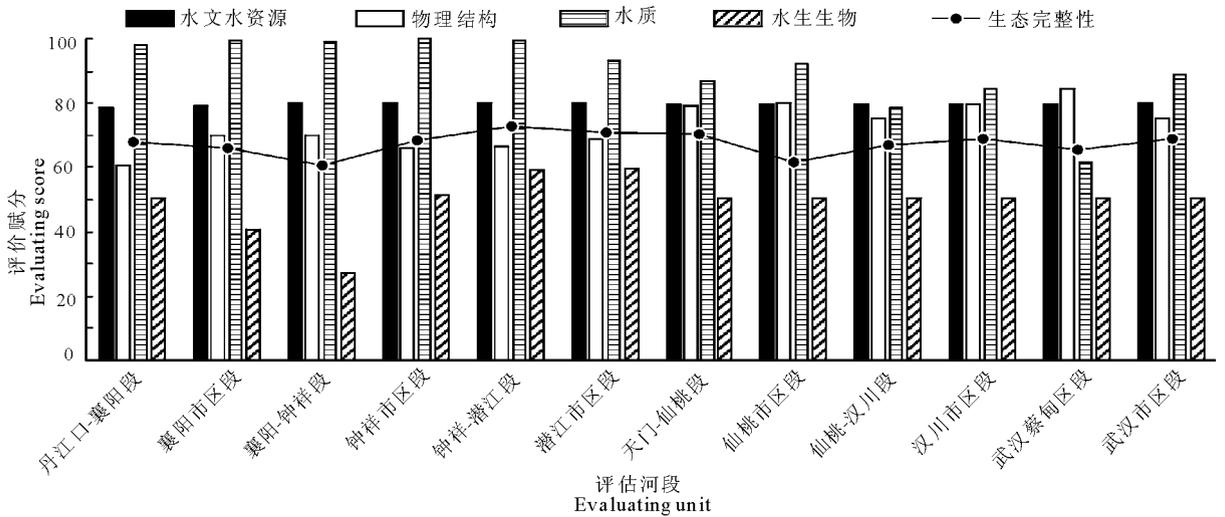


图 2 各江段生态完整性评价赋分结果

Fig.2 Ecological integrity assessment of each section in the middle and lower Hanjiang River

汉江中下游水文水资源状况为健康。由于水电站阻隔影响, 其流量过程变异程度较大, 但汉江流量相对较大, 可以满足生态需水要求; 虽然中下游水文水资源层赋分值较高, 但也反映了水电开发对河流自然水文过程的不利影响。

汉江中下游物理结构状况为亚健康。河流连通阻隔状况赋分较高, 但河岸带状况相对较差, 主要是

由于汉江中下游区域人口众多, 人类活动比较频繁, 对河道和河岸的干扰程度也比较严重。中游江段由于大部分为非粘土基质, 受人为耕种和采砂影响较大; 而下游江段江岸人工干扰相对较小, 且植被覆盖度较高, 相对而言, 下游江段的河岸状况优于中游江段。丹江口水库建成后, 汉江中下游的河势调整、顶冲、崩岸部位发生了变化。襄阳以上大多数江段已

经冲刷平衡,襄阳以下江段仍处在冲刷变化调整阶段。

从水质评价看,耗氧有机污染相对比较严重,主要是氨氮指标浓度较高所致。12个江段中有10个江段的水质为理想状况,主要集中在沙洋黄庄以上段,而黄庄至入江口段水质有所下降,其中武汉市新沟镇至蔡甸区张湾镇江段相对较差,其次为汉川市万福闸至马鞍镇江段,均接近亚健康水平。

在水生态评价方面,底栖动物种类较少,以水生昆虫为主,其次是软体动物,生物多样性偏低。大部分江段底栖动物状态处于亚健康水平,少数江段处于不健康状态,而鱼类资源状况比较好,鱼类的生物种类变化状况为理想状态。

就整个研究区域而言,其生态完整性赋分为63.6分,属于健康范畴,但已接近亚健康状态。

3.2 社会服务功能评价

根据《长江流域水资源环境公报》(长江水资源保护局,2011年)资料显示,2011年汉江中下游水功能区达标率为75%,总体水质较好。汉江中下游流域的水资源开发利用总体上处在较为合理的范围,开发利用率为适当;水资源开发效益还有较大的潜力,可以为流域经济发展提供支撑和保障。

汉江中下游水库、河道堤防以及蓄滞洪区抵御洪水的综合能力较强,防洪工程达标率较高。丹江口建库后,汉江中下游的河势调整、顶冲、崩岸部位发生了变化。例如,汉江中游襄阳段以上大多数江段已经冲刷平衡,襄阳以下江段仍处在冲刷变化调整阶段。因此在冲刷调整过程中,出现新的主流顶冲部位和深泓近岸部位崩岸,需要加强观测和守护。汉江中下游公众对该江段的健康状况总体评价属于较好范畴。

总体而言,汉江中下游社会服务功能赋分为78.3分,属于健康状态(较理想状态)。

3.3 河流健康评价敏感性

运用层次分析法可以科学地确定各评价指标对研究河流健康的重要性权重,但该权重确定主要受决策者主观性影响,因此指标权重一定程度上存在不确定性。有必要通过调整指标权重分析评价结果的敏感性(徐崇刚,2004;高晓薇,2014)。为检验不同权重对评估结果的影响,通过调整生态完整性评价中的水文水资源(ω_{HD})、物理结构(ω_{PF})、水质(ω_{WQ})和水生生物(ω_{AL})各项指标以及社会服务功能(ω_{SS})评价综合指标权重。采用不同的权重方案评价研究河流健康状况,并与原始权重方案的评价

结果比较分析,衡量评估结果的敏感性,详见表5。

表5 权重浮动20%时的健康状况赋分

Tab.5 Health condition marks with each weighting factor adjusted by $\pm 20\%$

权重增加 20%	健康状况 赋分	权重减少 20%	健康状况 赋分
1.2 ω_{HD}	67.92	0.8 ω_{HD}	67.64
1.2 ω_{PF}	67.33	0.8 ω_{PF}	68.23
1.2 ω_{WQ}	68.67	0.8 ω_{WQ}	66.89
1.2 ω_{AL}	66.24	0.8 ω_{AL}	69.32
1.2 ω_{SS}	68.66	0.8 ω_{SS}	66.90

由表5可知,当各指标权重上下浮动20%时,研究河段健康状况赋分改变幅度较小。可见在河流生态完整性和社会服务功能的各项评价指标相对重要性次序比较明确的情况下,各项指标权重小幅度调整对评价结果不会造成很大影响,即评价结果对功能权重的小幅度波动敏感性不高。因此,本研究获得的汉江中下游河段健康评价结果具有较高的稳定性和可靠性。

4 讨论

4.1 汉江中下游当前面临的生态环境健康问题

南水北调中线工程建成后,汉江中下游河流生态环境健康面临着一系列问题,主要表现在丹江口大坝加高运行后,由于大坝低温水下泄的长期影响,已使汉江中游产漂流性卵鱼类繁殖期推迟,繁殖期所需的涨水等水文水力学条件减弱;下泄水量减少以后,局部河段水位下降,兴隆以上河段现有一些农业灌溉闸站和生活取水设施亟需实施改造;由于河流水文情势发生变化,使得河流枯水期延长,水环境容量降低,加之区域发展带来的入河排污量增加、面源污染等原因,区域水环境治理压力加大。

4.2 建立适合我国河湖健康评估体系的方法

我国幅员辽阔,河湖水系自然环境及其生态系统复杂多样,不同河流因地理位置、规模、环境等因素的差异,导致其河流健康标志、主导性指标不尽相同。国内研究多借鉴国外相关理论与方法,欧美发达国家健康评价对象多侧重于乡村、山区河流,所关注重点是河流生境恢复等问题。我国大江大河较多,部分河流湖泊污染较严重、水资源开发利用程度较高,许多河流又具有防洪排涝以及社会服务功能。因此,必须因地制宜,开展长期连续的监测调查,通过定期判别、持续分析与反馈调整,完善、丰富并发展相关理论与方法,逐步形成适于我国河湖健康评估的基础理论与评估体系。

4.3 完善重要江河湖库水生态监测体系

目前,我国开展的河流环境评价以水质评价为主,一定程度忽视了河流水文、水质条件以及地貌变化对其生物群落的影响。本研究在水生态健康评价过程中,缺乏系统持续完善的水生态调查与监测资料,一定程度上影响最终评估结果的准确性。因此,建立重点河流湖库健康水生生物监测体系,制定长期持续的观测调查方案,对重点水域浮游植物、浮游动物、底栖动物、水生植物、鱼类及其渔业资源等进行长期调查与监测,准确掌握重点水域水生态变化趋势,为以后河流健康评估研究积累监测数据。

5 结论

(1)针对汉江中下游干流河段特点,健康评估框架体系由生态完整性、社会服务功能两个方面共 5 个准则层、13 个评估指标组成。

(2)研究河段总体为健康状态,但生态完整性状况接近亚健康。主要原因是河段受水电站阻隔影响,自然水文过程受到显著干扰;中游局部江段因冲刷导致近岸部位崩岸频发,下游局部江段近年来春季陆续发生“水华”,多处江段监测断面底栖动物生物多样性偏低。

(3)汉江中下游干流河段的健康隐患对该流域生态环境和经济社会可持续发展带来多方面、长期性影响。必须重视生态系统修复和环境综合治理,加强重点生态环境敏感区域保护,建立和维护良好的流域资源开发利用秩序,实现流域水资源永续利用与可持续发展。

参考文献

蔡其华,2005. 维护健康长江促进水和谐[J]. 人民长江, 36(3):1-3.

车越,吴阿娜,2011. 河流健康评价的时空特征与参照基线探讨[J]. 长江流域资源与环境, 20(6):761-767.

陈敏建,丰华丽,王立群,等,2006. 生态标准河流和调度管理研究[J]. 水科学进展, 17(5):631-636.

董哲仁,2005. 国外河流健康评估技术[J]. 水利水电技术, 36(11):15-19.

董哲仁,2005. 河流健康的内涵[J]. 中国水利, (4):16-18.

高晓薇,2014. 河流生态系统综合分类理论、方法与应用[M]. 北京:科学出版社.

何俊仕,周飞,张静,等,2013. 基于河流健康的辽河干流生态调度分期研究[J]. 长江流域资源与环境, 22(5):657-

662.

胡春宏,陈建国,2008. 黄河下游河道健康状态评价与治理对策[J]. 水利学报, 39(10):1189-1196.

雷沛,曾祉祥,张洪,等,2014. 汉江襄阳段主要入江支流沉积物营养盐和重金属风险特征研究[J]. 环境科学学报, 35(5):1374-1382.

刘晓燕,张建中,张原锋,2006. 黄河健康生命的指标体系[J]. 地理学报, 61(5):451-460.

彭勃,王化儒,王瑞玲,等,2014. 黄河下游河流健康评估指标体系研究[J]. 水生态学杂志, 35(6):81-87.

宋兰兰,陆桂华,刘凌,2006. 水文指数法确定河流生态需水[J]. 水利学报, 37(11):1336-1341.

王超,夏军,李凌程,2014. 河流健康评价研究与进展[J]. 水资源研究, 3(3):189-197.

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.

夏自强,郭文献,2008. 河流健康研究进展与前瞻[J]. 长江流域资源与环境, 17(2):252-255.

徐崇刚,胡远满,常禹,等,2004. 生态模型的敏感性分析[J]. 应用生态学报, 15(6):1056-1062.

张晶,董哲仁,2010. 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, 41(8):883-892.

长江流域水资源保护局,2011. 长江流域水资源环境公报[B].

中华人民共和国水利部,2011. 河流健康评估指标、标准与方法(试点工作用)[S].

Boulton A J, 1999. An overview of river health assessment: philosophies, practice, problems and prognosis [J]. *Freshwater Biology*, 41:469-479.

Griffith M B, Hill B H, McCormick F H, et al, 2005. Comparative application of indices of biotic integrity based on periphyton, macroinvertebrates, and fish to southern Rocky Mountain streams[J]. *Ecol Indicators*, (5): 117-136.

Karr J R, 1981. Assessment of biotic integrity using fish communities[J]. *Fisheries*, 6(6): 21-27.

Karr J R, 1993. Defining and assessing ecological integrity: beyond water quality[J]. *Environ Toxicol Chem*, 12: 1521-1531.

Kershner J L, Snider W M, 1992. Importance of a habitat level classification system to design instream flow studies, in Boon P J, Calow P, Pelts G E *River Conservation and Management*[R]. John Wiley Chichester:179-193.

(责任编辑 万月华)

Comprehensive Health Evaluation of the Middle and Lower Hanjiang River

ZHU Dun, JIA Hai-yan, ZHOU Qin

(Changjiang Water Resources Protection Institute, Wuhan 430051, P.R.China)

Abstract: The middle and lower Hanjiang River is located in the core socio-economic development region of Hubei Province, but is also dramatically affected by the construction and development of water conservancy projects. In this study, a river health evaluation system for the middle and lower Hanjiang River was developed, based on hydrology, physical structure, water quality, aquatic organisms and social functions. The study drew on historical data, in situ monitoring at 5 hydrological stations and 14 water surface sections in 2009–2011, as well as aquatic organism and fish resource investigations since 1980. In addition, a field investigation surveying local residents about the river natural form, water quality and river suitability was carried out at the end of 2011. Thirteen indicators were selected and weighting factors for each indicator were obtained using the Analytical Hierarchy Process (AHP). The river health evaluation system included five grades. The ecological integrity and social service function of the middle and lower Hanjiang River were then assessed using the system. The ecological integrity of the river was healthy, with a score of 63.7, but was at a high risk of degradation and moving toward a less than healthy state. The status of the physical structure and aquatic organisms was comparatively poor, due to the degraded riparian zones, loss of river connectivity, oxygen-consuming organic pollutants and low zoobenthos diversity. The social service function of the middle and lower Hanjiang River was very good, with a score of 78.3, and the comprehensive status of the river section investigated was healthy with a score of 67.8. Sensitivity analysis shows that the health condition score changed little as the weighting factors were adjusted by $\pm 20\%$, indicating that the health index system is reliable and suitable for the study area.

Key words: river health; middle-lower Hanjiang River; comprehensive evaluation