

# 基于五元联系数的湿地广义水资源承载力分析<sup>\*</sup>

阚宝珠,付强,宋族鑫

(东北农业大学 水利与建筑学院,哈尔滨 150030)

**摘 要:**水资源承载力研究是保护湿地工作的基础,可为合理地保护和利用湿地资源,实现湿地的可持续发展提供有益参考。集对分析是一种新的处理模糊和不确定问题的系统理论方法,五元联系数  $\mu = a + bi + cj + dk + el$  是集对分析理论的拓展。运用此模型对洪河湿地水资源承载力进行了评价与分析,评价结果与熵权系数法的评价结果相一致,证明所建立的模型是科学合理的,且集对分析五元联系数方法简便、实用。鉴于洪河湿地的实际情况,提出了相应的措施来提高湿地的水资源承载力。

**关键词:**洪河湿地;水资源承载力;五元联系数

中图分类号:P331

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)01-0230-04

## Evaluation on Wetland Water Resources Carrying Capacity Based on Five-Element Connection Number

KAN Bao-zhu, FU Qiang, SONG Zu-xin

(College of Water Conservancy and Building Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

**Abstract:** The research of carrying capacity of water resources is the basic work to protect the wetland. The useful reference which can protect and rationally use of wetland resources achieves the sustainable development. Set Pair Analysis (SPA) is emerging as a new system theory method for dealing with vagueness and uncertainty of facts. Five element connection number is an extension of SPA. The model has been used to evaluate the carrying capacity of water resources in Honghe wetland. The calculation result of Honghe wetland is in accordance with entropy weight coefficient method. It is showed that the method is scientific and rational. In view of the actual situation of Honghe wetland, the corresponding measures has been put forward to improve the carrying capacity of water resources.

**Key words:** Honghe wetland; carrying capacity of water resources; five-element connection number

水资源短缺和水环境恶化已经成为当前我国经济社会可持续发展的主要制约因素。作为可持续发展研究和水资源安全战略研究中的一个基础课题,水资源承载力研究已引起学术界高度关注并成为当前水资源科学中的一个重点和热点问题<sup>[1]</sup>。水资源是一个广义的概念,是直接或者间接影响水体正常功能的各种自然要素和社会要素的总和。相应的,广义水资源承载能力就是从水资源系统-生态环境系统-社会经济系统耦合机理上综合考虑水资源对地区人口、资源、环境和经济协调发展的支撑能力。

### 1 评价指标体系

广义水资源承载力评价指标体系的建立是水资源承载力研究中的一个关键问题。核心是用什么指标体系反映“水资源系统-生态环境系统-社会经济系统”的发展规模与质量。社会经济系统的发展动力来源于水资源和生态环境系统,它一方面通过向水资源及生态环境系统获取资源和能量,满足人类社会生活的需要,另一方面又将生产和生活的污染物和废弃物排放到水资源和生态环境子系统,对

<sup>\*</sup> 收稿日期:2008-06-23

基金项目:国家自然科学基金(30400275)

作者简介:阚宝珠(1983-),女,黑龙江哈尔滨人,硕士,主要从事水资源承载力分析、评价及数学建模研究工作。E-mail:kanbaozhu@163.com

通信作者:付强(1973-),男,辽宁锦州人,教授,博士生导师,主要从事农业水土资源系统分析、节水灌溉及农业系统工程建模与优化技术研究。E-mail:fuyang100@371.net

承载的子系统造成“资源消耗”和“接纳污染”的双重压力;反过来,社会经济子系统通过先进的科学技术和大量的资金支持又能增强水资源和生态环境子系统的支撑能力。各子系统间相互促进、相互制约,水资源子系统和生态环境子系统是承载的媒体,社会经济子系统是被承载的对象,三者之间的承载关系见图 1。

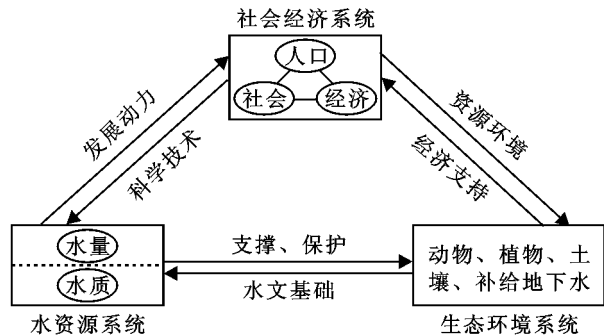


图 1 水资源子系统、生态环境子系统、社会经济子系统三者之间的关系

2 五元联系数综合评价模型

近几年来,国内外许多学者对水资源承载力综合评价的研究取得了一定进展<sup>[2-6]</sup>。目前,主要的评价方法有:常规趋势方法、模糊综合评价法、主成分分析法、系统动力学方法、投影寻踪法以及其他方法。针对不同的研究区域及特定的目标要求,各评价方法都有其实用性,限于对水资源承载能力理解的不同,不同评价方法也存在相应的局限性。水资源承载力综合评价过程,实际上对具有确定性的评价标准与评价指标和评价因子权重的不确定性相结合的决策过程。集对分析正是对客观存在的种种确定性、不确定性予以承认,并把确定、不确定的“同异反”系统进行辩证分析和数学处理的方法<sup>[7]</sup>。本文采用基于超标倍数赋权法的五元联系数分析方法对洪河湿地的水资源承载力进行综合评价。评价方法简述如下:

2.1 五元联系数法

集对分析(Set Pair Analysis,简称 SPA)是由我国学者赵克勤于 1989 年提出的一种处理确定不确定性问题的系统分析方法<sup>[8]</sup>。随着人们对集对分析理论中联系数认识的深化,对同异反联系数  $\mu = a + bi + cj$  中的差异度  $bi$  项引申可得到具有层次结构的函数。当  $n = 2$  时的联系数为多元联系数。四元联系数已在医学、农业、教育、环境等学科领域得到初步应用,但五元联系数研究应用报道尚属罕见<sup>[9]</sup>。本文将水资源承载力评价分为 5 级,分别用、 、 、 、 类来表示水资源承载力的状况。因

此,根据待评等级及评价指标确定采用五元联系数进行评价。对于五元联系数,其一般形式为

$$\mu = a + bi + cj + dk + el \tag{1}$$

式中的同一度  $a$  和对立度  $e$  是相对确定的,而差异度  $b, c, d, e$  则相对不确定。 $a, b, c, d, e$  以及  $i, j, k, l$  等诸多参数互相联系,互相影响,互相制约。内部存在有机联系,是从不同角度对水资源承载力评价问题的全面描述。

水资源承载力评价的指标中主要包括效益型指标和成本型指标。

对于效益型指标,其评估矩阵中系数的计算公式为:

$$\mu = \begin{matrix} 1+0i+0j+0k+0l & x[s, +] \\ \frac{x-s}{s-s} + \frac{s-x}{s-s} i+0j+0k+0l & x[s, s] \\ \frac{x-s}{s-s} + \frac{s-x}{s-s} i+0j+0k+0l & x[s, s] \\ 0+0i+\frac{x-s}{s-s} j+\frac{s-x}{s-s} k+0l & x[s, s] \\ 0+0i+0j+\frac{x-s}{s-s} k+\frac{s-x}{s-s} l & x[s, s] \\ 0+0i+0j+0k+1l & x[0, s] \end{matrix} \tag{2}$$

对于成本型指标,其评估矩阵中系数的计算公式为:

$$\mu = \begin{matrix} 1+0i+0j+0k+0l & x[0, s] \\ \frac{s-x}{s-s} + \frac{x-s}{s-s} i+0j+0k+0l & x[s, s] \\ \frac{s-x}{s-s} + \frac{x-s}{s-s} i+0j+0k+0l & x[s, s] \\ 0+0i+\frac{s-x}{s-s} j+\frac{x-s}{s-s} k+0l & x[s, s] \\ 0+0i+0j+\frac{s-x}{s-s} k+\frac{x-s}{s-s} l & x[s, s] \\ 0+0i+0j+0k+1l & x[s, +] \end{matrix} \tag{3}$$

上两式中: $s, s, s, s, s$ ——评价指标, , 级的门限值; $x$ ——待评地区的水资源状况的指标值。

2.2 超标倍数赋权法确定权重系数

在综合评价中,赋权方法很多,可以分为标准赋权法和主因素突出赋权法两大类。标准赋权法,因为仅仅考虑评价标准间的差异常会产生荒谬的结论;超标倍数法是一种主因素突出型的赋权方法,但不同的权重定义使评价结果也相差很大<sup>[10]</sup>。采用

超标倍数赋权法,并将权值归一化,这样既可突出水资源承载力评价中主要因素指标的作用,又考虑了不同标准值的差异,计算较简便,其计算公式为

$$w_i = \frac{x_i / S_i}{\sum_{i=1}^n x_i / S_i} \tag{4}$$

式中: $w_i$ ——参数(因素) $i$ 的权重值; $S_i$ ——第 $i$ 种参数 $n$ 个类别标准的平均值; $x_i$ ——参数 $i$ 的实际浓度值。对 $w_i$ 进行归一化后可得到一个 $1 \times n$ 的权重值矩阵 $W$ 。

2.3 建立基于超标倍数赋权法的五元联系数评价模型

$$\mu = W_n R_n E = (w_1, w_2, \dots, w_n)$$
  
$$\begin{matrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{15} & 1 \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{25} & i \\ r_{31} & r_{32} & \dots & r_{35} & j \\ \dots & \dots & \dots & \dots & k \\ r_{n1} & r_{n2} & \dots & r_{n5} & l \end{matrix} \tag{5}$$

式中: $W_n$ ——权系数向量; $R_n$ ——评价矩阵; $E$ ——五元联系数分量矩阵。

3 应用实例

3.1 指标体系

洪河湿地是中国东北部一块类型齐全、生态系统自然完善、全面反映三江平原原始沼泽湿地全貌的自然保护区,在三江平原及全球同一生物气候带、生物地理界中具有高度的代表性和典型性。保护区建立于 1984 年,1996 年经国务院批准成立国家级自然保护区,保护区保护对象是区内水生、湿生和陆栖生物及其生境共同组成的沼泽湿地生态系统,在 2002 年 1 月被列入《国际重要湿地名录》<sup>[11]</sup>。考虑到洪河湿地日益突出的经济发展和生态环境之间的矛盾,水资源系统是生态经济系统可持续发展的主要限制因子和联系生态系统和经济系统的主要纽带,因此,洪河湿地广义水资源承载力评价指标体系应体现可持续发展的思想,遵循代表性好、表征性强、易于量化、资料完整可靠等原则,从水资源、社会经济、生态环境等方面选取指标,见表 1。

指标体系中目标层(水资源承载力)划分为五级:级为较好,表示本地区水资源仍有较大的承载力,其供给情况较为乐观;级情况表明本地区水资源开发利用已有相当的规模,但仍有一定的开发利用潜力,水资源的供给需求在一定程度上能满足该流域内社会经济发展;级状况较差,表示水资源承

载能力已接近饱和值,进一步开发利用的潜力较小,长期下去将发生水资源短缺,应及时采取相应对策,否则将制约社会经济的发展。在 3 级之间的、级属于过渡级水资源承载力,不同的管理以及开发方式,会使两种类型的水资源承载力向两极发展,这种发展对湿地的生存影响需要引起足够的重视。指标层的各指标的评分分级标准的设定,考虑到水资源承载力的时空特性,参考了全国水资源评价标准和已有的水资源承载力研究成果以及研究区域的实际情况综合确定,见表 2。

3.2 评价结果

采用基于超标倍数赋权法的集对分析模型对洪河湿地的水资源承载能力进行评价。评价首先利用超标倍数赋权法求出各指标权重,然后利用集对分析模型计算联系数,最后根据联系数判断所属等级,见表 3。通过表 3 可知,采用五元联系数评价模型得到的结论与熵权系数法的结论相一致。

表 1 洪河湿地水资源承载力评价实测指标矩阵

目标层	准则层	指标层	2002 年	2007 年
湿地水资源承载力	水资源系统	多年平均降雨量/mm	585	585
		多年平均径流量/( $10^5 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^2$ )	0.8	0.8
		水资源总量/亿 $\text{m}^3$	1.08	0.93
		化学需氧量/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	63.08	54.6
	社会经济系统	总氮/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0.762	0.748
		总磷/( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ )	0.82	0.03
		人均用水量/万 $\text{m}^3$	575	680
		万元 GDP 用水量/( $\text{m}^3/\text{万元}$ )	425	493
	生态环境系统	农民人均纯收入/万元	0.5	0.96
		植被需水量/亿 $\text{m}^3$	1.43	1.39
		土壤需水量/亿 $\text{m}^3$	0.25	0.29
		生物栖息地需水量/亿 $\text{m}^3$	0.83	0.64
		补给地下水需水量/亿 $\text{m}^3$	0.23	0.21

4 结论与建议

(1)水资源承载力评价需要统筹考虑多指标的属性,针对其因素的不确定性 & 信息的有限性,在评价方法的研究上应注重实效性和理论性。将集对理论应用于水资源承载力的综合评价中,建立了基于超标倍数赋权的五元联系数水资源承载力评价模型,该模型计算简单、方便、结果综合客观。

表 2 水资源承载力评价标准					
评价指标	级	级	级	级	级
多年平均降雨量/mm	800	600~800	400~600	200~400	200~100
多年平均径流量/(10 <sup>3</sup> m <sup>3</sup> ·km <sup>-2</sup> )	4	4~2	2~1	1~0.5	0.5~0.2
水资源总量/亿 m <sup>3</sup>	2.18	2.18~1.32	1.32~0.99	0.99~0.82	0.82~0.57
化学需氧量/(mg·L <sup>-1</sup> )	15	15	15~20	20~30	30~40
总氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.2	0.2~0.5	0.5~1.0	1.0~1.5	1.5~2.0
总磷/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.02	0.02~0.1	0.1~0.2	0.2~0.3	0.3~0.4
人均用水量/万 m <sup>3</sup>	400	400~500	500~600	600~700	700~800
万元 GDP 用水量(m <sup>3</sup> /万元)	200	200~300	300~400	400~500	500~600
农民人均纯收入/万元	0.4	0.4~0.6	0.6~0.8	0.8~1.0	1.0~1.2
植物需水量/亿 m <sup>3</sup>	0.83	0.83~1.04	1.04~1.27	1.27~1.45	1.45~1.76
土壤需水量/亿 m <sup>3</sup>	0.23	0.23~0.30	0.30~0.38	0.38~0.45	0.45~0.60
生物栖息地需水量/亿 m <sup>3</sup>	0.12	0.12~0.24	0.24~0.41	0.41~0.62	0.62~0.86
补给地下水需水量/亿 m <sup>3</sup>	0.18	0.18~0.27	0.27~0.56	0.56~0.72	0.72~0.93

表 3 联系数及评价结果比较							
联系度	a	b	c	d	e	所属等级	熵权系数法评价等级
μ <sub>2002</sub>	0.182	0.155	0.073	0.102	0.491		
μ <sub>2007</sub>	0.166	0.094	0.126	0.423	0.184		

(2)从评价结果可以看出,洪河湿地水资源承载力低下,已经接近饱和值,进一步开发利用的潜力较小,长期下去将阻碍社会经济的发展。在湿地周围有洪河、前锋以及鸭绿河 3 大国营农场,为了开垦洪河保护区周围的湿地,四周的农场在保护区周围修建了大型排水工程,上游水源被切断,下游水被排走,湿地中的水也通过排水渠源源不断地排出。水量的减少,加之三江平原地区蒸发大于降水,导致湿地水资源承载力低下。因此,为了保护湿地,必须恢复和改善该区地表水文状况。主要措施包括:第一将湿地周围界沟填平,保证地表水、地下水持续稳定地流向洪河湿地;第二废除保护区西北角浓江上的堵口坝,并在浓江-鸭绿河排水干渠上设计分水闸,将部分水源引入洪河湿地;第三在沃绿兰河桥处建立拦水闸门,拦蓄一定量的水;在洪河湿地东北与前锋交界处修建两级蓄水坝,拦蓄一定量的水资源,补充保护区。

同时,加大宣传和教育力度,提高人们对湿地生态环境功能的认识,加强与湿地周围居民的沟通和交流,共同制定合理的湿地保护措施,实现湿地的可持续利用。

参考文献:

[1] 龙腾锐,姜文超,何强. 水资源承载力内涵的新认识[J]. 水利学报, 2004(1):38-45.

[2] 施雅风,曲耀光. 乌鲁木齐河流域水资源承载力及其合理利用[M]. 北京:科学出版社,1992:132-176.

[3] 许有鹏. 干旱区水资源承载能力综合评价研究[J]. 自然资源学报,1993,8(3):229-237.

[4] 傅湘. 区域水资源承载力综合评价[J]. 长江流域资源与环境,1999,8(2):168-172.

[5] 惠泱河. 二元模式下水资源承载力系统动态仿真模型研究[J]. 地理研究. 2001,20(2):191-198.

[6] 王顺久,侯玉,张欣莉,等. 流域水资源承载能力的综合评价方法[J]. 水利学报. 2003(1):85-92.

[7] 赵克勤. 基于集对分析的对立分类、度量及应用[J]. 科学技术与辩证法,1994,11(2):26-30.

[8] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[J]. 大自然探索,1994,13(1)67-71.

[9] 王国平,杨洁,王洪光. 五元联系数在地表水环境质量评价中的应用[J]. 安全与环境学报,2006,6(6):21-24.

[10] 蒋滔,李多松,张凯. 徐州市云龙湖水质的模糊数学综合评价[J]. 环境研究与监测,2007,22(3):16-19.

[11] 栾兆擎,邓伟,白军红,等. 洪河国家级保护区湿地生境安全保护[J]. 水土保持研究,2003,10(3):154-157.