

可变模糊评价方法在浑河上游河段健康评价中的应用

刘玉玉,许士国

(大连理工大学水利工程学院,辽宁 大连 116024)

摘要:综合考虑影响河流健康的各方面因素,采用驱动力-压力-状态-影响-响应(DPSIR)模型建立河流健康评价指标体系,运用可变模糊集理论建立评价模型对浑河上游河段河流健康状况进行评价。评价结果表明,浑河上游河段健康评价平均值为 2.914,属于亚健康等级,与常规的集对分析方法和综合指数评价方法的评价结果一致,验证了可变模糊评价方法的可行性和合理性。鉴于研究区段位于浑河源头上段,承载着巨大的生态服务功能,对该河段进行生态保护和修复是非常重要的。

关键词:河流健康;可变模糊评价;DPSIR 模型;浑河上游河段

中图分类号:X824 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2013)03-0064-04

River health assessment in the upper Hun River based on variable fuzzy model//LIU Yuyu, XU Shiguo (*School of Hydraulic Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China*)

Abstract: With consideration of influencing factors of the river health, the evaluation system of river health was constructed based on a driving-pressure-state-impact-responses (DPSIR) model. An evaluation model was developed using the method of variable fuzzy theory to evaluate the health of the upper Hun River. The results show that the upper Hun River with a mean health evaluation value of 2.914 is in the sub-healthy state. The set pair analysis method and the comprehensive evaluation index system method were also employed to evaluate the health of the upper Hun River and the results are consistent with those of the variable fuzzy method, which shows that the variable fuzzy method is effective. It is important to protect and repair ecological environment in the upper Hun River because this reach has a remarkable ecological service potential.

Key words: river health; variable fuzzy model; DPSIR model; upper reach of the Hun River

河流是陆地生态系统的动脉^[1],是重要的自然资源和环境载体,具有水源供应、空间绿化、环境净化、自然保护、娱乐旅游、交通运输以及能源供应等多种生态功能^[2]。随着社会的发展和科技的进步,人类对河流水资源的开发利用程度越来越高,人类活动对河流生态系统带来一系列影响,导致河流水质恶化、水生生物锐减以及河岸带栖息地退化等一系列生态环境问题。河流健康评价作为河流系统管理的一种有效手段,有助于提高管理决策能力,对于流域生态环境建设和可持续发展具有重要的意义。

河流健康的概念自 20 世纪 80 年代被提出以来,得到了广泛的关注。随着国际范围内河流生态保护、恢复和治理的深入,河流健康的相关理论与评价实践^[3-8]得到了迅速发展,评价方法按原理可以分为两种:多指标评价法和预测模型法。多指标评价法因其能够反映复杂河流系统在多尺度、多压

力下的特征,可全面揭示河流环境存在的问题,使用较为普遍,逐渐成为河流健康评价的主要方法^[3]。本文通过驱动-压力-状态-影响-响应(DPSIR)模型建立多指标评价体系,利用可变模糊评价模型^[9]定量评估浑河上游河段的健康程度,以为河流管理和水资源的可持续利用提供决策依据。

1 研究区域概况

浑河是辽宁省境内最大的内河,发源于抚顺市清原县湾甸子镇的滚马岭(海拔 997.4 m),全长 415 km,流域面积达 11 481 km²。该流域地处温带半湿润季风气候区,大陆性气候明显。浑河属受控程度比较高的河流,干流上游建有大伙房水库,总库容为 21.87 亿 m³,是下游沈阳、抚顺、鞍山等 7 个城市的饮用水源地;市区段由上游至下游建有 10 余个橡胶坝或节制闸调节流量^[10]。

浑河上游河段位于清原县大伙房水库以上,其流域西南以龙岗山脉与新宾县分界,东北部伴英额河西行。河流基本依山而行,岸边有部分自然形成的护岸林。随着社会经济的发展,人类对河流的开发利用程度加大,不可避免地对河流生态系统造成损伤,导致河流生态系统功能衰退。鉴于浑河上游河段的特殊区位和资源环境态势,有必要对其健康程度进行综合定量评价,为该河段生态保护和综合治理决策提供科学依据。

2 河流健康评价指标体系

DPSIR 模型是由欧洲环境组织(EEA)为分析与描述环境问题及其和社会发展的关系而构建起来的。该模型基于因果关系组织信息及相关指数,存在着驱动力(driving forces)→压力(pressure)→状态(state)→影响(impact)→响应(responses)的因果关系链,被广泛应用于各个研究领域^[11-14]。根据指标设置原则以及数据的可获得性,本文将评价指标分成驱动力、压力、状态、影响和响应 5 种类型,每种类型又分成若干种指标,有助于理解河流健康与社会、经济和环境各因素的作用过程以及彼此之间的因果关系。综合考虑影响河流健康的各方面因素,构建多指标评价体系,见图 1。指标设置时主要从以下几个方面考虑:①驱动力指标是指由于社会、经济、人口发展以及相应的人类生活方式和消费、生产形式的改变对河流生态系统产生影响的指标,选用人均 GDP(x_1)、城市化率(x_2)和恩格尔系数(x_3)这 3 个二级指标。②在驱动力作用之后,在河流生态系统之上直接施加促使该系统发展变化的压力(土地、水资源等),这方面的指标选择人口密度(x_4)、水资源模数(x_5)、单位面积化肥施用量(x_6)和单位面积农药施用量(x_7)。③状态指标描述的是在特定区域和特定时间内物理、生物和化学现象的水平、数

量或质量。状态的改变会对整个河流生态系统产生环境、生态、经济上的影响,选用指标包括多年平均降水量(x_8)、径流系数变化率(x_9)、鱼类种类变化率(x_{10})和植被覆盖率(x_{11})。④影响指标用于描述由于驱动力、压力、状态因素引起的河流生态系统状态的改变,反映了状态变化的最终结果,选择水资源开发利用效率(x_{12})、河流水质达标率(x_{13})和河道生态需水量保证率(x_{14})来衡量。⑤响应指标描述的是政府、组织和个人为预防、减轻、改善或者适应非预期的生态系统状态变化而采取的积极响应,是人的主观能动性的体现,选用单方水 GDP 产出(x_{15})、工业用水重复率(x_{16})、调节能力指数(x_{17})和防洪工程措施完善率(x_{18})这 4 个二级指标。

3 评价方法

由于河流健康涉及自然、社会等诸多因素,其健康评价系统是典型的复杂系统,而以往的评价方法在评价过程中存在难以反映评价过程中的模糊、不确定性以及评价指标的不兼容性问题。可变模糊集理论是在相对隶属度的基础上发展而来的,可以很好地解决上述问题。因此,本文利用可变模糊集理论^[15]对浑河上游河段河流健康进行综合评价。

设 $X_0=[a,b]$ 为实轴上模糊可变集合 $\tilde{A}$ 的吸引域, $X=[c,d]$ 为包含 $X_0(X_0 \subset X)$ 的某一上、下界范围区间,如图 2 所示。

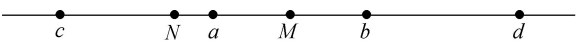


图2 点 N 与区间 X_0, X 的位置关系

根据模糊可变集合 $\tilde{A}$ 的定义可知 $[c,a]$ 与 $[b,d]$ 均为 $\tilde{A}$ 的排斥域, $D_{\tilde{A}}(u)$ 为 u 对 $\tilde{A}$ 的相对差异度。设 y 为吸引域区间中 $D_{\tilde{A}}(u)=1$ 的点 M 的量值, x 为区间 X 内任意点 N 的量值,则 N 点落入 M 点左侧时的相对差异函数模型为

$$D_{\tilde{A}}(u) = \begin{cases} \left(\frac{x-a}{y-a}\right)^{\beta} & x \in [a,y] \\ -\left(\frac{x-a}{c-a}\right)^{\beta} & x \in [c,a] \end{cases} \tag{1}$$

N 点落入 M 点右侧时的相对差异函数模型为

$$D_{\tilde{A}}(u) = \begin{cases} \left(\frac{x-b}{y-b}\right)^{\beta} & x \in [y,b] \\ -\left(\frac{x-b}{d-b}\right)^{\beta} & x \in [b,d] \end{cases} \tag{2}$$

式中:系数 $\beta \geq 0$,通常可取 $\beta=1$ 。
设有对河流系统健康状况进行评价的 n 个样本集合 $X=\{x_1,x_2,\cdots,x_n\}$,有 m 个指标特征值和 c 个评价级别数,则可变模糊评价模型为

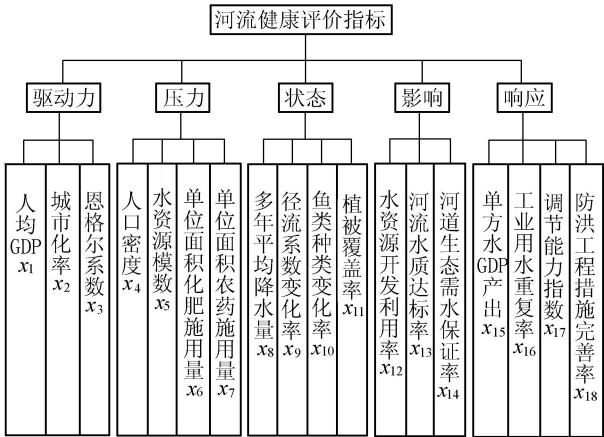


图1 基于 DPSIR 模型的河流健康评价指标体系

$$u'_{hj} = \left\{ 1 + \left[\frac{\sum_{i=1}^m w_i (1 - u_{\bar{A}}(x_{ij})_h)^p}{\sum_{i=1}^m (w_i u_{\bar{A}}(x_{ij})_h)^p} \right]^{\alpha/p} \right\}^{-1} \quad (3)$$

式中: u'_{hj} 为非归一化的综合相对隶属度; w_i 为指标权重; $u_{\bar{A}}(x_{ij})_h$ 为指标 x 对 $\bar{A}$ 关于级别 h 的相对隶属度; α 为模型优化准则参数, $\alpha=1$ 表示最小一乘方准则, $\alpha=2$ 表示最小二乘方准则; p 为距离参数, $p=1$ 为海明距离, $p=2$ 为欧氏距离。 α 和 p 有 4 个组合,对应 4 种计算模型:① $\alpha=1,p=1$,相当于模糊综合评判模型;② $\alpha=1,p=2$,相当于理想点模型;③ $\alpha=2,p=1$,模型变为 sigmoid 型函数,可用来描述神经网络系统中神经元的激励函数;④ $\alpha=2,p=2$,为模糊优选模型。

由式(3)可得到非归一化的综合相对隶属度矩阵:

$$U' = (u'_{hj}) \quad (4)$$

由式(4)归一化处理得到综合相对隶属度矩阵:

$$U = (u_{hj}) \quad (5)$$

根据模糊概念在分级条件下最大隶属度原则的不适用性,采用级别特征值方法对样本进行级别评价。级别特征值的计算公式为

$$H = (1, 2, \cdots, c) \cdot U \quad (6)$$

采用级别特征值方法既考虑到最大隶属度的作用,同时也考虑到其他隶属度的影响,使评价结果更客观全面。

4 河流健康评价

为了定量表征河流健康的状态,综合考虑国内外相关指标^[5-8]的发展特点及趋势,根据已有文献成果和浑河上游河段的实际情况,合理设计和拟定其分级标准值。指标分级标准按很健康(1级)、健康(2级)、亚健康(3级)、不健康(4级)、病态(5级)5个级别划分,其单项指标标准值按这5个级别分别确定,指标划分设置见表1。表中指标值主要来源于辽宁省统计年鉴、清原县水资源评价资料、清原县县志和浑河上游生态保护与综合治理调研问卷。

由于各指标所发挥的作用不同,因此权重不同。应用文献[9]提出的确定指标权重重要性排序一致性定理,首先得到通过检验的指标重要性排序一致性标度矩阵,然后对指标做关于重要性程度的二元比较判断,并利用语气算子与相对隶属度之间的关系(表2),得到评价指标的权重,结果见表3。

根据各评价指标采用的可变模糊识别模型,计算浑河上游河段河流健康评价的级别特征值,改变模型参数 α 、 p ,应用可变模糊评价模型(式(3))进行不同模型的计算,得出4种模型下评价值分别为2.881、2.991、2.832以及2.951,则浑河上游河段河流健康评价平均值为2.914,由表4可见,属于3级,即亚健康状况。近年来,浑河年径流量逐年减少,植被等数量、种类的变化可能导致植被涵养水源的变化;由于一些乡镇没有固定的垃圾场,沿途居民

表 1 浑河上游河段河流健康评价指标分级标准及指标值

分级标准及 指标值	$x_1/\text{万元}$	$x_2/\%$	$x_3/\%$	$x_4/(\text{人} \cdot \text{km}^{-2})$	$x_5/(\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	$x_6/(\text{t} \cdot \text{km}^{-2})$
很健康	>7.74	>80	<20	<20	>60	<10
健 康	2.50 ~ 7.74	60 ~ 80	20 ~ 35	20 ~ 50	35 ~ 60	10 ~ 20
亚健康	0.66 ~ 2.50	40 ~ 60	35 ~ 50	50 ~ 100	20 ~ 35	20 ~ 30
不健康	0.30 ~ 0.66	20 ~ 40	50 ~ 65	100 ~ 300	15 ~ 20	30 ~ 40
病 态	<0.30	<20	>65	>300	<15	>40
指标值	3.02	36.17	38.4	94.68	29.48	17.87
分级标准及 指标值	$x_7/(\text{t} \cdot \text{km}^{-2})$	x_8/mm	$x_9/\%$	$x_{10}/\%$	$x_{11}/\%$	$x_{12}/\%$
很健康	<0.5	1300 ~ 2000	5 ~ 10	<5	>40	<10
健 康	0.5 ~ 1	1000 ~ 1300	10 ~ 20	5 ~ 10	30 ~ 40	10 ~ 20
亚健康	1 ~ 2	800 ~ 1000	20 ~ 30	10 ~ 15	20 ~ 30	20 ~ 30
不健康	2 ~ 4	500 ~ 800	30 ~ 40	15 ~ 20	10 ~ 20	30 ~ 50
病 态	>4	<500	>40	>20	<10	>50
指标值	0.74	791.1	5.04	0.5	0.74	5.3
分级标准及 指标值	$x_{13}/\%$	$x_{14}/\%$	$x_{15}/\text{元}$	$x_{16}/\%$	x_{17}	$x_{18}/\%$
很健康	>80	>90	>120	>85	0.10 ~ 0.15	>90
健 康	65 ~ 80	75 ~ 90	100 ~ 120	75 ~ 85	0.06 ~ 0.10	80 ~ 90
亚健康	50 ~ 65	60 ~ 75	60 ~ 100	65 ~ 75	0.02 ~ 0.06	70 ~ 80
不健康	35 ~ 50	40 ~ 60	20 ~ 60	55 ~ 65	0.01 ~ 0.02	60 ~ 70
病 态	<35	<40	<20	<55	<0.01	<60
指标值	30.19	80	61.22	71.34	0.05	80

表 2 语气算子与模糊标度值、相对隶属度之间的关系					
语气算子	模糊标度值	相对隶属度	语气算子	模糊标度值	相对隶属度
同样	0.50	1.000	十分	0.80	0.250
稍稍	0.55	0.818	非常	0.85	0.176
略为	0.60	0.667	极其	0.90	0.111
较为	0.65	0.538	极端	0.95	0.053
明显	0.70	0.429	无可比拟	1.00	0
显著	0.75	0.333			

表 3 评价指标权重计算值					
指标	权重	指标	权重	指标	权重
x_1	0.091	x_7	0.038	x_{13}	0.091
x_2	0.060	x_8	0.042	x_{14}	0.060
x_3	0.049	x_9	0.038	x_{15}	0.063
x_4	0.025	x_{10}	0.063	x_{16}	0.042
x_5	0.100	x_{11}	0.057	x_{17}	0.057
x_6	0.038	x_{12}	0.049	x_{18}	0.038

表 4 评价标准					
评价方法	很健康	健康	亚健康	不健康	病态
可变模糊评价	(4.5,5]	(3.5,4.5]	(2.5,3.5]	(1.5,2.5]	(0,1.5]
集对分析	(0.6,1]	(0.2,0.6]	(-0.2,0.2]	(-0.6,-0.2]	(-1,-0.6]
综合指数评价	(0.8,1]	(0.6,0.8]	(0.4,0.6]	(0.2,0.4]	(0,0.2]

将生活垃圾直接倾倒至河道,加上农药、化肥等农业污染以及部分工业生产污染,导致浑河水环境变差。

为了分析验证可变模糊评价结果,将常规的集对分析方法^[16-17]和综合指数评价方法^[5,18]计算结果与本文模型结果进行对比,见表 5。由表 5 可见,可变模糊评价与其他评价方法的评价结果一致,即目前浑河上游河段健康状况属于 3 级,即亚健康状况。基于可变模糊集理论的评价方法是合理描述非线性系统中复杂关系的有效工具,可以较好地处理指标标准为区间值的问题,结果可靠性较高。

表 5 评价结果比较		
评价方法	评价值	评价级别
可变模糊评价	2.914	亚健康
集对分析	0.198	亚健康
综合指数评价	0.594	亚健康

鉴于研究区段位于浑河源头上段,承载着巨大的生态服务功能,因此,对该段河流进行生态保护、改善和治理是非常重要的。对河流及时进行生态治理,既需要工程技术的支持,同时也需要相关政策、体制等发挥作用,使研究区段河流生态系统逐步恢复到健康状态。

5 结 语

在河流健康复杂系统评价体系中,存在着大量

的不确定性因素,具有明显的模糊性。应用可变模糊集理论能够科学、合理地确定样本指标对各级指标标准区间的相对隶属度和相对隶属函数,并且通过变化模型及其参数,能够合理地确定出河流健康的评价等级,提高对河流健康水平等级评价的可信度。

通过 DPSIR 模型构建河流健康评价指标体系,对浑河上游河段河流健康状况运用可变模糊评价模型进行评价,得到评价指标平均值为 2.914,属于亚健康等级。利用常规的集对分析方法和综合指数评价方法来评估浑河上游河段河流健康状况,结果与可变模糊评价结果一致,验证了可变模糊评价方法应用的可行性和合理性。

参考文献:

[1] 张晶,董哲仁,孙东亚,等.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,2010,41(8):883-892. (ZHANG Jing, DONG Zheren, SUN Dongya, et al. Complete river health assessment index system based on eco-regional method according to dominant ecological functions [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 41 (8):883-892. (in Chinese))

[2] 李洪远,鞠美庭.生态恢复的原理与实践[M].北京:化学工业出版社,2005.

[3] 赵彦伟,杨志峰.河流健康:概念、评价方法与方向[J].地理科学,2005,25(1):119-124. (ZHAO Yanwei, YANG Zhifeng. River health: concept, assessment method and direction [J]. Scientia Geographica Sinica, 2005, 25 (1):119-124. (in Chinese))

[4] 林俊强,夏继红,韩玉玲,等.河流健康诊断系统的设计与应用[J].河海大学学报:自然科学版,2009,37(6):640-644. (LIN Junqiang, XIA Jihong, HAN Yuling, et al. Design and application of river health diagnosis system [J]. Journal of Hohai University :Natural Sciences, 2009, 37(6):640-644. (in Chinese))

[5] 耿雷华,刘恒,钟华平,等.健康河流的评价指标和评价标准[J].水利学报,2006,37(3):253-258. (GENG Leihua, LIU Heng, ZHONG Huaping, et al. Indicators and criteria for evaluation of healthy rivers [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37 (3): 253-258. (in Chinese))

[6] 蔡守华,胡欣.河流健康的概念及指标体系和评价方法[J].水利水电科技进步,2008,28(1):23-27. (CAI Shouhua, HU Xin. Concept of river health and index system for its evaluation [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2008, 28(1):23-27. (in Chinese))

[7] ZHAO Yanwei, YANG Zhifeng. Integrative fuzzy hierarchical model for river health assessment: a case study of Yong River in Ningbo City, China [J]. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 2009, 14:1729-1736. (下转第 88 页)

- University of Abertay Dundee,1994.
- [22] DESUTTER R. Erosion and transport of cohesive sediment mixtures in unsteady flow [D]. Gent: University of Gent, 2000.
- [23] RUSHFORTH P. The erosion and transport of sewer sediment mixtures [D]. Dundee: University of Abertay Dundee,2001.
- [24] MOHAMMADI M. The initiation of sediment motion in fixed bed channels [J]. Iranian Journal of Science & Technology,2005,29(3):365-372.
- [25] TAIT S J,CHEBBO G,SKIPWORTH P J,et al. Modeling in-sewer deposit erosion to predict sewerflow quality[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2003, 129 (4): 316-324.
- [26] PERRUSQUIA G, NALLURI C. Modelling of bed-load transport in pipe channels [C]//Proc Int Conf on the Transport and Sedimentation of Solid Particles. Prague: [s. n.],1995.
- [27] ARTHUR S,ASHLEY R M. Near bed solids transport rate prediction in a combined sewer network [J]. Wat Sci Tech,1997,36(8/9):129-134.
- [28] VERBANCK M A. Computing near-bed solids transport in sewer sand similar sediment-carrying open channel flows [J]. Urban Water,2000,2(4):277-284.
- [29] ARTHUR S,ASHLEY R M. Near bed solids transport and first foul flush in combined sewers [C]//Proceedings of Second International Conference of the Sewer as a Physical, Chemical and Biological Reactor. Aalborg, Denmark:[s. n.],1997.
- [30] VOLLERTSEN J, HVITVED J T. A erobic microbial transformations of resuspended sediments in combined sewers;a conceptual model [J]. Wat Sci Tech, 1998, 37 (1):69-76.
- [31] ASHLEY R M,HVITVED J T,VOLLERTSEN J,et al. In-sewer processes and potential impacts [C]//Proc CIWEM Conference on Latest Developments in CSOs. London:[s. n.],2001.
- (收稿日期:2012-07-27 编辑:骆超)
-
- (上接第 67 页)
- [8] LIU Changming, LIU Xiaoyan. Healthy river and its indication, criteria and standards [J]. Journal of Geographical Sciences,2009,19:3-11.
- [9] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用 [M]. 北京:国防工业出版社,1998.
- [10] 胡成,苏丹. 综合水质标识指数法在浑河水质评价中的应用[J]. 生态环境学报,2011,20(1):186-192. (HU Cheng, SU Dan. Application of comprehensive water quality identification index in water quality assessment of Hun River [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2011,20(1):186-192. (in Chinese))
- [11] 陈洋波,陈俊合,李长兴,等. 基于 DPSIR 模型的深圳市水资源承载能力评价指标体系 [J]. 水利学报,2004(7):98-103. (CHEN Yangbo, CHEN Junhe, LI Changxing, et al. Indicators for water resources carrying capacity assessment based on driving forces-pressure-state-impact-response model [J]. Journal of Hydraulic Engineering,2004(7):98-103. (in Chinese))
- [12] 张继权,伊坤朋,TANI H,等. 基于 DPSIR 的吉林省白山市生态安全评价[J]. 应用生态学报,2011,22(1):189-195. (ZHANG Jiquan, YI Kumpeng, TANI H, et al. Ecological security assessment of Baishan City in Jilin Province based on DPSIR [J]. Chinese Journal of Applied Ecology,2011,22(1):189-195. (in Chinese))
- [13] 朱党生,张建永,廖文根,等. 水工程规划设计关键生态指标体系 [J]. 水科学进展,2010,21(4):560-566. (ZHU Dangsheng, ZHANG Jianyong, LIAO Wengen, et al. A key ecological indicator system for water project planning and design [J]. Advances in Water Science, 2010,21(4):560-566. (in Chinese))
- [14] 刘英英,石培基,刘玲,等. 基于 DPSIR 陇南市土地利用规划环境影响评价 [J]. 土壤通报,2010,42(4):795-800. (LIU Yingying, SHI Peiji, LIU Ling, et al. Based in DPSIR environmental impact assessment in land use planning of Longnan City [J]. Chinese Journal of Soil Science,2010,42(4):795-800. (in Chinese))
- [15] 陈守煜. 工程可变模糊集理论与模型:模糊水文水资源学数学基础 [J]. 大连理工大学学报,2005,45(2):308-312. (CHEN Shouyu. Theory and model of engineering variable fuzzy set :mathematical basis for fuzzy hydrology and water resources [J]. Journal of Dalian University of Technology,2005,45(2):308-312. (in Chinese))
- [16] 李文君,邱林,陈晓楠,等. 基于集对分析与可变模糊集的河流生态健康评价模型 [J]. 水利学报,2011,42(7):775-782. (LI Wenjun, QIU Lin, CHEN Xiaonan, et al. Assessment model for river ecology health based on set pair analysis and variable fuzzy set [J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2011, 42 (7): 775-782. (in Chinese))
- [17] 胡晓雪,杨晓华,酆建强,等. 河流健康系统评价的集对分析模型 [J]. 系统工程理论与实践,2008(5):164-170. (HU Xiaoxue, YANG Xiaohua, LI Jianqiang, et al. Set pair analysis model for river health system assessment [J]. Systems Engineering Theory & Practice,2008(5):164-170. (in Chinese))
- [18] 申艳萍. 城市河流生态系统健康评价实例研究 [J]. 气象与环境科学,2008,31(2):13-16. (SHEN Yanping. Case study on assessment of urban river ecosystem health [J]. Meteorological and Environmental Sciences,2008,31(2):13-16. (in Chinese))
- (收稿日期:2012-07-02 编辑:骆超)