

河流生态健康评价中功能指标分析与计算

李嘉薇¹, 陈新美²

(1. 河海大学水文水资源学院, 南京 210098; 2. 邯郸市水资源综合管理办公室, 河北 邯郸 056000)

摘要: 通过对包括生境多样性指标、河流水质指标、河口径流指标、森林覆盖率指标、地下水超采率和河流纵向连续性指标等河流生态功能指标进行分析, 考虑各项指标在整体评价中的作用确定指标权重, 并对各项评价指标进行标准化处理, 建立了河流生态健康评价指标体系。据此, 利用滦河流域有关成果调查和资料, 对滦河流域生态功能进行评价, 评价结果介于一般与较差之间。该评价方法考虑了多项影响河流生态功能的因素, 因此评价结果能较好地反映河流生态功能, 可为河流开发和管理提供参考依据。

关键词: 生态功能指标; 权重; 标准化处理; 河流健康评价; 滦河流域

中图分类号: P343.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-1683(2013)05-0053-04

Analysis and Calculation of Ecological Function Index in the River Health Assessment

LI Jia wei¹, CHEN Xin mei²

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Office for Water Resources Management of Handan City, Handan 056000, China)

Abstract: River plays an important role in the aquatic ecosystem, and river health is an important indicator of social and economic development and ecological environment protection. Based on the analysis and calculation of the indexes of river ecological function, including the habitat diversity index, river water quality index, river runoff index, forest coverage index, groundwater over-exploitation index, and river longitudinal continuity index, the weight of each index was determined in consideration of the effects of each index in the overall evaluation, and each index was standardized to develop the assessment index system of river health. The system was applied to the Luanhe River Basin to evaluate its ecological function based on the survey results of the basin, and the evaluation result was between normal and poor. The evaluation method considers a number of factors affecting the ecological function of the river, so the evaluation results can reflect the actual ecological functions of the river and then provide references for the development and management of river.

Key words: ecological function index; weight; standardization; river health assessment; Luanhe River Basin

河流健康评价是在河流健康内涵分析的基础上, 根据河流的基本特征和个体特征, 建立由共性指标和个性指标构建的河流健康评价指标体系, 对河段至河流整体的自然功能、生态环境功能和社会服务功能进行评价的方法^[1]。本文通过对河流生态健康评价中的功能指标进行分析, 可为河流生态健康评价和提供依据。

拥有一个良好的水沙通道(即河道)是保障河流水沙输送功能的基础, 也是河流的河床塑造功能是否正常的标志; 良好的水质和河流生态显然是河流自净功能和生态功能基本正常的标志, 同时也暗喻河流水循环系统基本正常^[2]。因此, 在一般意义上, 河流健康的标志是: 在河流自然功能和

社会功能均衡发挥情况下, 河流具有良好的水沙通道、良好的水质和良好的河流生态系统^[3]。水资源的可更新能力常被人们视为河流健康的重要体现, 不过, 在河流自然功能用水和人类用水基本得到保障的情况下, 其水资源更新能力显然也处于正常状态, 水循环也属于良性循环。

1 生态功能指标与计算

河流生态健康评价指标体系的选择, 对于能否客观、准确地评价河流有着至关重要的作用。首先生态系统健康必须满足3个条件: 能完整准确的反映生态系统的健康状况; 能反映人为因素与生态系统健康变化之间的联系; 能定期为

政府决策、科研及公众要求提供生态健康状况、变化趋势的报告^[4]。指标的选择应该遵循以下原则:动态性原则;层次性原则;整体性原则;可持续原则;可操作性与定量化原则;主要成分原则。

根据上述条件和原则,河流生态功能指标应包括生物多样性指标、河流水质指标、河口径流指标、森林覆盖率指标、地下水超采率和河流纵向连续性指标等。

1.1 生境多样性指标

生物栖息地评估的内容是勘察分析河流走廊的生物栖息地状况,调查生物栖息地对于河流生态结构与功能的影响因素,进而对栖息地质量进行评估。具体体现在河流的物理-化学条件、水文条件和河流地貌学特征对于生物群落的适宜程度,特别是对于形成完整的食物链结构和完善的生态功能的作用。

生物栖息地质量可以用适宜的栖息地的数量表示,或者用适宜栖息地所占面积的百分数表示,也可以用适宜栖息地的存在或缺失表示^[5]。

栖息地评估的变量指数包括以下内容:传统的水文和地质条件,包括径流变化与参照系统的对照、水体污染、水库人工调节影响等;河流地貌特征,主要评估栖息地结构和河势稳定性,包括河流蜿蜒性、河床的淤积与冲刷、岸坡稳定性、人工渠道化程度、闸坝运行影响等;河道结构,按照尺度、河床材料、本底材料和河道改造进行描述;岸边植被,指评估岸边植被数量和质量,包括植被宽度、顺河向植被连续性(用植被间断长度表示)、结构完整性(指各类植物的密度与自然状态的比较)、当地乡土物种覆盖比例及再生性状况、湿地和洼地状况等;河流周围社会经济发展状况,包括人口、经济结构、土地利用方式变化以及城市化影响等。

河流生物群落具有综合不同时空尺度上各类化学、物理因素影响的能力。面对外界环境条件的变化(如化学污染、物理生境破坏、水资源过度开采等),生物群落可通过自身结构和功能特性的调整来适应这一变化,并对多种外界胁迫所产生的累积效应做出反应^[6]。因此,利用生物法评价河流健康状况,应作为一种更加科学的评价方法。

生境多样性指标主要表征现状河流生境多样性的受损程度,其表达式为:

$$I_1 = \frac{B}{B_0} \quad (1)$$

式中: I_1 为生境多样性指标; B 为现状生态多样性定量指标; B_0 为特定参照期的生境多样性定量指标。

生物多样性计算方法参见《区域生物多样性评价标准》(HJ 623-2011)。

1.2 河流水质指标

物理-化学法主要利用物理、化学指标反映河流水质和水量变化、河势变化、土地利用情况、河岸稳定性及交换能力、与周围水体(湖泊、湿地等)的连通性、河流廊道的连续性等。同时,应突出物理-化学参数对河流生物群落的直接及间接影响^[7]。

物理化学评估作为河流健康评估标志之一,是因为这些指标可以反映河流水流和水质变化、河势变化、土地使用情况和岸边结构。物理量测参数包括流量、温度、电导率、悬移

质、浊度、颜色。化学量测参数包括 pH 值、碱度、硬度、盐度、生化需氧量、溶解氧、有机碳等。其他水化学主要控制性指标包括阴离子、阳离子,营养物质(磷酸盐、硝酸盐、亚硝酸盐、氨、硅)。

在河流健康评估中应突出物理-化学量测参数对河流生物群落的潜在影响。比如总磷、氮磷比和叶绿素等,可能导致水体的富营养化;由于盐的输入可能改变电导率造成某些敏感物种死亡;生化需氧量的降低会引起生物窒息,造成鱼类死亡;由于泥沙输移造成悬移质和浊度变化,引起淤积和地貌特征变化,改变吸附在泥沙颗粒表面上的营养盐的输移规律及栖息地质量;由于污染引起 pH 值、有机物和金属等参数变化,可能造成敏感性生物的减少等^[8]。

物理化学评价,根据对河流监测资料,包括物理因子、化学因子以及富营养因子等,采用综合污染指数法,根据地表水质量标准,计算出河道的综合污染,按照综合污染指数分级标准,对应生态功能参数,确定物理化学对应的生态功能级别^[9]。

水质是河流生命活力的重要内涵,是决定水资源价值的关键要素。河流水质指标可用水功能区水质达标率来表征,其表达式为:

$$I_2 = \frac{N}{N_0} \quad (2)$$

式中: I_2 为河流水质指标; N 为全流域符合水功能区水质标准的水功能区数量; N_0 为全流域水功能区总数。

1.3 河口径流指标

为维护河口地区生态环境的天然结构和功能,河口的生态环境需水量应包括:河口系统中天然和人工动植物、渔业用水,河口两岸地下水的入渗补给水量,以及滩地、潮间带水生生物栖息地所需的水量,合称为河口基本生态环境需水量。维持河口流域来沙、海域来沙的平衡所必须的水量;维持河口系统及近海水域的水盐量平衡;维持河口水体一定的污染物稀释净化能力^[10]。

河口径流指标即入海水量与年径流量之比,这一指标可以表征河道内生态需水的满足程度与河口三角洲的稳定状况。其表达式为:

$$I_3 = \frac{W_s}{W_0} \quad (3)$$

式中: I_3 为河口径流指标; W_s 为河道年入海水量(亿 m^3); W_0 为年径流量(亿 m^3)。

1.4 流域植被森林植被覆盖率

森林植物和地被物表面吸收、吸附并蒸腾大气降水。

林冠截留:降水被林木的枝、叶、干等表面吸收、吸附和蒸发的现象。其截留率随降水量和降水强度增大而减少,一般为降水量的 15%~30%。截留量随降水量和降水持续时间增加而有所增大,但有一个极限值,最大截留量一般为 10~20 mm,很少超过 25 mm。林冠截留降水,与林冠总表面积成正比。针叶林大于阔叶林;复层林大于单层林;中龄林以上的林分大于幼龄林;郁闭度大和疏密度高的林分大于郁闭度小和疏密度低的林分^[11]。

林下植物截留:截留量较少,与覆盖度、占有立体空间及枝叶密度成正比。

枯枝落叶层的截留: 其截留量较大, 吸水量可达到自重的 2~ 5 倍。一般占年降水量的 1%~ 5%。截留量与枯枝落叶层的厚度、质地和分解程度等有密切关系。厚度大、分解程度高, 吸水性能好, 则截留量大, 截留率高。

森林的林冠层可以阻挡和截留雨水, 在一定的程度上可以减少落地雨的数量和速度, 减小地面土壤溅蚀, 这种作用尤其在降水初期最为明显, 一般十年以上的松树树冠一次可截留雨量在 15~ 20 mm 左右。由于林冠的截流, 地面雨量很小, 雨滴对地表的击溅作用也就很小, 因此, 达到减小林地地表漫流侵蚀的作用。根据河北省林科院研究的结果, 有林地和无林地比较, 有林地的径流量和径流深是无林地的 1/18, 说明有林地的水土保持效果非常明显, 能达到较理想的水土保持效益。

森林覆盖率的高低决定着河流涵养水源的能力和防止水土流失的能力, 是河流健康的关键要素之一。其计算公式为:

$$I_4 = \frac{F}{A} \quad (4)$$

式中: I_4 为流域植被覆盖率指标; F 为流域内森林面积 (km^2); A 为流域总面积 (km^2)。

1.5 地下水排补平衡指标

由于过量的开采和不合理的利用地下水, 常常造成地下水位严重下降, 形成大面积的地下水下降漏斗, 在地下水用量集中的城市地区, 还会引起地面沉降^[12]。此外工业废水与生活污水的大量入渗, 会严重污染地下水, 危及地下水资源。因而系统地研究地下水的形成和类型、地下水的运动以及与地表水之间的相互转换补给关系, 具有重要意义。

地下水是流域水资源的重要组成部分, 地下水的补给与排泄平衡, 是河水水循环的主要指标之一。鉴于人工开采地下水在地下水总排泄量中占了很大比重, 地下水位下降又直接导致了地表径流大幅度减少, 所以地下水排补平衡指标可用地下水超采率来表示。其表达式为:

$$I_5 = \frac{G - G_0}{G_0} \quad (5)$$

式中: I_5 为地下水排补平衡指标; G_0 为流域地下水允许开采量 (亿 m^3); G 为流域地下水实际开采量 (亿 m^3)。

1.6 河流纵向连续性指标

自然河流的连续性不仅包括水文过程的连续性, 还包括营养物质输移的连续性、生物群落的连续性和信息流的连续性。大坝工程对河流生态系统的影响主要表现在顺水流方向的非连续化问题, 即水文过程和营养物质输移的非连续化^[13]。大坝对于河流生态系统的影响包括两个方面: 一是大坝与水库本身带来的负面影响; 二是在大坝运行过程中对生态系统的胁迫。前者的影响主要造成大坝上下游河流地貌学特征的变化, 后者的影响主要造成自然水文周期的人工化。

河流纵向连续性指标主要用于表征河流在自然因素或人为因素的干扰下, 沿程发生径流非正常衰减, 从而影响河道生态用水情况。其表达式为:

$$I_6 = \frac{\sum L_i t_i}{365 \times 24 \times L} \quad (6)$$

式中: I_6 为河流纵向连续性指标; L_i 为出现河道流量小于最

小生态流量的河流长度 (km); t_i 为出现河道流量小于最小生态流量的时段 (h); L 为河流总长度 (km)。

2 河流生态健康功能评价方法

对于某一河流功能指标的权重, 应考虑当地的具体情况以及地形地貌、水文地质等情况, 根据该功能在河流健康中的作用来确定。例如, 河流水质和河流纵向连续性两项指标反映水质和水量两个重要方面, 是河流健康评价中最重要的部分, 相应的权重较大; 而对于河口径流量指标, 虽然其对河口生物多样性以及河口输沙等影响较大, 但对整个河流而言, 远不如河流水质水量对河流的影响程度, 因此权重相对较小。

河流生态系统健康是一个生态价值与人类价值相统一的概念, 因此其评价指标应既反映生态学上的完整性, 也应该反映人类的价值。综合考虑, 河流生态系统可以从水质、水量、河岸带、形态结构、生物多样性、河口等 6 个要素来表述^[14]。各要素相互联系, 相互影响发挥着不同的功能, 使河流完成生态过程。表 1 为河流生态指标权重系数。

表 1 河流生态功能指标权重系数

指标名称	生境多样性	河流水质	河口径流	森林覆盖率	地下水超采率	河流纵向连续性
权重	0.15	0.20	0.12	0.18	0.15	0.20

由于评价指标体系的各个指标度量单位是不同的, 为了使指标参与评价计算, 需要对指标进行规范化处理, 通过函数变换将其数值映射到某个数值区间。

本文将每个指标按优秀、良好、一般、较差、差 5 个档次分级, 分别赋值 1.0、0.8、0.6、0.4、0.2 予以量化。分别对应生境多样性、河流水质、河口径流等 6 项指标进行分段, 使各指标监测结果与赋值一一对应。表 2 为河流生态功能健康指标标准化处理结果。

表 2 河流生态功能指标标准化处理结果

指标名称	指标分类赋值				
	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2
生境多样性指标	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6
河流水质指标	1.0	0.8	0.6	0.4	< 0.4
河口径流指标	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3
森林覆盖率	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2
地下水超采率	≤ 0	< 0.1	< 0.2	< 0.3	> 0.3
河流纵向连续性	0	0.1	0.2	0.3	> 0.3

则河流生态功能健康评价公式为:

$$J = \sum_{i=1}^n (k_i \times Z_i) \quad (7)$$

式中: J 为河流生态功能健康评价结果; k_i 为各评价指标的权重系数; Z_i 为各评价指标的评价结果; n 为评价因子个数。

根据唐山市、承德市水资源评价调查资料以及滦河流域水资源研究成果, 利用公式 (7) 对滦河河流生态功能进行评价, 评价结果 (表 3) 显示, 滦河生态功能健康介于一般与较差之间。影响滦河河流生态功能的指标主要是河口径流指标,

入海水量减少影响显著;其次是森林覆盖率和河流纵向连续性指标,水利工程建设把河流分割成不同河段,对河流生态功能影响较大。

表 3 滦河河流生态功能评价结果

Table 3 The evaluation results of ecological function of the Luanhe River Basin

指标名称	权重	标准化后评价指标	评价结果
生物多样性指标	0.15	0.8	0.120
河流水质指标	0.20	0.6	0.120
河口径流指标	0.12	0.2	0.024
森林覆盖率	0.18	0.4	0.072
地下水超采率	0.15	0.6	0.090
河流纵向连续性	0.20	0.4	0.080
合计	1.00		0.506

3 结语

河流健康评价包括多项内容,本文仅针对河流生态功能进行分析评价。评价过程中考虑了包括生物多样性指标、河流水质指标、河口径流指标、森林覆盖率指标、地下水超采率和河流纵向连续性等 6 项河流生态功能影响因素。

河流生态功能评价工作的重点是评价指标权重的确定,需要考虑该项指标对河流健康总体的影响程度,需要对全流域调查和监测资料,工作量和难度较大。

参考文献(References):

[1] 崔树彬,刘俊勇,陈军.对中国河流健康评价的探讨[J].水利发展研究,2006,(12).(CUI Shubin,LIU Junyong,CHEN Jun. Discussion on Chinese River Health Assessment. Water Resources Development Research[J]. Research on the development of water conservancy,2006,(12).(in Chinese))

[2] 严钦尚.地貌学[M].北京:高等教育出版社,2010.(YAN Qishang. Geomorphology[M]. Beijing: Higher Education Press, 2010.(in Chinese))

[3] 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):91-94.(KANG Tao,CAI Qinghua,LIU Jiakang. River Ecosystem Health and Its Assessment[J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2002,13(9):91-94.(in Chinese))

[4] 王琳,宫兆国,李永昌.综合指标法评价城市河流生态系统的健康状况[J].中国给水排水,2007,23(10):97-100.(WANG Lin,GONG Zhaoguo,LI Yongchang. The Comprehensive Index Method to Evaluate the City River Ecosystem Health[J]. Chinese Water Supply and Drainage,2007,23(10):97-100.(in Chinese))

[5] 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.(CUI Baoshan,YANG Zhifeng. Progress in the Study of Wetland Ecosystem Health[J]. Journal of Ecology,2001,20(3):31-36.(in Chinese))

[6] 张辉,危起伟,杨德国,等.基于流速梯度的河流生境多样性分析[J].生态学杂志,2008,27(4):667-674.(ZHANG Hui,WEI Qiwei,YANG Deguo,et al. The Velocity Gradient of River Habitat Diversity Analysis Based on[J]. Chinese Journal of Ecology,2008,27(4):667-674.(in Chinese))

[7] 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. The River Ecosystem Health in Liaohe Basin of Multi Index Evaluation Method of [J]. Research of Environmental Sciences,2009,22(2):162-170.(in Chinese))

[8] 时振刚,王庆平,乔光建.唐山市水环境与生态建设发展[M].北京:中国水利水电出版社,2012.(SHI Zhengge,WANG Qingping,QIAO Guangjian. Water Environment and Ecological Construction in the Development of Tangshan City[M]. Beijing: China Water Power Press,2012.(in Chinese))

[9] 申德轶,袁平.生态健康评价在湿地管理中的应用[J].生态学报,2008,4(3):30-33.(SHEN Deyi,YUAN Ping. Application of Ecological Health Evaluation[J]. Journal of Ecology in Wetland Management,2008,4(3):30-33.(in Chinese))

[10] 时玉涛,温海燕,乔光建.人类活动对滦河口实地生态环境影响分析[J].南水北调与水利科技,2011,9(3):124-129.(SHI Yutao,WEN Haiyan,QIAO Guangjian. Analysis of the Impacts of Human Activities on the Ecological Environment in Luanhe Pretext [J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology,2011,9(3):124-129.(in Chinese))

[11] 索安宁,于波,王天明,等.泾河流域植被景观格局对流域径流的调节作用[J].水土保持学报,2005,19(4):40-43.(SU O Anning,YU Bo,WANG Tianming,et al. Regulation Vegetation Landscape Pattern on Runoff in Watershed of Loess Plateau[J]. Journal of Soil and Water Conservation,2005,19(4):40-43.(in Chinese))

[12] 蒋辉.环境地质学[M].北京:化学工业出版社,2008.(JIANG Hui. Environmental Geology[M]. Beijing: Chemical Industry Press,2008.(in Chinese))

[13] 董哲仁.河流形态多样性与生物群落多样性[J].水利学报,2003,(11):1-7.(DONG Zheren. The Diversity of River Morphology and Biological Community Diversity[J]. Journal of Hydraulic Engineering,2003,(11):1-7.(in Chinese))

[14] 赵银军,魏开涓,丁爱中.河流功能及其与河流生态系统服务功能对比研究[J].水电能源科学,2013,31(1):72-75.(ZHAO Yijun,WEI Kaijuan,DING Aizhong. Comparison Research of River Function and River [J]. Water Resources and Power,2013,31(1):72-75.(in Chinese))