

沈阳市河流生态系统健康评价研究

周林飞¹, 左建军¹, 孙中华²

(1. 沈阳农业大学 水利学院, 沈阳 110866; 2. 即墨市水利局, 山东 即墨, 266200)

摘要: 考虑反映城市河流生态系统的水量、水质、河岸带、水生生物与物理结构等5个方面的因素, 构建了城市河流生态系统健康评价指标体系。城市河流生态系统健康评价模型采用模糊综合评判模型, 各指标权重利用层次分析法确定。根据评价指标的选择原则, 选取8个评价指标, 提出了5级评价标准, 对浑河沈阳段2009年的河流生态系统健康状况进行了评价。结果表明: 浑河沈阳段处于不健康状态。通过对比模型计算, 验证了该模型的可靠性。

关键词: 城市河流; 生态系统健康; 评价; 指标体系

中图分类号: X171

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2011)04-0254-04

Study of the Assessment of Urban River Ecosystem Health in Shenyang

ZHOU Lin-fei¹, ZUO Jian-jun¹, SUN Zhong-hua²

(1. College of Water Conservancy, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110866, China;

2. Water Conservancy Bureau of Jimo City, Jimo, Shandong 266200, China)

Abstract: This paper built the health assessment index system of urban river ecosystem in consider of water quantity and quality, riparian, aquatic biological and river physical structure which reflect the urban river ecosystem. The fuzzy comprehensive evaluation model is used in the model of the urban river ecosystem health assessment and AHP is used to determine the index weights. Based on the choice principle of assessment index, this paper chose eight assessment index and advance five grade assessment standard, and the ecosystem health of the Hun River in Shenyang in 2009 is assessed. The result shows that the Hun River in Shenyang is at the second standard(unhealthy). The result shows that this model is accurate by comparison with other model caculation.

Key words: urban river; ecosystem health; assessment; index system

城市河流指发源于城区或流经城市区域的河流或河流段, 以及一些历史上虽属人工开挖、但经多年演化已具有自然河流特点的运河和渠系, 是重要的城市环境因素, 正得到越来越多的关注^[1]。近年来, 由于我国社会经济高速发展、城市化进程的加快, 城市河流生态系统受到了来自自然和人为因素的巨大压力, 在各类直接或间接、潜在或显在独立作用与累积干扰的作用下, 城市河流生态系统整体状况及生态过程受到严重影响^[2], 已成为城市可持续发展的制约瓶颈。因此, 探讨城市河流有效的生态系统评价指标体系以及评价方法, 是正确进行城市河流生态系统功能现状诊断评价及其未来的预测和管理的需要。

目前, 河流生态系统健康评价的方法大体可分为

生物监测法和综合指标法。生物监测法通过监测一些生物或其类群的数量、生物量、生产力、结构指标、功能指标及其一些生理生态状况的动态变化来描述河流生态系统的健康状况。生物监测法的缺点是选择不同的研究对象及监测参数会导致不同的评价结果, 难于确定不同生物类群进行评价时的取样尺度与频度, 无法综合评价河流生态系统状况问题等^[3]。基于此, 产生了综合指标法, 综合指标法能够综合物理、化学、生物, 甚至社会经济指标。这种能够反映不同尺度信息的综合指标法成为未来生态系统健康评价的重要手段^[4]。本文即采用综合指标法, 建立评价指标体系及模糊综合评判模型, 对浑河沈阳段进行评价, 为河流生态修复提供科学依据和技术支持。

收稿日期: 2010-09-27

修回日期: 2011-01-22

资助项目: 国家自然科学基金(50879046)

作者简介: 周林飞(1971-), 女, 吉林人, 副教授, 博士, 从事生态需水及3S技术应用。E-mail: zlf924@163.com

通信作者: 左建军(1985-), 男, 辽宁沈阳人, 硕士研究生, 从事城市河流生态需水及健康评价研究。E-mail: zuojianjun@gmail.com

©1994-2013 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1 研究区概况及数据来源

1.1 研究区概况

浑河发源于辽宁抚顺市清源县长白山支脉的滚马岭,是辽宁省第二大河流。南部与太子河相邻,北与清、柴、范河接壤;东部以龙岗山脉与鸭绿江及松花江流域分界。自东向西南流,至营盘附近左岸纳入支流苏子河,然后流经抚顺、沈阳至黄土坎后支流蒲河由右岸汇入,最后在三岔河处与太子河汇合,注入大辽河。浑河全长 415 km,流域面积 11 481 km²。

本文评价范围为流经沈阳城市段,东起沈阳市东陵区干河子拦河坝,西至于洪区谟家堡大闸段,全长 31.98 km,河道最大宽度 964 m,最窄处宽 270 m,平均宽度 400 m。沈阳市地处欧亚大陆东岸,中纬度地带,气候类型属于温带大陆性季风气候。冬冷夏暖,寒冷期长,平均气温-9.1℃,夏季平均气温 22.3℃,年降水量平均为 716.6 mm,降水集中在 6-8 月。

1.2 数据来源

浑河径流量数据来自 1967-2007 年的中华人民共和国水文年鉴,河岸带植被覆盖率来自 2005 年遥感影像解译结果,水质数据来源于 2009 年 3 月、7 月和 8 月辽宁省重点水功能区水量水质评价结果。防洪标准、河道固化强度和亲水景观面积的相关数据根据实际调查得出。根据以上资料对 2009 年浑河沈阳段进行生态系统健康状况进行评价。

2 建立城市河流生态系统健康评价模糊综合评判模型

城市河流生态系统健康评价问题具有以下特征:评判客体不存在绝对分明的界限,具有中介过渡性,属于模糊概念;评判主体的思维方法上具有多样性;评判结果在表达上具有口语化的特征^[5]。因此,不能用一个简单的“是”或“否”,“非此即彼”来回答。对于这种界限(边界)不明的事物,需要有一种能对事物渐变过程中的不分明性加以描述的数学形式,模糊综合评判模型是处理这类外延边界“模糊不清”问题的最好方法。

2.1 隶属函数的确定

隶属函数是各单项指标模糊评价的依据,各单项指标的评价又是多因素模糊综合评价的基础。因此确定各因素对各级的隶属函数是问题的关键。求隶属函数的方法很多,其中有中值法以及按函数分布形态曲线求隶属函数等。较为成熟的是用降半梯形分布函数确定某种元素的隶属函数^[6]。分别用降半梯形和升半梯形隶属函数求两端等级的隶属度,用对称山型隶属函数求中间等级隶属度^[7]。见式(1)-(3)。

$$u_{iI} = \begin{cases} 1 & x \leq a_1 \\ \frac{a_2 - x}{a_2 - a_1} & a_1 < x < a_2 \\ 0 & x \geq a_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$u_{iJ} = \begin{cases} \frac{x - a_{j-1}}{a_j - a_{j-1}} & a_{j-1} < x \leq a_j \\ \frac{a_{j+1} - x}{a_{j+1} - a_j} & a_j < x < a_{j+1} \\ 0 & x \geq a_{j+1} \text{ 或 } x \leq a_{j-1} \end{cases} \quad (2)$$

$$u_{iV} = \begin{cases} 0 & x \leq a_4 \\ \frac{x - a_4}{a_5 - a_4} & a_4 < x < a_5 \\ 1 & x \geq a_5 \end{cases} \quad (3)$$

式中: i ——指标个数, $i=1, 2, \dots, n$; j ——评价等级, $j=1, 2, \dots, m$, 共 5 级; u_{iI} ——指标 i 等级 I 下的特征值对模糊子集的相对隶属度; u_{iJ} ——指标 i 等级 II-IV 下的特征值对模糊子集的相对隶属度; u_{iV} ——指标 i 等级 V 下的特征值对模糊子集的相对隶属度; x ——某评价因子实际值; a_j ——某级标准值。

把各评价指标的实际值代入相应的隶属函数,计算出每个指标对于各评价等级的隶属度,得模糊关系 R , 称 R 为模糊矩阵。

$$R = \begin{pmatrix} u_{11} & u_{12} & \dots & u_{1m} \\ u_{21} & u_{22} & \dots & u_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{n1} & u_{n2} & \dots & u_{nm} \end{pmatrix} = (u_{ij})_{n \times m} \quad (4)$$

2.2 建立评判指标的权重矩阵

运用层次分析法赋权。层次分析法的主要特点是定性与定量分析相结合,将人的主观判断用数量形式表达出来并进行科学处理。运用层次分析法确定权重,可分为 4 个步骤:建立递阶层次结构模型;构造出各层次中的所有判断矩阵;层次单排序及一致性检验;层次总排序及一致性检验。计算出各参评指标的权重,组成一个 $1 \times n$ 的模糊矩阵 E , 即:

$$E = (e_1 \quad e_2 \quad \dots \quad e_n) \quad (5)$$

式中: e_n ——各参评指标的权重。

2.3 模糊综合运算及评判

模糊综合评判问题最终目的是寻求一个模糊集合 B , 所以还要进行 E 与 R 模糊关系合成,得综合隶属度,对 B 中结果还必须归一化。

$$B = E \cdot R = (b_1 \quad b_2 \quad \dots \quad b_m) \quad (6)$$

式中: b_m ——对各等级的综合隶属度。

为了解决最大隶属度原则的不适用性,这里采用陈守煜^[8]提出的级别提特征值作为判定标准。设左极点状态记以序数 1,自左向右的中介状态记为 2, 3,

..., 直至右极点状态记以序数 m 。1, 2, ..., m 称为状态点, 以状态变量 h 表示, $h= 1, 2, \dots, m$ 。则级别特征值 H 利用式(7) 进行计算。

$$H = (1, 2, \dots, m) \cdot (b_1 \quad b_2 \quad \dots \quad b_m) \quad (7)$$

式中: b_m ——对各等级的综合隶属度。

3 评价指标体系及评价标准

3.1 建立评价指标体系

河流生态系统健康的概念是近几年才提出的, 至今尚无统一的定义, 分歧在于是否考虑人类价值。目前普遍认可的一种定义是 Meyer^[9] 提出的, 认为健康的河流生态系统不但要维持生态系统的结构和功能, 而且应包括人类与社会价值。人类与社会价值主要指工农业用水供应、洁净饮用水、环境娱乐、精神享受、鱼类生产、保持水供应、物质储存与再生、美学价值和净化能力等。本文在这个概念的基础上建立城市河流生态系统健康评价指标体系。

本研究在借鉴前人研究的基础上, 建立包括水量、水质、河岸带、水生生物与物理结构 5 个一级指标的指标体系。河流来水量能够反映流域的气候、地形地貌特征以及受人工设施干扰的程度, 同时又受这些因素影响。水量一般用城市河流生态需水量和开发利用率表达。水质标志着水体的物理(如色度、浊度、臭味等)、化学(无机物和有机物的含量)和生物(细菌、微生物、浮游生物、底栖生物)的特性及其组成的状况。良好的水质是水生物健康生长与繁殖的必备条件。

河岸带是处于水陆交界处的生态脆弱带, 是异质性最强、最复杂的生态系统之一^[10], 在维持区域生物多样性、促进物质与能量交换、抵抗水流侵蚀与渗透、营养物过滤及吸收等方面发挥重要的作用^[11-13], 表现为廊道、缓冲与护岸等 3 方面的生态功能^[14], 可以用

河岸带植被覆盖、亲水景观建设面积、效果和可达性以及防洪标准来表达^[15]。

河流的生物群落主要受河流系统水文情势、地貌、流态、水质和人类活动等因素的影响。着眼于水域生物群落结构和功能, 处于河流食物链营养顶级的鱼类能反映整个水生态系统的健康状况, 是河流健康评价的重要指示生物, 采用鱼类生物完整性指数表征河流生物指标状况。物理结构反映的是河道的几何形态, 直接影响到水体同河岸河道交换的能力、水生生物栖息地、河道物理稳固及连通程度等方面, 可以用河岸与河道固化强度、河床、河岸稳固性、河流廊道连续性、栖息地、鱼道状况来表达^[15]。

3.2 浑河沈阳段具体评价指标的选取

所选取的评价指标既能综合反映浑河沈阳段的健康状况, 又要具有可操作性和可获得性。水量指标选取水资源开发利用率和生态需水量; 水质指标根据国家地表水质标准, 选取多个指标进行综合评价, 来确定等级; 水生生物指标选取鱼类生物完整性指数 (IBI); 河岸带指标选取防洪标准、河岸带植被覆盖和亲水景观面积 3 个指标; 物理结构指标选取河岸与河道固化强度, 共 8 个指标。

3.3 评价标准

评价标准通过以下几种方法确定: (1) 历史资料法; (2) 实地考察; (3) 借鉴国家标准与相关研究成果。其中, 生态需水量等级是指生态需水量占河道天然年径流量的百分比, 根据 Tennant 法确定。分级采用通用的 5 级分级标准: 病态、不健康、亚健康、健康和很健康。防洪标准、河岸与河道固化强度、亲水景观面积 3 个指标, 分别对各个级别进行特征描述, 以分值阀“1, 2, 3, 4, 5”代表 5 个级别的标准。各个指标的分级标准值见表 1。

表 1 城市河流生态系统健康评价标准

评价指标	病态	不健康	亚健康	健康	很健康
水资源开发利用率/ %	> 40	30~ 40	20~ 30	10~ 20	< 10
生态需水量/ %	10	20	30	50	100
水质等级	V	IV	III	II	I
鱼类生物完整性指数	≤22	28~ 34	40~ 44	48~ 52	58~ 60
防洪标准	1	2	3	4	5
河岸带植被覆盖率/ %	10	20	30	40	50
河岸与河道固化强度	1	2	3	4	5
亲水景观面积	1	2	3	4	5

4 评价结果与分析

将 8 指标的实际值分别代入各等级的隶属函数式(1)~ (3), 计算各单项指标的隶属度, 即求模糊矩

阵, 其结果见表 2。根据层次分析法原理, 建立递阶层次结构模型, 各层权重计算结果见表 2。

利用式(6) 进行模糊综合运算, 得到综合隶属度 B , 见表 2。由于最大隶属度原则的不适用性, 再利用

式(7)计算, $H = 1.94$ 。因此, 浑河处于不健康状态。由综合隶属度可以看出, 浑河对于病态、不健康和亚健康的隶属度之和为 0.96, 而对健康和很健康的隶属度之和仅为 0.04, 即前者的隶属度远远大于后者, 这说明了最后评价结果为不健康的合理性。从各单项评价指标对各级别的隶属度来看, 水资源开发利用

率过高, 水质污染严重, 以及作为城市河流亲水景观面积还远远不够。今后应合理开发水资源, 加强污水排放的监管治理, 加大亲水景观的建设, 使浑河城市段处于较健康状态, 为水生物和城市居民提供一个良好的生境, 使其更好地可持续地为人类提供服务功能。

表 2 各评价指标隶属度、权重及综合隶属度

评价指标	各评价指标隶属度(R)					评价指标 权重(E)
	病态	不健康	亚健康	健康	很健康	
水资源开发利用率/ %	1	0	0	0	0	0.072
生态需水量/ %	0	0	1	0	0	0.216
水质等级	1	0	0	0	0	0.288
鱼类生物完整性指数	0	0.64	0.36	0	0	0.108
防洪标准	0	0	0	0	1	0.037
河岸带植被覆盖率/ %	0	0.55	0.45	0	0	0.111
亲水景观面积	1	0	0	0	0	0.111
河岸与河道固化强度	0	1	0	0	0	0.057
综合隶属度(B)	0.47	0.19	0.30	0.00	0.04	

为验证计算模型的正确性, 采用多模型对比方法进行检验。仍利用层次分析法确定权重, 应用另一种模型模糊模式识别模型, 对 2009 年浑河沈阳段进行评价, 其评价结果是, $H = 1.912$, 亦处于不健康状态。两种评价结果相吻合, 从而证明了所运用模型的可靠性和实用性。

5 结论

根据浑河沈阳段的实际情况、具体特征, 建立了浑河健康评价指标体系, 从水量、水质、水生生物、河岸带、物理结构 5 个方面选取了水资源开发利用率、生态需水量、水质等级、鱼类生物完整性指数等 8 个指标。分级采用通用的 5 级分级标准, 分为病态、不健康、亚健康、健康和很健康; 分级标准值通过历史资料、实地考察、借鉴国家标准和相关研究成果确定。采用模糊综合评判模型对浑河沈阳段进行了评价, 评价结果显示: 2009 年浑河沈阳段处于不健康状态, 并与模糊模式识别模型的计算结果进行对比, 证明了结果的正确性。处于不健康状态主要是由于人类长期对浑河的过度开发利用和污染造成的, 今后应合理开发水资源, 加强污水排放的监管和治理, 使河流处于健康状态, 为水生物提供一个良好的生境。

参考文献:

[1] 姜文超, 饶碧华, 张智, 等. 山地城市河流健康内涵及评价[J]. 土木建筑与环境工程, 2009, 31(3): 104-108.
[2] 边博, 程晓娟. 城市河流生态系统健康及其评价[J]. 环境评价, 2006(2): 66-69.
[3] Townsend C R, Riley R H. Assessment of river health: ac-

counting for perturbation pathways in physical and ecological space [J]. *Freshwater Biology*, 1999, 41: 393-405.
[4] 孔红梅, 赵景柱, 姬兰柱, 等. 生态系统健康评价方法初探[J]. 应用生态学报, 2002, 13(4): 486-490.
[5] 徐向阳, 高学平. 模糊数学在海水入侵地下水水质评价中的应用[J]. 水利学报, 2003(8): 64-69.
[6] 吴国金. 模糊数学法在地下水污染评价中的应用[J]. 江西地质, 1999, 13(3): 232-237.
[7] 赵建. 海水入侵水化学指标及侵染程度评价研究[J]. 地理科学, 1998, 18(1): 16-24.
[8] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1998: 24-31.
[9] Meyer J L. Stream health: incorporating the human dimension to advance stream ecology[J]. *Journal of the North American Benthological Society*, 1997, 16: 439-447.
[10] Jungwirth M, Muhar S, Schmutz S. Re-establishing and assessing ecological integrity in riverine landscapes [J]. *Freshwater Biology*, 2002, 47: 867-887.
[11] Naiman R J, Ecamps H D. The ecology of interface: riparian zones[J]. *Annu Rev Ecol Syst*, 1997, 28: 621-658.
[12] Mckone P D. Streams and their corridors: functions and values[J]. *Journal of Management in Engineering*, 2000, 5: 28-29.
[13] 邓红兵, 王青春, 王庆礼, 等. 河岸植被缓冲带与河岸带管理[J]. 应用生态学报, 2003, 23(1): 53-56.
[14] 张建春. 河岸带功能及其管理[J]. 水土保持学报, 2001, 15(6): 143-146.
[15] 赵彦伟, 杨志峰. 城市河流生态系统健康评价初探[J]. 水科学进展, 2005(5): 16-30.