

城市河流生态健康评价体系构建研究

文科军¹, 马 劲^{1, 2}, 吴丽萍¹, 何燕鹃¹, 江晓锋¹

(1. 天津城市建设学院环境与市政工程系, 天津 300384; 2. 天津创业环保股份有限公司, 天津 300381)

摘要 在分析城市河流生态系统健康状况的基础上, 概括了河流生态系统健康概念的含义, 并从水安全、水生态、水经济 3 个方面构建了城市河流生态健康的递阶层次结构和评价指标体系, 运用层次分析法对影响城市河流生态健康的各个指标进行权重计算和排序, 得到了影响城市河流生态健康最主要的因素是非生物系统和生物系统, 其中非生物系统又起主导作用, 在非生物系统中河床基质、水岸交换力所占的权值又最大, 在生物系统的结构、活力、恢复力 3 个指标中结构对城市河流生态健康的影响最大。

关键词 城市河流; 生态健康; 层次分析法

中图分类号 :X171.1 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-693X(2008)02-0050-03

Establishment of an urban river ecological health evaluation system

WEN Ke-jun¹, MA Jin^{1, 2}, WU Li-ping¹, HE Yan-juan¹, JIANG Xiao-feng¹

(1. Department of Environmental and Municipal Engineering, Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China; 2. Tianjin Capital Environmental Protection Company Limited, Tianjin 300381, China)

Abstract :Based on the present healthy status of urban river ecosystem, river ecosystem health was defined and a stepwise hierarchy structure and evaluation index system was developed using indicators of water safety, aquatic ecology and water economy. The hierarchy analysis process was used to conduct weight computation and sorting of the Indicators affecting urban river ecosystem health. It is concluded that, of the primary non-biological and biological factors, the non-biological factors are more important. The weights of riverbed sediment and the exchange force between water and shore are higher than those of other non-biological factors, while, in the biological system, structure, vitality and resilience are the three factors that have the greatest impacts on the ecological health of urban rivers.

Key words :urban river; ecological health; analytic hierarchy process

在数百万年长期进化过程中,自然河流与周围的生物种群交织在一起,形成了复杂、有序、动态稳定的河流生态系统,并依据其自然规律良性运行^[1]。但是,随着社会经济的飞速发展、城市化率的不断提高,作为城市生态系统重要组成部分的水生态系统,面临着种种干扰与胁迫作用:如人工改造城市河道的硬化导致水生态系统空间的不断萎缩;污染物的不断输入导致系统营养结构严重失调;水环境结构与质量恶化,使城市水生态系统的服务功能逐渐衰退,已成为城市可持续发展重要的制约瓶颈^[2]。

生态系统健康可反映一个生态系统的综合特

性,一般通过研究生态系统的结构(包括组织结构和空间结构)、功能(生态功能和服务功能)、适应力(弹性)和社会价值来判断它们的健康状况^[3]。城市河流生态系统健康与社会、经济、人类、生态环境等密切相关,在区域水平上可以理解为是水安全、水生态、水经济的有机统一。一个健康的河流生态系统应具有合理的组织结构和良好的运转功能,系统内部的物质循环和能量流动未受到质的损害,对长期或突发的自然或人为扰动能保持着弹性和稳定性,并表现出一定的恢复能力,整体结构与功能表现出多样性、复杂性。能够满足所有受益者的合理目标要求。

作者简介:文科军(1957—),男,江西永新人,博士,教授,从事城市水土环境的生态修复研究。E-mail:wenkejun@126.com.

1 城市河流生态健康评价体系的构建

城市是一个高度人工化的以人为中心的复合生态系统,系统的稳定运行更依赖于城市河流生态服务功能的持续发挥^[4]。那么什么样的河流才算是健康河流呢?许多学者认为,在人类进行大规模经济活动前的自然河流,由于具有较为合理的结构和较为完善的功能,处于一种自然演进的健康状态,但现实是,由于人类经济活动的影响,很难找到没有人类活动痕迹的自然河流^[5]。并且在以人为中心的城市河流生态系统中,未经人类合理改造的自然河流对人类来说未必是健康的,因为城市河流不能独立存在于人的价值之外,它的存在也应该给人类带来身、心健康和经济效益。因此,对城市河流进行健康评价的指标应包括水安全指标、水生态指标、水经济指标 3 个方面。

城市河流生态系统健康是一个动态性的相对概念,采用模糊综合评判具有明显的优势^[6]。为克服指标权重确定的主观性与大量指标同时赋权的混乱与失误,提高评价的简便性和准确性,本文通过层次分析法确定权重,确定各因素对总目标影响力的大小。

1.1 生态系统健康的层次结构与指标体系

对城市河流生态健康进行评价时作为最高级别的目标函数,应该是城市河流生态健康。其构成要素,应包括水安全、水生态、水经济 3 个方面。针对每个要素的内涵提出相应的指标,这样就构成了城市生态系统健康的层次结构(图 1)。

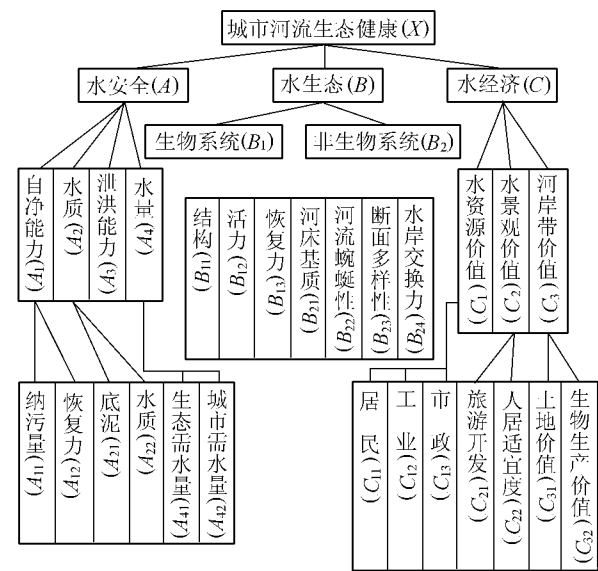


图 1 城市河流生态健康层次结构

1.1.1 水安全(A)

水安全是指河流生态系统本身具备系统稳定、良性循环的能力。水安全体系是构成城市河流生态

系统的基础条件,因此是河流生态系统建设的关键内容。对于城市河流生态健康来说,水安全可用以下指标表示:

a. 自净能力(A_1)。自净能力反映河流受污染后自身的恢复力,一定程度反映河流生态结构的完整性,它可由纳污量(A_{11})和恢复力(A_{12})两个指标反映。

b. 水质(A_2)。水质直接反映河流的受污染状况,它可由泥质(A_{21})和水质(A_{22})两个指标来反映。水质表征水环境质量状态,可依据 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》作判断,底泥污染状况则预示着潜在的水环境污染压力,采用底泥污染指数表示^[7]。

c. 泄洪能力(A_3)。泄洪能力是城市河流的一个最基本功能,保障城市在汛期洪水威胁的情况下能安全泄洪,以保证城市安全。

d. 水量(A_4)。水量综合反映流域气候特征、地表覆盖特征及河流地形地貌与受人工设施干扰的程度,是流态变更的重要表现载体。它由生态需水量(A_{41})和城市需水量(A_{42})来表述。

1.1.2 水生态(B)

水生态主要从生态学角度判断城市河流的健康状况。生态结构的完整性是城市河流生态健康的重要表征,水生态可由以下指标表示:

a. 生物系统(B_1)。生物系统主要是从生物群落内部看食物链的丰富度和完整性,以及其面对外界干扰时的承载力、稳定性和自我调控自我修复能力。它用结构(B_{11})活力(B_{12})恢复力(B_{13})来表示,其中,结构由多样性指数、网络分析获得的参数表示,活力可由生态系统的生产力、新陈代谢等获得,而恢复力可由模拟模型计算出来。

b. 非生物系统(B_2)。非生物系统主要从生境方面考虑其对城市河流健康的影响,它由河床基质(B_{21})河流蜿蜒性(B_{22})断面多样性(B_{23})水岸交换力(B_{24})等指标来表示。

1.1.3 水经济(C)

健康的水生态系统同样要反映生态系统满足人类生存与社会经济可持续发展对环境的要求,它由水资源价值(C_1)水景观价值(C_2)河岸带价值(C_3)等指标表示。

a. 水资源价值(C_1)。它是以水为商品的价值直接体现,主要从居民(C_{11})工业(C_{12})市政用水(C_{13})3个方面考虑。

b. 水景观价值(C_2)。优美的水域景观具有休闲旅游功能,可以在满足人们对身心健康需求的同时,得到自然美学与艺术的熏陶,是人类的一种精神

文明财富。它可从旅游开发(C_{21})和人居适宜度(C_{22})两个方面反映。

c. 河岸带价值(C_3)。主要从健康河流的潜在价值考虑 ,主要包括沿河土地价值(C_{31})、河岸生物生产价值(C_{32})两个方面。

1.2 城市河流生态健康的综合评价

进行层次分析需要构建判断矩阵,而在构建判断矩阵之前,首先必须明确两两比较标度。美国匹兹堡大学的 T.L.Sauty 教授提出了 1-9 标度^[8](表 1)。

表 1 重要性标度赋义表

标度	赋 义
1	两个因素相比,具有相同重要性
3	两个因素相比,前者比后者稍重要
5	两个因素相比,前者比后者明显重要
7	两个因素相比,前者比后者强烈重要
9	两个因素相比,前者比后者极端重要
2,4,6,8	上述相邻判断的中间值

其分析步骤如下:①在各层次上根据评定尺度确定各因素重要程度并据此构建判断表,然后通过一定的计算,确定各评价要素评价指标的相对权值,并进行一致性检验。结果如表 2,3,4,5 所示。②通过综合层次总排序的计算,确定各评价指标对最高层总目标的权重,并据此对各评价指标作出最终排序。

2 分 析

通过层次分析法对影响城市河流生态健康的各因素进行权重计算和排序,可以清楚地看出各因素对城市河流生态健康的影响力大小。从第三层次综合总排序的结果中(表 5)我们可以看到:在 9 个影响城市河流生态健康的因素中 B_2 (非生物系统)对其的影响力最大,达到 0.493;其次是 B_1 (生物系统)和 A_1 (自净能力),分别为 0.238 和 0.098,最小的是 C_3 (水景观价值)为 0.009。由此可知,在评价城市河流生态健康时非生物系统和生物系统是最重要的评价指标,同样,在建设健康的城市河流时,首先考虑的应该是如何优化、完善城市河流的非生物系统和生物系统,尤其是非生物系统,因为完善、近自然状态的非生物系统能诱导产生丰富、稳定的生物系统,可实现净化河流水质、促进整个水生态的健康与稳定。

经专家问卷调查评估确定的判断矩阵为:

$$X = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 & 3 \\ 5 & 1 & 7 \\ 1/3 & 1/7 & 1 \end{bmatrix}$$

表 4 第三层单排序权重

因素	A_{11}	A_{12}	A_{21}	A_{22}	A_{41}	A_{42}	B_{11}	B_{12}	B_{13}	B_{21}	B_{22}	B_{23}	B_{24}	C_{11}	C_{12}	C_{13}	C_{21}	C_{22}	C_{31}	C_{32}
权重	0.325	0.675	0.167	0.833	0.833	0.167	0.618	0.196	0.196	0.375	0.125	0.125	0.375	0.637	0.258	0.105	0.387	0.613	0.675	0.325
C_R	0.000		0.000		0.000		0.000			0.000				0.035			0.000		0.000	

(下转第 60 页)

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/3 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 1 & 1 \\ 1/3 & 3 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 \\ 3 & 1 \end{bmatrix} \quad A_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/5 \\ 5 & 1 \end{bmatrix} \quad A_4 = \begin{bmatrix} 1 & 5 \\ 1/5 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} 1 & 1/3 \\ 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 \\ 1/3 & 1 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad B_2 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 3 & 1 \\ 1/3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 1 & 1 & 1/3 \\ 1 & 3 & 3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 1 & 5 & 3 \\ 1/5 & 1 & 1/3 \\ 1/3 & 3 & 1 \end{bmatrix} \quad C_1 = \begin{bmatrix} 1 & 3 & 5 \\ 1/3 & 1 & 3 \\ 1/5 & 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

$$C_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1/2 \\ 2 & 1 \end{bmatrix} \quad C_3 = \begin{bmatrix} 1 & 3 \\ 1/3 & 1 \end{bmatrix}$$

由判断矩阵计算各个因素的层次单排序和检验结果如下。

表 2 第一层单排序权重

因素	A	B	C	C_R
权重	0.188	0.731	0.081	0.062

表 3 第二层单排序权重

因素	A_1	A_2	A_3	A_4	B_1	B_2	C_1	C_2	C_3
权重	0.52	0.078	0.201	0.201	0.325	0.675	0.637	0.105	0.258
C_R		0.016			0.000			0.035	

由表 2、3、4 可知, $C_R < 0.1$,所以单排序通过了一致性检验。

第三层次的总排序权重如表 5 所示,第四层的总排序权重见表 6。

表 5 第一、二层总排序权重

因素	A_1	A_2	A_3	A_4	B_1	B_2	C_1	C_2	C_3
总权重	0.098	0.014	0.038	0.038	0.238	0.493	0.052	0.009	0.02
C_R		0.014			0.000			0.035	

由表 5、6 可知: $C_R < 0.1$,所以综合层次总排序通过了一致性检验。

从第四层次综合权重的计算结果(表 6)可知:在城市河流生态系统健康的 20 项影响指标中, B_{21} (河床基质)和 B_{24} (水岸交换力)对其的影响力最大,

水产品数量的观念 ,维护湖泊的健康生命 ,实现湖泊水产资源的永续利用。

4.2 规范健康养殖

就目前国内的养殖水平和管理手段来说 ,湖泊内大规模高密度的水产养殖 ,对湖泊水环境和生态系统将产生不利影响。因此 ,无论从保护湖泊生态的角度 ,还是从提高水产品质量及实现水产资源可持续利用的角度 ,都必须走健康养殖之路。在健康养殖模式思想的指导下 ,根据湖泊的面积确定合理的养殖密度 ,根据不同的湖泊水深 ,科学地确定养殖的品种、结构 ,并采取适度的投饵方式 ,维持湖泊可持续利用。

4.3 提倡生态养殖

在合理的水产养殖容量内 ,采用科学的饲料结构和投喂标准 ,并尽可能地采用生态养殖方式 ,使生态系统中各种异养生物的废物能为自养生物有效利用 ,减少污染物的产生^[5]。如阳澄湖的生态养蟹区 ,每年

在清明前后投放 3 000 ~ 3 750 kg/km² 的螺丝^[6] ,既满足了螃蟹的生长需要 ,又有利于生态环境的保护。

参考文献 :

[1] 李辛夫 ,陈宜瑜 .内陆水体生物学研究与淡水渔业的可持续发展[J].水生生物学报 ,1998 ,22(2) :174-180.
[2] 舒金华 .我国湖泊富营养化程度评价方法的探讨[J].环境污染与防治 ,1990 ,12(5) :2-7.
[3] 温志良 ,张爱军 ,温琰茂 .集约化淡水养殖对水环境的影响[J].水利渔业 ,2000 ,20(4) :19-20.
[4] STIRLING H P ,DEY T. Impact of intensive cage fish farming on the phytoplankton and periphyton of a Scottish freshwater loch[J].Hydrobiologia ,1990 ,190 :19-214.
[5] 胡家文 .网箱养殖体内外的水质变化[J].齐鲁渔业 ,2005 ,22(11) :17-19.
[6] 徐盘英 .阳澄湖网围标准化生态养蟹技术[J].水产养殖 ,2004 ,117(2) :18.

(收稿日期 2006-11-22 编辑 徐 娟)

+++++

(上接第 52 页)

表 6 第二、三层总排序权重

因素	A ₁₁	A ₁₂	A ₂₁	A ₂₂	A ₄₁	A ₄₂	B ₁₁	B ₁₂	B ₁₃	B ₂₁	B ₂₂	B ₂₃	B ₂₄	C ₁₁	C ₁₂	C ₁₃	C ₂₁	C ₂₂	C ₃₁	C ₃₂
总权重	0.032	0.066	0.002	0.012	0.035	0.003	0.147	0.045	0.046	0.185	0.062	0.063	0.185	0.033	0.013	0.006	0.003	0.006	0.014	0.006
C _R				0.000						0.000									0.035	

为 0.185 ,B₁₁(结构)次之 ,为 0.147。因此 ,在对城市河流生态健康进行评价时 ,要以河流物理结构指标和生物指标相结合的方式综合评价 ,建设健康的城市河流时要尽可能地保持河流形态的多样性 ,河道防护工程岸坡要采用有利于植物生长的多孔性透水材料 ,特别注意采用当地天然材料 ,使用有利于植物生长且具有一定防蚀、抗冲击性的衬砌材料 ,河道设计应为植物生长、动物栖息、鱼类产卵创造条件 ,工程措施同完善生物结构的生物措施相结合 ,充分发挥工程措施在短期内能迅速构建生物生存的环境条件的特性 ,为生物长期持续地发挥作用、维持河流生态健康创造条件 ,生物作用初期更依赖于有利于生物生长的工程措施。另外 ,在完善河流生态系统结构完整性的同时还要加强对排入河流污染物的控制 ,尽可能以较小的水质扰动来保持生态系统结构的相对稳定。

城市河流生态系统健康是一个生态价值与人类价值相统一的整合性的概念 ,健康的城市河流生态系统服务功能应体现以人为本的理念 ,同城市经济、文化与生态服务相协调 ,应具备生态学意义上的完整性及保证服务功能的持续性^[9-10]。本文目的不只是从生态建设的认识论入手 ,通过层次分析法分析各因素对城市河流生态健康影响力的大小 ,建立一

个合理的城市河流生态健康评价指标体系 ,更重要的是通过对影响城市河流生态健康各因素权重的计算分析来为如何构建一个健康、稳定的城市河流 ,从认识论、方法论和技术手段上给予方向性的指导。

参考文献 :

[1] 董哲仁 .河流生态恢复的目标[J].中国水利 ,2004(10) :6-9.
[2] 王沛芳 ,王超 ,侯俊 .城市河流生态系统建设模式研究及应用[J].河海大学学报 :自然科学版 ,2005 ,33(1) :68-71.
[3] NORRIS R H ,THOMS M C. What is river health ?[J]. Freshwater Biology ,1999 ,41 :197-209.
[4] 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 ,16(3) :349-355.
[5] 董哲仁 .河流健康的内涵[J].中国水利 ,2005(4) :15-18.
[6] 袁鸣鹏 ,严河 .城市生态系统健康评价的层次分析法应用研究[J].科学学与科学技术管理 ,2003(8) :84-86.
[7] KARR J R. Defining and measuring river health[J]. Freshwater Biology ,1999 ,41 :221-234.
[8] 赵焕臣 ,许树柏 和金生 .层次分析法 :一种简易的新决策方法[M].北京 :科学出版社 ,1986.
[9] 刘茂松 ,张明娟 .景观生态学 :原理与方法[M].北京 :化学工业出版社 ,2004.
[10] 杨京平 ,卢剑波 .生态安全的系统分析[M].北京 :化学工业出版社 ,2002.

(收稿日期 2006-12-09 编辑 高渭文)