河流生态系统健康评价研究

张可刚¹ 赵 翔¹ 邵学强²

(1. 北京师范大学环境学院, 北京 100875 2. 浙江省水文局, 浙江 杭州 310009)

摘要 基于水文学和生态学原理, 对河流生态系统健康的概念进行了界定。同时, 对河流生态系统健康的影响因子进行了分析, 在此基础上, 建立了河流生态系统健康评价指标体系及其评价方法, 将评价结果分为优、中和差三个等级。并以华北地区河流——潮白河为例, 对其生态系统健康状况进行了评价。结果表明, 潮白河 2000 年生态系统健康评价最终得分为 0.52, 即潮白河处于中等健康状态。

关键词 河流生态系统 健康评价 指标体系

中图分类号: X824 文献标识码: A 文章编号: 1004-693X(2005)06-0011-04

Discussion on the evaluation of river ecosystem health

ZHANG Ke-gang¹, ZHAO Xiang¹, SHAO Xue-qiang²

(1. School of Environment, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Bureau of Hydrology in Zhejiang Province, Hangzhou 310009, China)

Abstract Based on the theory of hydrology and ecology, the concept of river ecosystem health was defined and the influence factors were analyzed. A river ecosystem health evaluation index system and the evaluation method were established, and the river ecosystem health can be divided into three levels, i. e. superior, medium, and inferior. The evaluation system was applied to the river health evaluation of the Chaobai River, a typical river in North China. As the ecosystem health score of the river is 0.52, the Chaobai River is in the state of medium health.

Key words river ecosystem; health evaluation; index system

河流对人类的生存与发展非常重要。随着水资源的日益短缺和人类活动的加剧, 河流生态系统出现了一系列诸如河道断流、枯竭、生物多样性丧失以及水质污染等问题, 严重破坏了河流应有的服务功能和生态系统健康。为促进生态、社会和经济的协调发展, 对河流生态系统健康进行研究已成为当务之急。

生态系统健康是一个新概念, 属于新领域^[1]。过去对生态系统健康的研究主要集中在生态健康概念的辨析、生态健康诊断指标的确定、生态系统健康的恢复、生态系统健康的研究尺度等几个方面^[2]。同时, 研究森林、农业、土地、流域、湿地等生态系统健康的较多, 而对河流生态系统的关注较少^[3, 4]。总体上看, 河流生态系统健康研究仍处在初步阶段, 还没有形成一套完整的理论体系和可行性的评价方

法。本文从河流生态系统健康影响因素出发, 结合生态、社会和经济的整合和协调, 对河流生态系统健康评价进行了初步探讨。

1 河流生态系统健康概念界定

生态系统健康是一个很复杂的概念, 不仅包括生态系统生理方面的要素, 而且还包括复杂的人类价值及生物的、物理的、伦理的、艺术的、哲学的和经济学的观点^[5]。由于研究的出发点不同, 各学者对生态系统健康的理解表述也有所差异。崔保山等人曾对生态系统健康的主要概念进行了总结^[2], 并将其归为 7 类, 即系统的自动平衡; 缺乏疾病; 多样性和复杂性; 稳定性和弹性; 生长的活力和生活幅; 系统组分之间的平衡; 生态系统整合性等。这些概念

均有自己的适用范围和不足,但健康的生态系统都有以下相同的特点,即它具有活力、稳定性和自我调节能力。健康的生态系统具有弹性并能够保持内稳定性,抵御干扰的弹性越大,系统就越健康。

河流是陆地和海洋联系的纽带,在生物圈的物质循环中起着重要作用。它具有纵向成带现象,其生物多具有适应急流生境的特殊形态结构、相互制约关系复杂、自净能力强、受干扰后恢复速度快等特点。本文基于生态系统健康的概念,将河流生态系统健康定义为:河流生态系统的能量流动和物质循环没有受到损害,系统对自然干扰的长期效应应具有抵抗力和恢复能力,系统能维持自身的组织结构长期稳定,系统具有较强的社会服务功能等。从概念表述上可看出,健康的河流生态系统具有以下几个特点:①本身的组成及结构没有不良反应;②对人类的生存和发展具有良好的服务功能;③维持河流生态系统的动态平衡。

2 河流生态系统健康影响因子

河流生态系统健康受到多种因素制约。总体分为自然因子和人为因子。

2.1 自然因子

“河流是气候的产物”^[6],因此,影响河流生态系统健康状况首先是气候因子,它包括降水、蒸发、太阳辐射、气温、湿度、气压及风速等。降水量的大小及分布,直接影响径流的多少。径流是河流形成的决定性因素,它的多少关系到河流生态系统的存在与否。蒸发也是河流径流量大小的影响因子。根据系统水量平衡原理,假设其它条件不变的情况下,蒸发量越多,河流水量就越少。太阳辐射主要影响河流生态系统中植物的生长发育。根据文献^[7],太阳辐射能越高,植物蒸发蒸腾速率越快。但是,当太阳辐射太强时,会产生气孔关闭,叶面蒸腾减少。气温是影响土壤蒸发和植物蒸发蒸腾量的重要因素。湿度、气压以及风速也是河流生态系统植物需水量的重要影响因子,植物需水量的多少直接关系到它的生存,从而影响到整个河流生态系统的动态平衡。

河流生态系统本身的结构特征也是其健康状况的影响因素,如河流的土壤岩石性质和地质构造。河流的地质构造,如地层的褶皱、断层、节理、新构造运动等,这些都与河流的地下水补给、下渗损失及河流侵蚀有关,因而,影响径流及泥沙情势。

除了上述因子外,河流生态系统健康状况还受其它系统的影响。其中最重要的是流域生态系统,其气候、地质特征和土地利用状况等决定着流域内河流的径流、河道、基质类型等物理及水化学特征。

如流域内某一片森林一旦破坏,将会导致水土流失加剧、河流含沙量增加、河床升高。再有,陆地生态系统也是一个不可忽视的影响因子,在营养物质方面,河流生态系统主要靠陆地生态系统的输入。

2.2 人为因子

人为因子指的是人类活动对河流生态系统健康的影响。人类活动包含的内容很多,主要有水利、农业、城市发展、矿产开发、畜牧、旅游、林业生产等,这些活动都不同程度的影响着河流生态系统的健康。水利工程的修建改变了河流的原有流动方式,如大坝水库改变了河流的流速、流量时空分布和水温,河流渠道化破坏了河岸带的浅滩和水塘,分水工程便利了外来物种的入侵,河道裁弯取直增加了水土流失等,这些都破坏了河流生态系统的结构和功能,影响着河流生态系统的健康。城市建设和工农业活动通过改变土地利用格局和土地利用方式,改变了流域或区域的植被覆盖状况,从而改变了流域或区域下垫面的产汇流特性,改变了流域或区域内沉积物、污染物和营养物的径流路径和分布,进而改变了河流的水量 and 水质,影响着河流的健康。科技和教育决定着人类对河流生态系统的认识水平和开发方式,因而也通过人类的意识间接影响着河流生态系统的健康。

3 河流生态系统健康评价

3.1 评价指标体系

3.1.1 指标体系建立的原则

生态系统健康评价指标必须达到3个目标:指标体系能完整准确地反映生态系统健康状况,能够提供现状的代表性图案;对各类生态系统的生物物理状况和人类胁迫进行监测,寻求自然、人为压力与生态系统健康变化之间的联系,并探求生态系统健康衰退的原因;定期地为政府决策、科研及公众要求等提供生态系统健康现状、变化及趋势的统计总结和解释报告。指标的筛选应该遵循以下原则:

a. 可持续性原则。河流生态系统首先是天然生态系统的重要类型之一,其次是为人类提供服务的重要来源。因此,必须遵循可持续性原则,实现水资源的科学开发和永续利用。

b. 指标定量性与可操作性原则。目前,在一些研究领域,建立的指标体系往往在理论上反映较好,但实践性不强。因此,所确定的各项指标,不能脱离指标相关资料信息条件的实际。尽量选择那些关键性的具有综合性的指标,使得建立的指标体系简单明了、有较强的可比性、参数易于获取以及便于计算和分析等。由于现阶段河流生态系统的生态环境监测与评价处在起步阶段,系列资料极其缺乏,因

此指标的定量性和可操作性显得尤为重要。

c. 整体性原则。建立河流生态系统健康评价指标体系,要求指标体系覆盖面较广,从众多的影响因子和指标中,提取能全面概括河流生态环境系统结构和功能的本质特征和现状,并可衡量系统中各种生态关系的紧密程度及其整体效应的指标,并通过这些指标去剖析系统整体功能的形成原因和发展变化机制。

d. 主导性原则。生态环境系统是一个非常复杂的系统,决定系统特征的因子很多。河流生态系统健康评价指标的选择,必须在充分研究系统功能与目标之间的相互关系的基础上,提取那些信息量大、综合性强的指标,并力求简明、易于操作。

e. 指标敏感性与稳定性原则。河流生态系统健康评价指标体系的选取应具有对生态环境变化的敏感性,同时也应具有一定的稳定性。

3.1.2 指标体系的建立

在遵循指标体系构建原则的基础上,结合河流生态系统健康影响因素和目前河流生态系统现状,笔者从河流水文学、物理构造特征、河岸带状况、水体污染状况以及水生生物等5个方面,提出了14个河流生态系统健康评价指标(表1)。

表1 河流生态系统健康评价指标体系

序号	指标	指标权重	说明
1	河岸抗冲性	0.05	河道岸边抗冲的能力
2	河岸植被覆盖率	0.06	河岸植被与河流所在的流域或区域总面积之比
3	水源补给	0.07	水源补给的多少直接影响到河流生态系统的存在
4	鱼类种类	0.08	河流生态系统生物多样性的一个反映
5	底栖动物种类	0.08	河流生态系统生物多样性的一个反映
6	河岸人口密度	0.04	河岸每平方米面积上所居住的人口数
7	国民经济取水率	0.06	为满足工业、农业以及生活用水而从河道所取的水量与河流水资源总量之比,是反映河道内生态环境用水的程度
8	水质	0.12	河流受污染的程度
9	底泥污染	0.09	河流重金属污染
10	营养状况	0.07	一些营养物质如N、P等出入河流系统的情况
11	淤积深	0.07	污泥在河流淤积的深度
12	生境破碎化指数	0.11	河流生态系统现存景观的一个重要特征,是景观异质性的一个重要组成
13	娱乐项目	0.07	反映河流生态系统服务功能的一个重要指标
14	航运	0.03	反映河流生态系统功能的一个指标

3.2 评价方法

根据目前河流生态环境现状,以可持续发展为

目的,把河流生态系统健康各指标分为:优、良、中等、差和极差5个标准(表2)并分别赋予5、4、3、2、1的分值,对其进行加权平均,计算公式如下:

$$E = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^n \lambda_i M_i \quad (1)$$

式中: E 为河流生态系统健康综合评价度; n 为指标数; M_i 为第 i 个指标的得分; λ_i 为权重,表示各指标在整个指标体系中的相对重要性程度。

表2 河流生态系统健康评价指标

评价等级	河岸抗冲性	河岸植被覆盖率/%	水源补给	鱼的种类/个	底栖动物种类/种	河岸人口密度/(人·km ⁻²)	国民经济取水率/%
优	极强	>0.1	极丰富	>55	>45	<250	<15
良	较强	0.07~0.1	较丰富	35~55	35~45	250~350	15~25
中等	好	0.03~0.07	一般	25~35	25~35	350~500	25~50
差	弱	0.001~0.03	较少	10~25	15~25	500~1200	50~80
极差	极弱	<0.001	极少	<10	<15	>1200	>80

评价等级	水质	底泥污染(重金属)	营养状况	淤积深/m	生境破碎化指数	娱乐项目/项	航运
优	I类	无	贫营养	<0.03	0	>8	航运距离与河长之比大于80%
良	II类	轻微污染	贫中营养	0.03~0.1	0~0.2	5~8	航运距离与河长之比在50%~80%之间
中等	III类	轻度污染	中营养	0.1~0.5	0.2~0.4	3~5	季节性航运
差	IV类	中等污染	中富营养和富营养	0.5~0.9	0.4~0.7	1~3	几乎不能航运
极差	V类、超V类	重污染	重富营养	>0.9	0.7~1.0	无	无

式(1)中,权重 λ_i 的确定是至关重要的。迄今为止,对权重的确定问题已进行了大量的研究,有以研究人员的实践经验和主观判断为主来确定权重的,也有用各种数学方法为主来确定权重的,例如经验权数法、专家咨询法、统计平均值法、指标值法、相邻指标比较法、灵活偏好矩阵法、抽样权数法、比重权数法、逐步回归法、灰色关联法、主成分分析法、层次分析法、模糊逆方程法等等。为了尽量减小主观随意性、提高权重的客观性和准确性,选用目前较常用的专家咨询法进行权重赋值,赋值结果见表1。

最终评价结果分为三等,分别为优($E \geq 0.85$)、中($0.55 \leq E < 0.85$)和差($E < 0.55$)。

4 实例研究

现以华北地区河流——潮白河为例,应用上面建立的指标体系及提出的评价方法对其进行健康评价。

潮白河发源于燕山北麓,流经京、津、冀三省市,其介于北运河与蓟运河之间,属于海河流域的北运河系。水系的北部、西部为燕山,东部、南部为平原,流域面积 19 354 km²,其中山区占 87%,平原占 13%。河道全长 458 km,平均河宽为 545 m,河道比降约为 0.03%,河漫滩的面积约为 248 km²,主要植被类型为草丛植被,以莎草科、禾本科为主。上游河道的底质为砂质,中下游底质为壤质。潮白河上游由潮河和白河两条支流组成,白河发源于独石口以北大马群山东麓,在密云水库处汇入潮河,始称为潮白河,经过顺义、通县,入北运河。过去,潮白河与蓟运河各自成一水系,由于潮白河经常决口、泛滥、改道,当地称为“自在河”。后经人工开挖,使潮白河与蓟运河联在一起。1950 年开辟了潮白新河,经金钟河注入渤海。另一支由七里海入蓟运河。

随着社会经济的发展,潮白河水资源开发利用程度也逐步加深。流域现已建成水电站 40 多座,其中密云水库总库容 43.75 亿 m³。此外,在潮白河上沿河还修建了许多引水渠道、闸坝。20 世纪 90 年代以来,又修建了橡胶坝 7 座。水资源的过度开发已导致了水资源的可再生性的破坏以及河道系统功能的衰退,为经济的持续发展留下了隐患^[8]。目前潮白河的水质为 V 类,规划水质为 II 类。对于水功能区划,潮河段属于保留区,密云水库下游属于缓冲区和开发区(全国水资源功能区划),根据潮白河的生态环境现状可知,潮白河是属于需要保护的河段。

根据 2000 年潮白河生态环境现状,应用上面建立的指标体系及提出的评价方法对潮白河生态系统健康进行评价,各项指标评价结果见表 3。

表 3 潮白河 2000 年生态系统健康状况评价

指标	河岸抗冲性	河岸植被覆盖率	水源补给	鱼类种类	底栖动物种类	河岸人口密度
标准	较好	差	较好	中等	中等	差
指标	国民经济取水率	水质	底泥污染(重金属)	营养物循环	淤积深	生境破碎化指数
标准	中等	极差	差	差	中等	中等
指标	娱乐项目			航运		
标准	中等			中等		

利用公式(1)可得,潮白河 2000 年生态系统健康评价最终得分为 0.52,即评价结果为潮白河处于中等健康状态。

为了保持潮白河生态系统的动态平衡,实现可

持续发展,在水资源配置过程中需要增加潮白河的生态环境用水。同时要调整产业结构和布局,通过用水效率的提高来缓解水资源不足的矛盾。

5 结 语

随着可持续发展战略的实施,健康的河流生态系统必将成为河流管理的主要目标,所以很有必要开展相关研究,建立一套适用于我国的河流生态系统健康评价理论,对主要河流进行健康评价,为河流及流域管理提供基础数据和决策依据,以期实现社会、经济及环境的可持续发展。本文基于水文学和生态学原理,建立了河流生态系统指标体系,在此基础上,提出了河流生态系统健康评价方法,并以潮白河为例进行了实证,评价结果基本与实际情况相吻合,说明该方法可行,并具有灵活、简单的特点。由于河流生态系统健康涉及的研究领域较宽,内容较多,制约河流生态系统维持和发展的因素以及相互之间的关系也较为复杂,因此其健康评价还处于实验和摸索阶段,尚未形成一套成熟的方法,本文还存在不少问题,如一些评价指标只是一种定性的描述,其评价结果受到人的主观判断的影响,这需要在今后的研究工作中逐步得到改进和完善。

参考文献:

- [1] 章家恩,徐琪. 现代生态学研究的几大热点问题透视[J]. 地理科学进展,1997,16(3):29~37.
- [2] 崔保山,杨志峰. 湿地生态系统健康研究进展[J]. 生态学杂志,2001,20(3):31~36.
- [3] Norris R H, Thoms M C. What is the river health[J]. Freshwater Biol,1999,41:197~209.
- [4] 唐涛,蔡庆华,刘健康. 河流生态系统健康及其评价[J]. 应用生态学报,2002,13(9):1191~1194.
- [5] 肖风劲,欧阳华. 生态系统健康及其评价指标和方法[J]. 自然资源学报,2002,17(2):203~209.
- [6] 芮孝芳. 产汇流理论[M]. 北京:水利电力出版社,1995.123~135.
- [7] 陈玉民,郭国双,王广兴,等. 中国主要作物需水量与灌溉[M]. 北京:水利电力出版社,1995.164~175.
- [8] 李丽娟,郑红星. 华北典型河流年径流演变规律及其驱动力分析——以潮白河为例[J]. 地理学报,2000,55(3):309~317.

(收稿日期 2004-10-18 编辑 舒 建)