

DOI: 10.3969/j.issn.1004-6933.2012.06.007

基于层次分析-模糊综合评价模型的 东辽河流域水环境承载力评价

程兵芬^{1,2}, 罗先香¹, 王刚²

(1. 中国海洋大学环境科学与工程学院, 山东 青岛 266100; 2. 中国水利水电科学研究院水资源研究所, 北京 100038)

摘要: 采用以层次分析-模糊综合评价模型, 对东辽河流域的水环境承载力进行评价。结果表明: 东辽河流域水环境承载力整体处于“一般”水平, 水资源现状、生态环境、社会经济状况对其的影响贡献程度分别为 0.6337、0.1919、0.1744, 其中年均供水量、水资源开发利用率和水质污染指数对东辽河水环境承载力的影响最大, 其影响贡献程度分别为 0.3354、0.1699、0.1045。

关键词: 水环境承载力; 层次分析-模糊综合评价模型; 评价; 东辽河流域

中图分类号: TV213.4 文献标志码: A 文章编号: 1004-6933(2012)06-0033-04

Assessment of water environmental carrying capacity in Dongliao River Basin based on analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation model

CHENG Bing-fen^{1,2}, LUO Xian-xiang¹, WANG Gang²

(1. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266100, China;

2. Department of Water Resources, China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China)

Abstract: The water environmental carrying capacity of the Dongliao River Basin was assessed based on the analytic hierarchy process and fuzzy comprehensive evaluation model. The results show that the water environmental carrying capacity of the basin was at the middle level; the contribution rates of the status of water resources, the ecological environment, and the socioeconomic state to the water environmental carrying capacity of the basin were 0.6337, 0.1919, and 0.1744, respectively; and the annual average output of the water supply, the utilization rate of water resources, and water pollution indices were the critical factors influencing the water environmental carrying capacity of the Dongliao River Basin, and their contribution rates were 0.3354, 0.1699, and 0.1045, respectively.

Key words: water environmental carrying capacity; analytic hierarchy process (AHP)-fuzzy comprehensive evaluation model; assessment; Dongliao River Basin

人多水少、水资源分布不均、水资源与生产力分布不匹配是我国的基本国情和基本水情, 长期以来形成的水资源过度开发、粗放利用、污染严重、生态恶化的状况未有根本改变, 水资源问题仍然是制约可持续发展的主要瓶颈^[1]。水环境承载力 WECC (water environment carrying capacity) 是人们在社

会可持续发展与水环境相互关系有了较深刻认识的基础上被提出来的^[2], 指某一地区、某一时期、某个状态下的水环境条件对该地区的经济活动和生活需求的支持能力^[3], 它的大小是决定社会经济可持续发展及其规模的一个重要因素。目前对水环境承载力的研究主要集中在国内, 国外的专门研究还比较

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体基金(51027066)

作者简介: 程兵芬(1988—), 女, 硕士研究生, 研究方向为水资源与水环境综合调控。E-mail: bingfengtaigu@126.com

少,尚未形成统一的概念和完善的理论体系,研究方法多样化,但缺乏对水环境承载力动态性的兼顾,需进一步完善^[2,4]。东辽河是吉林省主要河流之一,流域内资源型缺水 and 水质型缺水共存,水资源供需矛盾比较突出。国民经济用水对河道生态用水的过度挤占、严重超采地下水等不合理的开发利用活动造成河流干涸、断流以及生态环境的不断恶化,对流域的可持续发展构成了严重威胁^[5],因此,评价该流域的水环境承载能力对区域水资源的持续利用与实现社会、经济、环境等的协调发展具有重要的现实意义^[6]。笔者采用层次分析-模糊综合评价模型对吉林省区域内东辽河段的水环境承载力进行评价,为东辽河流域的治理及可持续发展提供理论支撑。

1 研究区概况

东辽河流域位于吉林省的西南部,流域面积为1450 km²,地跨辽源市、东辽县、梨树县、双辽市后进入辽宁省境内,在富德店与西辽河汇合,是辽河流域的三级流域。依据地形特点,自东向西将东辽河分为山地、丘陵和平原。东辽河流域处于半湿润中温带大陆性季风气候,四季分明,多年平均气温3.8℃,多年平均降雨量470~700 mm,主要集中在6—8月,降雨量约占年降水量50%以上。东辽河流域是吉林省重要的商品粮基地,现有耕地面积43.48万hm²,其中水田5.70万hm²,旱田37.78万hm²(含水浇地3.28万hm²),年均供水量中,农业供水量占85.7%。二龙山水库为保证四平市居民生活用水和工业生产用水,不得不减少农业供水规模,已先后停止向3个万亩以上灌区供水,水资源开发量也已超过水资源可利用量的58.3%^[5],水资源供需矛盾严重制约着流域社会经济的可持续发展^[5,7]。

2 水环境承载力评价模型

水环境承载力评价的影响因子多、复杂且难以量化,涉及范围广,是一种典型的多指标决策、评价问题。模糊综合评价是一种常用的定性分析与定量分析综合集成的方法,客观、准确的确定各指标的权重是其研究的难点之一^[8-9]。层次分析法(AHP)是20世纪70年代中期由美国学者 Saaty 等^[10]创立的一种能用来处理复杂的社会、政治、经济、科学技术等决策问题的新方法,也是一种定量与定性相结合的评价方法,在判断目标结构复杂且缺乏必要数据的情况下,能把其他方法难以量化的评价因素通过两两比较加以量化,把复杂的评价因素构建为层次结构,有效确定多因素指标的相对重要程度,计算权值,确定关键影响因素,比较适合复杂的模糊综合评价系统。

层次分析-模糊综合评价模型是指用层次分析方法确定各个评价指标的权重,然后通过模糊综合评价的方法来评价水环境承载力。具体步骤为:①构建评价指标体系;②运用9级标度准则(表1)比较各个因子的相对重要性构建判断矩阵,计算各因子相对于上层因子的权重并进行一致性检验,若不符合一致性检验就对矩阵进行调整,直到满意为止^[8];③逐层推算出各个指标因子对于总目标层的权重向量W;④构建评价集合U及评价等级集合V^[9];⑤确定从U到V的模糊关系矩阵R^[9];⑥运算得到子目标的综合评价矩阵B=WR,将B归一化后与评价向量V相乘,得到水环境承载力的综合评价指数。

表1 判断矩阵标度准则

标度	含义
1	表示两个因素相比,具有同样重要性
3	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素稍微重要
5	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素明显重要
7	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素强烈重要
9	表示两个因素相比,一个因素比另一个因素极端重要
2,4,6,8	上述两相邻判断的中值
倒数	因素 <i>i</i> 与 <i>j</i> 比较得判断 C_{ij} ,则因素 <i>j</i> 与因素 <i>i</i> 比较得判断 $C_{ji}=1/C_{ij}$

3 模型应用

3.1 东辽河流域水环境承载力指标体系

平衡社会环境和水环境承载力之间的相互关系是当今社会经济发展的需要,而指标体系的建立可以量化承载主客体之间相互关系的大小^[11],因此指标的选取需反映出水环境的自然属性以及人类活动的影响,即水环境的功能。近年来,随着社会经济的发展,人类对水资源的需求及影响增加,东辽河流域的水量大减少,加之干旱的影响以及生态环境的恶化,使得东辽河流域水资源的供需矛盾日渐突出。根据指标层筛选的完整性、简明性、层次性、可比性和动态性^[12-16]原则确定指标层,建立评价东辽河流域水环境承载力的指标体系(图1)。

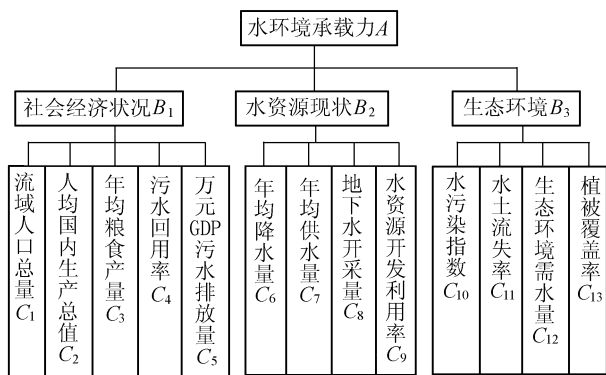


图1 水环境承载力评价指标体系

3.2 单一准则下各指标的权重确定

3.2.1 A-B_i层指标权重计算

根据上述方法,对应准则A、B层得判断矩阵如表2所示。

表2 A-B_i的判断矩阵

评价指标	B ₁	B ₂	B ₃
B ₁	1	1/4	2
B ₂	4	1	3
B ₃	1/2	1/3	1

根据表2计算出判断矩阵的最大特征值 $\lambda_{\max} = 3.0092$,特征向量 $W = (W_1, W_2, W_3)^T = (0.1744, 0.6337, 0.1919)^T$,其一致性指标 $C_I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = 0.0046$,平均随机一致性指标 $R_I = 0.58$,一致性比例 $C_R = C_I / R_I = 0.0079 < 0.1$ 。因此,判断矩阵具有满意的一致性,符合要求。

3.2.2 B-C层、C层单排序及一致性检验

采用同样的方法,可得到C层对B层的相对权重,并进行一致性检验(表3),最后得出各指标的权值。

表3 各要素层对于相应各评价层的特征向量及一致性检验

矩阵	特征向量	λ_{\max}	C_I	R_I	C_R
B ₁ -C _i	(0.0920, 0.0691, 0.4538, 0.1574, 0.2277)	5.1685	0.0421	1.12	0.0376
B ₂ -C _i	(0.0684, 0.5292, 0.1342, 0.2681)	4.1807	0.0602	0.90	0.0669
B ₃ -C _i	(0.5488, 0.1930, 0.0764, 0.1818)	4.0756	0.0252	0.90	0.0280

3.2.3 层次总排序结果

各评价指标的权重及排序见表4。

表4 各评价指标的权重及排序

评价指标	B ₁	B ₂	B ₃	各指标权重	排序
C ₁	0.0920			0.0160	11
C ₂	0.0691			0.0120	13
C ₃	0.4538			0.0791	5
C ₄	0.1574			0.0275	10
C ₅	0.2277			0.0397	7
C ₆		0.0684		0.0433	6
C ₇		0.5292		0.3354	1
C ₈		0.1342		0.0850	4
C ₉		0.2681		0.1699	2
C ₁₀			0.5448	0.1045	3
C ₁₁			0.1930	0.0370	8
C ₁₂			0.0764	0.0147	12
C ₁₃			0.1818	0.0349	9

3.3 模糊综合评价

水环境承载力评价等级分为“差、较差、一般、较好、好”5个级别,对应的评价范围分别为0~0.2、0.2~0.3、0.3~0.7、0.7~0.8、0.8~1.0。U为水环境承载力的因素集合,即 $U = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5,$

$C_6, C_7, C_8, C_9, C_{10}, C_{11}, C_{12}, C_{13}\}$,依据当前东辽河流域吉林省内的现状,及东辽河水环境承载力评价等级 $V = \{0.1, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9\}$,得U到V模糊判断矩阵

$$R = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.0 & 0.2 & 0.2 & 0.6 \\ 0.0 & 0.1 & 0.2 & 0.3 & 0.5 \\ 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.2 & 0.2 \\ 0.2 & 0.4 & 0.3 & 0.1 & 0.0 \\ 0.2 & 0.5 & 0.2 & 0.1 & 0.0 \\ 0.1 & 0.1 & 0.4 & 0.3 & 0.1 \\ 0.3 & 0.5 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \\ 0.1 & 0.3 & 0.5 & 0.1 & 0.0 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.0 \\ 0.5 & 0.3 & 0.2 & 0.0 & 0.0 \\ 0.2 & 0.3 & 0.4 & 0.1 & 0.0 \\ 0.1 & 0.1 & 0.5 & 0.2 & 0.1 \\ 0.3 & 0.4 & 0.2 & 0.1 & 0.0 \end{bmatrix}$$

模糊综合评判的数学模型为 $B = WR = (0.2574, 0.3633, 0.2643, 0.0778, 0.0372)$,对B进行归一化处理得 $B' = (0.2574, 0.3633, 0.2643, 0.0778, 0.0372)$,将B'与模糊评判向量V相乘得出综合评价结果即 $G = B'V^T = 0.3407$,根据模糊评价等级,得东辽河的水环境承载力为“一般”。

4 结语

通过层析分析-模糊综合评价模型对东辽河流域的水环境承载力进行了评价,得综合指数为0.3407,承载力为“一般”,且接近较差的评价等级。由表4可见,年均供水量(0.3354)、水资源开发利用率(0.1699)和水污染指数(0.1045)对东辽河水环境承载力的影响较大。近年来,随着社会经济的发展,人们对水资源的需求不断增加,加之气候变化的影响,使得水量已经大幅度减少的东辽河流域供需矛盾越发突出。为了保证流域社会经济的健康、快速发展,必须提出可持续发展的治理方案,结合本文的研究结果,对东辽河流域的治理提出几点建议。

a. 水资源的优化配置。东辽河流域是吉林省重要的商品粮基地,随着城市化的进程,农业用水与城市用水、生活用水的矛盾已日益突出。应采取以下措施:①推广先进的灌水技术,提高灌溉效率,减少农业用水;②推行节水、生态、高效和绿色的农业发展道路;③发挥水价在水资源配置中的作用,提高人们的节水意识,支持东辽河流域水资源的合理开发和高效利用;④优化工农等各个行业的用水结构。

b. 加强水污染的监测和治理。东辽河水质污染情势严峻,对供水安全已经产生很大的威胁,必须

进一步加强对东辽河的监控和治理:①发展绿色农业,控制化肥和农药进入流域的量;②推动污水资源化,降低污染大户污水排放量,加大城市工业生产污水和居民生活废水的处理力度,力争实现达标排放。

c. 增加外调水源。本着开源节流的原则,在节水的基础上,也要增加开源的渠道。东辽河流域是水资源缺乏的河流,节水和污水回用的能力有限,为满足社会经济发展和人民生活的需要,可以进行区域和水域间的水量调配,促进流域的可持续发展。

参考文献:

[1] 陈雷. 落强责任 强化措施 强力做好水库安全度汛工作:在全国水库安全度汛视频会议上的讲话[J]. 中国防汛抗旱, 2010(3): 5-7.

[2] 李川. 水环境承载力量化方法的研究进展[J]. 环境科学与管理, 2008, 33(8): 66-69.

[3] 张文国, 杨志峰. 基于指标体系的地下水环境承载力评价[J]. 环境科学学报, 2002, 22(4): 541-544.

[4] 赵卫, 刘景双, 孔凡娥. 水环境承载力研究评述[J]. 水土保持研究, 2007, 14(1): 47-50.

[5] 尹华, 董晨阳, 刘适博, 等. 东辽河流域吉林省境内水环境污染现状及防治措施研究[J]. 长春理工大学学报:自然科学版, 2010, 33(3): 111-114.

[6] 何俊仕, 刘洋, 韩宇舟, 等. 辽河流域水资源承载能力评价研究[J]. 中国环境科学, 2008, 28(4): 24-27.

[7] 夏本臣, 刘艳, 孙爽, 等. 东辽河流域农业产业结构优化

及对策[J]. 东北水利水电, 2009, 27(11): 3-5.

[8] 李靖, 周孝德, 吴文娟. 层次分析法在水环境承载力评价中的应用[J]. 水利科技与经济, 2008, 14(11): 866-869.

[9] 金菊良, 魏鸣, 丁晶. 基于改进层次分析法的模糊综合评价模型[J]. 水利学报, 2004(3): 65-70.

[10] SAATY T L, BENNETT J P. A theory of analytical hierarchies applied to political candidacy [J]. Behavioral Science, 1977(22): 237-245.

[11] 彭静, 李翀, 廖文根, 等. 水环境可持续承载评价方法及实证研究[J]. 中国人口资源与环境, 2006, 16(4): 55-59.

[12] 李如忠. 基于指标体系的区域水环境动态承载力评价研究[J]. 中国农村水利水电, 2006(9): 42-46.

[13] 蒋晓辉, 黄强, 惠洪河, 等. 陕西关中地区水环境承载力研究[J]. 环境科学学报, 2001, 21(3): 312-317.

[14] 刘启民, 张晨岚, 林锦美, 等. 厦门城市水环境承载力综合指标体系评价[J]. 华侨大学学报:自然科学版, 2008, 29(1): 94-96.

[15] 赵卫, 刘景双, 苏伟, 等. 辽宁省辽河流域水环境承载力的多目标规划研究[J]. 中国环境科学, 2008, 28(1): 73-77.

[16] 房睿, 谢海燕, 王纯利. 玛纳斯河流域水环境承载力评价指标体系研究[J]. 水利科技与经济, 2010, 16(8): 841-844.

(收稿日期:2012-03-19 编辑:徐娟)

(上接第32页)

东太平洋出现拉尼娜现象时,太湖地区易发生较大旱情。

c. 笔者提出的太湖地区暖冬影响下干旱—湿润周期和78 a(34 a+44 a)严重旱灾韵律周期,打破了降雨年际变化无规律可循的思维定式。虽然这些成果尚不能解释所有的干旱灾害难题,但是期望能对太湖地区干旱灾害成因与预测研究作出有益的贡献。

参考文献:

[1] 郑远长. 全球自然灾害概述[J]. 中国减灾, 2000, 10(1): 14-19.

[2] 曾小凡, 翟建青, 姜彤, 等. 长江流域年降雨量的空间特征和演变规律分析[J]. 河海大学学报:自然科学版, 2008, 36(6): 727-732.

[3] 杜富慧, 郝振纯, 陈新美, 等. 邯郸地区年降雨量统计特性[J]. 水资源保护, 2009, 25(6): 16-20.

[4] 吴文富, 陆安娜, 费清培. 太湖地区气候资源研究[M]. 北京:气象出版社, 1992.

[5] 秦建国, 朱玲, 任小龙, 等. 无锡地区太湖春汛成因分析[J]. 江苏水利, 2010, 155(7): 19-21.

[6] 秦建国. 对无锡地区湿润年景周期性变化的思考[J]. 人民长江, 2010, 41(增刊): 50-55.

[7] 张俊, 陈桂亚, 杨文发. 国内外干旱研究进展综述[J]. 人民长江, 2011, 42(10): 65-69.

[8] 杨志勇, 刘琳, 曹永强, 等. 农业干旱灾害风险评价及预测预警研究进展[J]. 水利经济, 2011, 29(2): 12-17.

[9] 顾颖, 张世法, 林锦, 等. 我国连续干旱特征、变化趋势及对策[J]. 水利水电科技进展, 2010, 30(1): 76-79.

[10] 沈浒英, 陈瑜彬. 2009-2010年长江上游地区旱情成因分析[J]. 人民长江, 2011, 42(9): 12-14.

[11] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场[M]. 北京:气象出版社, 1999.

[12] 张雪刚, 毛媛媛. 厄尔尼诺现象对我国夏季降水的影响[J]. 水资源保护, 2004(1): 28-30.

[13] 张世法, 苏逸深, 宋德敦, 等. 中国历史干旱[M]. 南京:河海大学出版社, 2008.

(收稿日期:2011-12-05 编辑:高渭文)