

基于熵权的建三江分局水资源承载力模糊物元评价模型

吕萍¹, 刘东^{1,2}, 赵菲菲¹

(1. 东北农业大学 水利与建筑学院, 哈尔滨 150030; 2. 东北农业大学 农林经济管理博士后科研流动站, 哈尔滨 150030)

摘 要:水资源承载力评价是区域水资源安全的一个基本度量。针对建三江分局水资源开发利用中存在的地下水位下降、“吊泵”等水安全问题,运用灰色关联分析构建水资源承载力评价指标体系,在传统的模糊物元模型的基础上,将熵值法引入评价指标权重计算中,构建了基于熵权的模糊物元综合评价模型,应用此模型对建三江分局下属 15 个农场 2008 年的水资源承载力进行了评价。结果表明:八五九、勤得利、前哨、前锋、洪河、鸭绿河、二道河、浓江 8 个农场的水资源承载力为Ⅰ级,仍有较大的承载力;胜利、大兴、青龙山、前进农场的水资源承载力为Ⅱ级,水资源开发利用仍有一定的潜力;七星、创业、红卫农场的水资源承载力为Ⅲ级,水资源承载力已接近饱和。研究结果为建三江分局水资源保护及可持续开发利用提供了科学依据。

关键词:建三江分局; 水资源承载力; 熵权; 模糊物元
中图分类号: S11⁺7; F323. 213 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2011)02-0246-05

Fuzzy Matter-Element Assessment Model for Water Resources Carrying Capacity in Jiansanjiang Branch Bureau Based on Entropy-Weight

LÜ Ping¹, LIU Dong^{1,2}, ZHAO Fei-fei¹

(1. School of Water Conservancy & Civil Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China; 2. Postdoctoral Scientific Research Mobile Station of Agriculture and Forestry Economic Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: Evaluation of water resources carrying capacity is a basic measure of regional water security. According to the water security issues existing in developing and utilizing water resources, such as the descending of groundwater level and ‘hanging pump’, the criteria system for water resources carrying capacity evaluation was established by grey correlation analysis. Entropy-based fuzzy matter-element assessment model was established based on the conventional fuzzy matter-element model, and introduced the entropy theory into the calculation of weight. This method was applied to evaluate the water resources carrying capacity of fifteen farms belonging to Jiansanjiang branch bureau in 2008. The results showed that the water resources carrying capacities of Farm 859, Qindeli, Qianshao, Qianfeng, Honghe, Yalvhe, Erdaohe and Nongjiang are in grade I, their water resources still have upper carrying capacities; the water resources carrying capacities of Farm Shengli, Daxing, Qinglongshan and Qianjin are in grade II, their water resources exploitation and utilization still have some potential; the water resources carrying capacities of Farm Qixing, Chuangye and Hongwei are in grade III, their groundwater resources carrying capacities have been close to saturation. The results play an important role in providing scientific evidences for water resources protection and sustainable utilization in Jiansanjiang branch bureau.

Key words: Jiansanjiang branch bureau; water resources carrying capacity; entropy-weight; fuzzy matter-element

建三江分局位于黑龙江省东北部,属三江平原的一部分,是我国重要的商品粮基地。该区总面积 1.24 万 km²,现有耕地面积 66.67 万 hm²,以水稻种植为主,是“中国绿色水稻之乡”。近些年,受经济效益刺激,水稻种植发展迅猛,水田面积由 2005 年的 24.67 万 hm² 扩大到如今的 44.87 万 hm²^[1]。农田灌溉对

收稿日期:2010-09-21 修回日期:2010-10-25
资助项目:国家自然科学基金(41071053);中国博士后科学基金(20080440832);黑龙江省自然科学基金(C201026);中国博士后科学基金特别资助项目(201003410);高等学校博士学科点专项科研基金(20102325120009);黑龙江省教育厅科学技术研究项目(11541024);东北农业大学博士启动基金(2009RC37)
作者简介:吕萍(1985—),女,吉林龙井人,硕士生,主要研究方向为农业水土资源系统分析与优化利用。E-mail: pingping_85@163.com
通信作者:刘东(1972—),男,黑龙江安达人,教授,博士,主要研究方向为农业水土资源系统分析与优化利用。E-mail: liu72dong@126.com

水资源的需求量也迅速增加,部分地区地下水严重超采,而且地表水、地下水开发利用存在较严重的不平衡问题。2000 年地下水开采量比 1988 年增加了 20 倍,2002 年总用水量为 12.79 万 m³。其中农灌用地下水为 11.78 万 m³,占总用水量的 92.1%,说明该区地下水开发程度较高。由于无节制地开采地下水,地下水位大幅度下降,机电井每年出现大量的吊泵现象^[2]。水资源的承载能力能否支撑本地区农业发展的问 题已成为焦点。因此应加强对建三江分局水资源的科学管理,正确、合理、全面地评价建三江分局水资源承载力,可以为水资源合理开发利用提供科学依据,对该地区农业可持续发展、水资源的可持续利用具有重要意义。

目前对水资源承载力的研究方法有主成分分析法^[3]、系统动力学仿真^[4]、多目标分析法^[5-6]、投影寻踪评价模型^[7]、模糊综合评价法^[8]等。这些方法虽各有特点,但存在各单项指标评判结果不相容、权重确定主观性较强等局限性。我国学者蔡文教授提出的物元分析理论^[9]把解决问题的过程形式化,常用于研究不相容的问题,适用于多指标评价。本文利用物元分析的理念,结合模糊集和欧氏贴近度的概念,将熵权法引入权重计算,建立了基于熵权的模糊物元模型,对建三江分局 15 个农场水资源承载力进行评价。

1 模糊物元模型

1.1 模糊物元和复合模糊物元

物元是以事物名称 N ,特征 c 及其量值 v 组成的有序三元 $R=(N,c,v)$ 组作为描述事物的基本元。模糊物元即其中量值具有模糊性。若将 m 个事物的 n 维物元构成的 R_{nm} 的量值改为模糊物元量值,则称为 m 个事物 n 维复合模糊物元 R_{nm} ^[10],即

$$R_{nm} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_m \\ c_1 & u_{11} & u_{21} & \cdots & u_{m1} \\ c_2 & u_{12} & u_{22} & \cdots & u_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_n & u_{1n} & u_{2n} & \cdots & u_{nm} \end{bmatrix} \tag{1}$$

式中: R_{nm} —— m 个事物 n 维复合模糊物元; M_i ——第 i 个事物, $i=1,2,\cdots,m$; c_j ——第 j 项特征, $j=1,2,\cdots,n$; u_{ij} ——第 i 个事物第 k 项特征对应的模糊量值, $i=1,2,\cdots,m,j=1,2,\cdots,n$ 。

1.2 从优隶属度原则

从优隶属度即各单项评价指标的模糊量值,从属于标准方案中相应模糊量值的隶属程度。由此建立的原则,称为从优隶属度原则。一般有两种类型的指标^[10]。

越大越优型: $u_{ij} = X_{ij} / \max X_{ij}$ (2)

越小越优型: $u_{ij} = \min X_{ij} / X_{ij}$ (3)

式中: u_{ij} ——第 i 个事物第 j 项评价指标对应的模糊量值, $i=1,2,\cdots,m,j=1,2,\cdots,n$; X_{ij} ——第 i 个事物第 j 项评价指标对应的量值, $i=1,2,\cdots,m,j=1,2,\cdots,n$; $\min X_{ij}, \min X_{ij}$ ——各事物中每一项评价指标所有量值 X_{ij} 中的最大值和最小值。

1.3 标准模糊物元与差平方复合模糊物元

标准模糊物元 R_{0n} 由 R_{nm} 中各方案从优隶属度中的最大值或最小值确定,即:

$$R_{0n} = \begin{bmatrix} M_0 \\ c_1 & u_{01} \\ c_2 & u_{02} \\ \vdots & \vdots \\ c_n & u_{0n} \end{bmatrix} \tag{4}$$

差平方复合模糊物元 R_{Δ} 由标准模糊物元 R_{0n} 与复合模糊物元 R_{nm} 中各项差的平方构成^[10],即:

$$R_{\Delta} = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_m \\ c_1 & \Delta_{11} & \Delta_{21} & \cdots & \Delta_{m1} \\ c_2 & \Delta_{12} & \Delta_{22} & \cdots & \Delta_{m2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ c_n & \Delta_{1n} & \Delta_{2n} & \cdots & \Delta_{nm} \end{bmatrix} \tag{5}$$

其中: $\Delta_{ji} = (u_{0i} - u_{ji})^2, i=1,2,\cdots,n; j=1,2,\cdots,m$ 。

2 熵值法确定权重系数

目前常采用的评价指标赋权方法(专家打分、层次分析法)主观性较强,易导致评价结果出现一定的偏差。为尽量避免主观因素的影响,选用熵值法确定权重。

信息论中的熵用于度量系统无序程度,其值越小,系统无序度越小,以此来评价所获系统信息的有序度及其效用,即尽量消除人为干扰,由评价指标值构成的判断矩阵来确定指标权重^[11-12],使评价结果更符合实际。其计算步骤如下:

(1)构建 m 个事物 n 个评价指标的判断矩阵

$$R = (x_{ij})_{nm} \quad (i=1,2,\cdots,n; j=1,2,\cdots,m) \tag{6}$$

(2)将判断矩阵归一化处理,得到归一化判断矩阵。

$$b_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \tag{7}$$

式中: x_{\max}, x_{\min} ——同指标下不同事物中最满意者或最不满意者(越小越满意或越大越满意)。

(3)根据熵的定义, m 个评价事物 n 个评价指标,可以确定评价指标的熵为:

$$H_i = -\frac{1}{\ln m} \left[\sum_{j=1}^m f_{ij} \ln f_{ij} \right] \quad f_{ij} = \frac{b_{ij}}{\sum_{j=1}^m b_{ij}} \tag{8}$$

为使 $\ln f_{ij}$ 有意义,当 $f_{ij}=0$ 时,根据水资源评价的实际意义,可以理解 $\ln f_{ij}$ 为一较大的数值,与 f_{ij} 相乘趋于 0,故可认为 $f_{ij} \ln f_{ij}=0$ 。但当 $f_{ij}=1, f_{ij} \ln f_{ij}=0$,这显然与熵所反映的信息无序化程度相悖,不切合实际,故需对 f_{ij} 加以修正,将其定义为:

$$f_{ij}=\frac{1+b_{ij}}{\sum_{j=1}^m(1+b_{ij})}$$

$(i=1,2,\cdots,n;j=1,2,\cdots,m)$

(9)

(4) 计算评价指标的熵权 w_i

$$w_i=\frac{1+H_i}{n-\sum_{i=1}^n H_i}$$

且满足 $\sum_{i=1}^n w_i=1$

(10)

3 欧氏贴近度和综合评价

贴近度是指被评价样本与标准样本两者相互接近的程度,其值越大表示两者越接近,反之则相离较远。可用于两物元贴近度计算的公式有多种,考虑到本文具有综合评价的意义,采用欧氏贴近度^[13]进行计算。

$$\rho H_j=1-\sqrt{\sum_{i=1}^n w_i \Delta_{ji}^2}$$

$(j=1,2,\cdots,m)$

(11)

式中: ρH_j ——第 j 个评价样本与标准样本的贴近度。

由此来构造欧氏贴近度复合模糊物元 $R_{\rho H}$,即:

$$R_{\rho H}=\begin{bmatrix} M_1 & M_2 & \cdots & M_m \\ \rho H_j & \rho H_1 & \rho H_2 & \cdots & \rho H_m \end{bmatrix}$$

(12)

根据计算出的贴近度即可实现对各评价样本的优劣排序和类别划分。

4 实例分析

采用基于熵权的模糊物元模型对黑龙江省农垦建三江分局下属 15 个农场 2008 年的水资源承载力进行评价。数据资料来源于《建三江农垦统计年鉴》及《建三江分局水利综合统计年报》。

4.1 评价指标体系的确定

为了更好地选取合理的指标体系,对建三江分局水资源承载力进行科学的评价,本文参照一些关于水资源评价指标体系的研究成果^[14-17],并结合建三江水资源实际利用情况,以地下水开发利用程度作为参考指标,采用灰色关联分析^[18],以近 20 a 的数据资料为基础,对众多指标进行分析、筛选,选取了 9 个代表性好、针对性强、易获取,易于量化,且能反映建三江分局水资源特点的指标,组成了建三江分局水资源承

载力评价指标体系,见表 1。

表 1 建三江分局水资源承载力评价指标体系

分类	评价指标	关联度
水资源条件类	人均水资源量 $I_1/(\text{m}^3/\text{人})$	0.6916
	水资源利用率 $I_2/\%$	0.9776
供水及工程类	人均供水量 $I_3/(\text{m}^3/\text{人})$	0.9699
	地下水资源开发利用程度 $I_4/\%$	参考指标
	供水模数 $I_5/(\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	
需水类	需水模数 $I_6/(\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2})$	0.9257
	耕地灌溉率 $I_7/\%$	0.7095
	单位面积灌溉用水量 $I_8/(\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2})$	0.6772
	人均生活用水量 $I_9[\text{L}/(\text{人} \cdot \text{d})]$	0.7875

根据建三江分局水资源承载力的状况,将上述评价指标按对水资源承载力影响的程度划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ 3 个等级。其中Ⅰ级表示该区仍有较大的承载力;Ⅱ级表示该区地下水资源开发利用已有相当规模,但仍有一定的开发利用潜力,基本可以满足区域社会经济发展需求;Ⅲ级表示水资源的承载力已接近饱和,进一步开发利用的潜力较小,长期发展下去将会导致水资源短缺,制约社会经济的可持续发展。综合文献研究成果^[13-17]和建三江分局水资源实际利用情况,确定了各等级评价标准。建三江分局各农场的评价指标数值及评价标准见表 2。

4.2 建立评价模型

(1)依据建三江分局 15 个农场的评价指标数值及水资源承载力的 3 个分级标准构建 $R_{18 \times 9}$ 复合物元。

(2)根据步骤(1)所确定的复合物元,对其中人均水资源量、人均供水量用式(2)计算从优隶属度;对水资源利用率、地下水开发利用程度、供水量模数、需水量模数、耕地灌溉率、单位面积灌溉用水量、人均生活用水量用式(3)计算,构建出从优隶属度模糊物元。

(3)仅取步骤(2)中从优隶属度最大值组成标准方案的模糊物元,即 $u_{0i}=1.0, i=1,2,\cdots,9$ 。由式(5)得到差平方复合模糊物元 R_{Δ} 。

(4)根据式(7)~(10)计算得各指标的熵 $H_i=(0.9922,0.9951,0.9919,0.9942,0.9949,0.9950,0.9932,0.9949,0.9949)$,及 $w_i=(0.1441,0.0917,0.1501,0.1085,0.0951,0.0937,0.1265,0.0950,0.0952)$ 。

(5)采用式(11)、式(12)计算得各指标的欧氏贴近度 $R_{\rho H}$:

$$R_{\rho H}=\begin{bmatrix} \text{八五九} & \text{胜利} & \text{七星} & \text{勤得利} & \text{大兴} & \text{青龙山} & \text{前进} & \text{创业} & \text{红卫} \\ \rho H_j & 0.4817 & 0.4154 & 0.3133 & 0.4664 & 0.3879 & 0.3831 & 0.3582 & 0.3326 & 0.3476 \\ \text{前哨} & \text{前锋} & \text{洪河} & \text{鸭绿河} & \text{二道河} & \text{浓江} & \text{Ⅰ级} & \text{Ⅱ级} & \text{Ⅲ级} \\ \rho H_j & 0.4428 & 0.4957 & 0.4804 & 0.4418 & 0.4587 & 0.4387 & 0.4812 & 0.3913 & 0.3193 \end{bmatrix}$$

表 2 建三江分局各农场的评价指标数值及分级标准值

农场	$I_1/$ ($\text{m}^3/\text{人}$)	$I_2/\%$	$I_3/$ ($\text{m}^3/\text{人}$)	$I_4/\%$	$I_5/$ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	$I_6/$ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	$I_7/\%$	$I_8/$ ($\text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)[$\text{L}/(\text{人} \cdot \text{d})$]	$I_9/$
八五九	14362.03	75.51	10844.35	92.12	14.88	15.09	42.39	5913.75	53.01
胜利	12525.48	74.19	9292.19	148.73	14.51	16.71	68.18	5209.95	63.99
七星	6731.59	125.64	8457.32	193.80	23.86	27.32	72.39	5250.00	79.56
勤得利	12924.04	39.96	5164.60	77.40	8.10	9.73	42.86	4975.05	117.64
大兴	13511.07	113.12	15283.33	166.29	25.12	25.12	77.03	6000.00	56.27
青龙山	11331.00	86.07	9752.73	134.63	19.02	21.70	72.07	5242.20	70.08
前进	9916.10	127.08	12601.63	205.40	25.30	28.95	70.51	5250.00	44.55
创业	10122.19	167.01	16904.95	263.91	33.16	37.84	98.04	5250.00	52.72
红卫	10335.45	124.97	12915.87	211.58	26.07	29.77	90.57	5250.00	52.34
前哨	13178.79	66.65	8783.92	123.82	15.24	17.42	52.17	5250.00	50.17
前锋	24762.02	62.38	15447.56	110.45	16.76	19.66	50.47	5108.40	89.22
洪河	31149.56	106.39	33139.08	180.00	22.17	27.62	81.59	4812.00	56.13
鸭绿河	21976.28	119.93	26355.46	218.22	26.87	25.46	78.89	6346.05	41.93
二道河	35412.82	102.38	36256.93	183.32	21.10	24.40	70.51	5185.50	143.49
浓江	21684.57	112.63	24423.56	200.96	25.26	30.61	83.06	4950.00	44.14
I	>4000	<50	>2250	<30	<10	<10	<20	<5400	<70
II	1700~4000	50~75	1000~2250	30~70	10~15	10~15	20~60	5400~6000	70~130
III	<1700	>75	<1000	>70	>15	>15	>60	>6000	>130

4.3 结果与分析

由欧氏贴近度计算结果对建三江分局下属 15 个农场水资源承载力按等级划分如下:八五九、勤得利、前哨、前锋、洪河、鸭绿河、二道河、浓江农场水资源承载力为Ⅰ级,说明这 8 个农场水资源仍有较大的承载力,水资源供给情况较乐观;胜利、大兴、青龙山、前进农场水资源承载力为Ⅱ级,表示这 4 个农场水资源开发利用已有相当规模,但仍有一定的开发潜力,水资源的供给和需求基本可以满足区域社会经济发展和环境保护的需要,但水资源开发过程中应注意控制开发力度;七星、创业、红卫农场的水资源承载力为Ⅲ级,说明这 3 个农场的水资源承载力已接近饱和,进一步开发利用的潜力较小。根据欧氏贴近度的大小对 15 个农场水资源承载力的排序为:七星<创业<红卫<前进<青龙山<大兴<胜利<浓江<鸭绿河<前哨<二道河<勤得利<洪河<八五九<前锋。

结合建三江分局下属各农场实际情况,由表 2 可以看出,七星农场地下水开发利用程度大、人口多、供水、需水模数较高,创业和红卫农场由于地下水开发利用程度大、耕地灌溉率和供水、需水模数高,所以这三个农场水资源压力大,承载力为Ⅲ级;前进农场虽然地下水开发利用程度大,供水、需水模数较高,承载力在Ⅱ级与Ⅲ级之间,如果管理不善,很有可能降至Ⅲ级;青龙山、大兴、胜利农场地下水开发开发利用程度较大、耕地灌溉率较高,但水资源利用率在中等水平、人均生活用水量较少,所以水资源压力中等,承载

力为Ⅱ级;浓江、鸭绿河农场虽然水资源利用率和地下水开发利用程度大,供、需水模数较高,但其人口相对较少、人均水资源量大、人均生活用水量较小,水资源压力相对较小,承载力在Ⅰ级和Ⅱ级之间,如对地下水开采现状不加以改善,水资源承载力极有可能迅速下降;二道河农场地下水开发利用程度大,人均生活用水量多,耕地灌溉率和灌溉亩均用水量相对适中,人均水资源量大,水资源压力相对较小,承载力为Ⅰ级,但也应加强管理,控制个别指标的恶化;洪河农场人口少,人均水资源量大,单位面积灌溉用水量 and 人均生活用水量较少,水资源压力较小,承载力为Ⅰ级,但其水资源利用率高、地下水开发利用程度大,如不加强管理,水资源承载力很有可能迅速下降;前哨、勤得利、八五九、前锋农场地下水开发利用程度较高、水资源利用率中等水平、供水、需水模数较低,耕地灌溉率中等水平,且八五九、勤得利农场毗邻江河,可利用水资源丰富,所以水资源压力小,承载力为Ⅰ级。

将该模型所得评价结果与传统物元模型评价结果进行对比,由表 3 可见,两种模型在等级划分上存在部分差异。通过上述对 15 个农场实际情况的分析可见,传统物元模型对七星、创业、红卫 3 个农场水资源承载力的评价结果与当地水资源开发利用的实际情况不符合,有较大误差,而基于熵权的模糊物元模型所得评价结果更接近于建三江分局下属 15 个农场的实际情况,所得结果更为科学合理。

表 3 评价结果对比

农场	基于熵权的模糊物元模型	传统物元模型	农场	基于熵权的模糊物元模型	传统物元模型
八五九	I	II	红卫	III	I
胜利	II	I	前哨	I	I
七星	III	I	前锋	I	II
勤得利	I	I	洪河	I	III
大兴	II	I	鸭绿河	I	I
青龙山	II	I	二道河	I	III
前进	II	I	浓江	I	I
创业	III	I			

5 结 论

(1)基于熵权的模糊物元模型是一种简便、易于理解和计算的分析评价方法,引入熵权理论,避免了计算指标权重的人为干扰,有效的减少了多指标模糊性评价中权重系数确定的主观性,从而得出了更加准确、客观的评价结果。通过关联度计算能够较直观的筛选出评价指标,为水资源承载力评价提供了一条新的途径。

(2)应用基于熵权的模糊物元评价模型得到的水资源承载力评价结果较为真实地反映了建三江分局下属 15 个农场水资源承载力的实际状况,评价结果比较合理。为建三江分局水资源科学合理的开发利用和优化配置提供了依据。

(3)通过评价发现建三江分局 15 个农场普遍存在地下水超采的现象,而且地表水没有得到很好的开发利用,尤其是七星、创业农场的水资源承载力已接近饱和,建议当地严格控制地下水开采量,兴建地表水控制工程,开源节流,防止地下水资源进一步恶化,同时应大力推广节水灌溉技术,以提高有限水资源的利用效率。

参考文献:

[1] 王敦红,代淑英. 建三江地区发展节水农业必要性分析[J]. 中国新技术新产品,2009(13):211.
[2] 李红艳,安瑞强,魏永霞. 运用 GM(1,1)模型预测建三江垦区地下水动态[J]. 农机化研究,2007(3):42-44.

[3] 傅湘,纪昌明. 区域水资源承载能力综合评价[J]. 长江流域资源与环境,1999,8(2):168-172.
[4] Li Huafeng, Xing Caizhang, Gao Yuanluo. Application of system dynamics in analyzing the carrying capacity of water resources in Yiwu City, China[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2008,79(3):269-278.
[5] 赵国华,翟国静,何平,等. 廊坊市区域现状水资源承载力分析[J]. 水土保持研究,2009,16(1):246-249.
[6] Qureshi M E, Harrison S R, Wegener M K. Validation of multicriteria analysis models[J]. Agricultural Systems, 1999,62(2):105-106.
[7] 郦建强,陆桂华,杨晓华,等. 区域水资源承载能力综合评价的 GPPIM[J]. 河海大学学报:自然科学版,2004,32(1):1-4.
[8] 闵庆文,余卫东,张建新. 区域水资源承载力的模糊综合评价分析方法及应用[J]. 水土保持研究,2004,11(3):14-16,129.
[9] 蔡文. 物元模型及应用[M]. 北京:科学技术文献出版社,1994.
[10] 付强. 数据处理方法及其农业应用[M]. 北京:科学出版社,2006:339-341.
[11] 邱苑华. 管理决策与应用熵学[M]. 北京:机械工业出版社,2001.
[12] 韩丽伟,付强,刘东,等. 三江平原地下水承载能力综合评价模型的构建及其应用[J]. 水土保持研究,2010,17(2):182-185.
[13] 肖芳淳. 模糊物元贴近度聚类分析的研究[J]. 新疆石油地质,1999,19(4):281-283.
[14] 杜发兴,曹广晶,梁川. 水资源承载力综合评价的熵权属性识别模型[J]. 哈尔滨工业大学学报,2009,41(11):243-245,249.
[15] 刘东,付强,孟军. 集对分析法在三江平原井灌区地下水资源承载力评价中的应用[J]. 中国农村水利水电,2009(2):1-4.
[16] 周维博. 河西走廊灌溉农业发展的水资源承载能力分析[J]. 自然资源学报,2002,17(5):564-570.
[17] 范玉枝. 章丘市水资源承载力研究[D]. 济南:山东师范大学,2005.
[18] 李吉玖,徐海量,宋郁东,等. 伊犁河流域水资源承载力的综合评价[J]. 干旱区资源与环境,2007,21(3):39-43.