

基于可变模糊评价法的塔里木河流域水资源承载力研究

孟丽红¹, 陈亚宁^{2,3}, 徐祥明¹, 李卫红^{2,3}

(1. 赣南师范学院 地理与规划学院, 江西 赣州 341000; 2. 中国科学院 绿洲生态与荒漠环境国家重点实验室, 新疆 乌鲁木齐 830011; 3. 中国科学院 新疆生态与地理研究所, 新疆 乌鲁木齐 830011)

摘要: 结合塔里木河流域 2005 年自然、社会和经济以及水资源资料, 应用可变模糊评价模型对塔里木河流域水资源状况进行了评价研究。研究表明: (1) 该方法能够科学、合理地确定样本指标对各级指标标准区间的相对隶属度、相对隶属函数, 并且能够通过变化模型及其参数, 合理地确定出样本的评价等级, 提高对样本等级评价的可信度。(2) 塔里木河流域水资源承载力综合评价为 2 级, 水资源开发利用已有相当规模, 应由耗水型经济结构向节水型经济结构转变, 并加强水资源的综合管理, 以便科学、合理地利用流域内有限水资源。

关键词: 可变模糊评价模型; 水资源承载力; 层次分析法; 塔里木河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2012)02-0162-06

中图分类号: TV213

Assessing Water Resources Carrying Capacity in Tarim River Basin Using a Variable Fuzzy Model

MENG Li-hong¹, CHEN Ya-ning^{2,3}, XU Xiang-ming¹, LI Wei-hong^{2,3}

(1. School of Geography and Planning, Gannan Normal University, Ganzhou, Jiangxi 341000, China;

2. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Chinese Academy of Science, Urumqi, Xinjiang 830011, China; 3. Xinjiang Institute of Ecology and Geography, CAS, Urumqi, Xinjiang 830011, China)

Abstract: Based on the data of environment, society, economy, and water resources of Tarim River basin in 2005, we evaluated the water resource carrying capacity of the basin using a variable fuzzy model. The results show that the method identified reasonably the relative degree of membership and relative membership function of the individual index in each index group, and it also determined properly the classes that each sample belongs to by changing the model with its parameters, greatly improving the reliability of the assessment. The water resources carrying capacity of Tarim River basin belongs to the second class, showing a high degree of water resource utilization level. It is important to improve the water carrying capacity by adopting some fundamental measures, which include converting the economic structure from water over-consuming to water saving, balancing water uses among the areas of the upper and lower reaches, carrying out integrated schemes of water exploitation and utilization, and developing a decision-making supporting system covering the whole Tarim River basin.

Keywords: variable fuzzy model; water resource carrying capacity; analytic hierarchy process; Tarim River basin

水资源承载力是一个国家或地区持续发展过程中各种自然资源承载力的重要组成部分, 是自然资源承载力的一部分^[1], 是指某一地区的水资源, 在一定社会和科学技术发展阶段, 在不破坏社会和生态系统时, 最大可承载的农业、工业、城市规模和人口水平, 是一个随社会经济和科学技术水平发展变化的综合目标^[2], 它对一个国家或地区综合发展和发展规模的确定具有至关重要的意义。尤其对于水资源短缺

的干旱、半干旱地区, 水资源承载力的分析计算和评价已成为寻求区域可持续发展道路的重要依据^[3]。水资源承载能力评定须在对本区水资源特征、保证程度、开发利用情况以及工农业生产、人民生活 and 生态环境对水资源的需求程度等供需诸方面综合分析基础上, 经过多个因素分析评价而得出的结论^[4-5]。目前有关水资源承载力的研究主要集中在我国, 国外专门的研究较少, 一般仅在可持续发展文献中简单涉

及。其中,北美湖泊协会曾对湖泊承载力进行定义;美国的 URS 公司^[7]对佛罗里达 Keys 流域的承载能力进行了研究,内容包括承载力的概念、研究方法和模型量化手段等方面^[6]。此外, Falkenmark 等学者的一些研究也涉及到水资源的承载限度。国内目前采用的方法主要有主成分分析法^[8]、背景分析法^[9]、常规趋势法^[10-11]、系统动力学法^[12-13]、模糊综合评价法^[14-15]、多目标决策法^[16-17]等。这些评价方法基本上是选用一套权重和一个模型对样本进行评价,往往不能确保最后结果的准确性。为了科学地对水资源承载能力进行评价,并使评价方法具有可操作性,本研究选用了可变模糊集合评价方法^[18],该方法能够科学、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,并且能够通过变化模型及其参数,合理地确定出样本水资源承载能力的评价等级,提高对样本等级评价的可信度。并以塔里木河流域 2005 年自然、社会和经济以及水资源开发利用资料为本底,采用可变模糊评价模型对该流域水资源承载力进行评价分析,旨在为塔里木河流域水资源可持续开发利用提供决策依据。

1 可变模糊集理论与模型

1.1 相对差异函数模型^[18]

设 $X_0 = [a, b]$ 为实轴上模糊可变集合 V 的吸引(为主)域,即 $0 < D_A(u) \leq 1$ 区间, $X = [c, d]$ 为包含 $X_0 (X_0 \in X)$ 的某一上、下界范围域区间。根据模糊可变集合 V 定义可知 $[a, b]$ 与 $[c, d]$ 均为 V 的排斥域,即 $-1 \leq D_A(u) < 0$ 区间。设 M 为吸引(为主)域区间 $[a, b]$ 中 $D_A(u) = 1$ 的点值,按物理分析确定 M 不一定是区间 $[a, b]$ 的中点值。 x 为 X 区间内的任意点的量值,则 x 落入 X 点左侧时的相对差异函数模型为:

$$\begin{cases} D_A(u) = \left(\frac{x-a}{M-a}\right)^\beta, & x \in [a, M] \\ D_A(u) = -\left(\frac{x-a}{c-a}\right)^\beta, & x \in [c, a] \end{cases} \quad (1)$$

x 落入 M 点右侧时,其相对差异函数模型为

$$\begin{cases} D_A(u) = \left(\frac{x-b}{M-b}\right)^\beta, & x \in [M, b] \\ D_A(u) = \left(\frac{x-b}{d-b}\right)^\beta, & x \in [b, d] \end{cases} \quad (2)$$

公式(1) — (2) 中 β 为非负指数,通常可取 $\beta = 1$,即相对差异函数模型为线性函数,公式(1) — (2) 满足: ① 当 $x = a, x = b$ 时, $D_A(u) = 0$; ② 当 $x = M$

时 $D_A(u) = 1$; ③ 当 $x = c, x = d$ 时, $D_A = -1$ 。符合相对差异函数定义。 $D_A(u)$ 确定以后,根据公式(3)可求解相对隶属度 $\mu_A(u)$ 。

$$\begin{cases} \mu_A(u) = (1 + D_A(u)) / 2, & x \in [c, d] \\ \mu_A(u) = 0, & x \notin [c, d] \end{cases} \quad (3)$$

1.2 可变模糊评价模型

设有对水资源承载能力作识别的 n 个样本集合

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \quad (4)$$

第 j 个样本的特性用 m 个指标特征值表示

$$x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T \quad (5)$$

则样本集可用 $m \times n$ 阶指标特征值矩阵表示

$$X = (x_{ij}) \quad (6)$$

式中: x_{ij} —— 样本 j 指标 i 的特征值; $i = 1, 2, \dots, n$ 样本集依据 m 个指标按 c 个级别的指标标准特征值进行识别,则有 $m \times c$ 阶指标标准特征值矩阵

$$Y = (y_{ih}) \quad (7)$$

式中: y_{ih} —— 级别 h 指标 i 的标准特征值, $h = 1, 2, \dots, c$ 。

参照指标标准值矩阵和待评价流域的实际情况确定水资源承载能力可变集合的吸引(为主)域矩阵与范围域矩阵

$$I_{ab} = \{ [a_{ih}, b_{ih}] \} \quad (8)$$

$$I_{cd} = \{ [c_{ih}, d_{ih}] \} \quad (9)$$

根据水资源承载能力分为 c 个级别的实际情况确定吸引(为主)域 $[a_{ih}, b_{ih}]$ 中 $D_A(x_{ij})_h = 1$ 的点值 M_{ih} 的矩阵

$$M = M_{ih} \quad (10)$$

依据公式(8) — (10) 判断样本特征值 x_{ij} 在 M_{ih} 点的左侧还是右侧,据此选用公式(1) — (2) 计算差异度 $D_A(x_{ij})_h$,再由公式(3) 计算指标对 h 级的相对隶属度 $\mu_A(x_{ij})_h$ 矩阵

$$[U_h] = (\mu_A(x_{ij})_h) \quad (11)$$

应用文献[18]中提出的模糊评价模型

$$j_{uh} = 1/1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m \{w_i (1 - \mu_A(x_{ij})_h)\}^p}{\sum_{i=1}^m (w_i \mu_A(x_{ij})_h)^p} \right\}^{\alpha/p} \quad (12)$$

式中: j_{uh} —— 非归一化的综合相对隶属度; α —— 模型优化准则参数; w_i —— 指标权重; m —— 识别指标数; p —— 距离参数 $p = 1$ 为海明距离,模糊集距离中最简单的形式就是线性距离,称之海明距离^[19]。 $p = 2$ 为欧氏距离,即在 m 维空间中两个点之间的真

实距离。由公式(12)可得到非归一化的综合相对隶属度矩阵

$$U' = (j_{uh}') \quad (13)$$

将式(13)归一化处理得到综合相对隶属度矩阵

$$U = (j_{uh}) \quad (14)$$

$$j_{uh} = j_{uh}' / \sum_{h=1}^c j_{uh}' \quad (15)$$

根据模糊概念在分级条件下最大隶属度原则的不适用性,应用公式(16)对样本进行级别评价^[20]。

$$H = (1 \ 2 \ \dots \ c) \times U \quad (16)$$

2 塔里木河流域水资源承载力评价

2.1 塔里木河流域概况

塔里木河地处我国西部干旱区,总面积 $1.02 \times 10^6 \text{ km}^2$,其中干流长 1 321 km,是中国最长的内陆河^[21]。整个流域在行政区划上主要包括克孜勒苏柯尔克孜自治州(以下简称克州)、巴音郭楞蒙古自治州(以下简称巴州)、阿克苏、喀什和田等 5 个地州^[22]。目前与塔里木河干流有天然水利联系仅有 3 个水系:和田河、叶尔羌河和阿克苏河,称之为上游三源流,孔雀河通过库塔干渠向塔里木河下游送水,加上干流并称为“四源一干”^[23]。塔里木河流域多年平均降水量为 $1.06 \times 10^{11} \text{ m}^3$,水资源总量为 $4.46 \times 10^{10} \text{ m}^3$,其中,地表水资源量为 $4.19 \times 10^{10} \text{ m}^3$,地下水资源量为 $3.70 \times 10^{10} \text{ m}^3$,地表总径流量为 $5.00 \times 10^{10} \text{ m}^3$ ^[24]。

在过去 50 a 里,塔里木河在大强度人类活动的作用下,水资源开发过程中的经济与生态之间的矛盾日益突出。上游三源流向干流输送的水量逐年减少,

水质不断恶化,下游 320 km 的河道断流^[21],尾间台特玛湖干涸,地下水位大幅度下降,以胡杨林为主体的荒漠植被全面衰败,沙漠化过程加剧,生物多样性严重受损,生态环境日益恶化,水资源已成为制约当地社会经济发展的主要因素。因此,深刻了解该流域水资源状况,科学评价流域水资源承载能力,对流域水资源科学管理和可持续发展具有重要意义。

2.2 评价指标与分级标准

影响干旱区水资源承载能力的因素众多,既有供水方面因素,又有需水方面因素;既有直接因素,又有间接因素。本研究根据塔里木河流域水资源及其利用特点,对各影响因素全面分析,并参照全国水资源供需分析中的指标体系^[25-26],选取了水资源利用率(x_1)、水资源开发利用程度(x_2)、供水模数(x_3)、需水模数(x_4)、生活用水定额(x_5)、人均供水量(x_6)、生态环境用水率(x_7)这 7 个主要因素作为评判因素。各因素的含义为:水资源利用率(x_1)指现状 75% 频率的供水量与可利用的水资源总量之比;水资源开发利用程度(x_2)指现状 75% 频率供水量与水资源总量之比;供水量模数(x_3)指频率 75% 的供水量与土地面积之比;需水量模数(x_4)指现状 75% 频率的需水量与土地面积之比;生活用水定额(x_5)指生活用水量与总人口之比;人均供水量(x_6)指频率 75% 的供水量与总人口数量之比;生态环境用水率(x_7)指生态环境用水量/总水量(%)。各因素对塔里木河流域水资源影响较大,可以说是塔里木河流域水资源承载力评价中的较重要因素(表 1)。

表 1 塔里木河流域“四源一干”行政区评价因素指标统计

项目	巴州	阿克苏	克州	喀什市	和田市	四源一干
水资源利用率/%	40.00	50.20	4.63	50.00	43.00	37.57
水资源开发利用程度/%	38.00	70.00	1.60	63.00	23.00	39.00
供水模数/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	0.86	4.32	0.18	5.33	1.16	2.37
需水模数/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	1.93	8.99	2.04	11.67	2.68	5.46
生活用水定额/[$\text{L} \cdot (\text{人} \cdot \text{d})^{-1}$]	139.00	55.00	7.00	56.00	27.00	58.00
人均供水量($\text{m}^3/\text{人}$)	2 914	2 502	277	1 613	1 344	1 868
生态环境年用水率/%	3.00	0.05	0.45	1.37	5.38	1.20

按照 7 个评判因素对塔里木河流域水资源承载能力的影响程度,并借鉴了其它水资源一些评价标准^[26],将这 7 因素对水资源承载能力影响程度化分为 3 个等级,每个因素各等级的数量指标见表 2。其中 V_1 级属情况较好,表示该区水资源仍有较大的承

载潜力,该区水资源利用程度、发展规模都较小,因而这时研究区发展对水资源的需求是有保障的,该区水资源供给情况较为乐观。 V_3 级属状况较差,表示了水资源承载能力已接近其饱和值,进一步开发利用潜力较小,发展下去将发生水源短缺,水资源进一步开

发必然导致环境恶化,出现不可持续发展。 V_2 级情 况则介于上两级之间,表明研究区水资源开发利用已 有相当规模,但仍有一定的开发利用潜力,区内国民 经济发展对水资源供给需求是有一定保证的。

表 2 各评价因素分级指标

评价因素	V_1	V_2	V_3
水资源利用率/%	< 50	50 ~ 75	> 75
水资源开发利用程度/%	< 30	30 ~ 70	> 70
供水模数/($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	< 1	1 ~ 15	> 15
需水模数($10^4 \text{ m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)	< 1	1 ~ 15	> 15
生活用水定额/($\text{L} \cdot (\text{人} \cdot \text{d})^{-1}$)	< 70	70 ~ 130	> 130
人均供水量($\text{m}^3/\text{人}$)	> 4 500	2 500 ~ 4 500	< 2 500
生态用水率/%	> 5	1 ~ 5	< 1

2.3 综合评价计算过程

根据表 2 可得到塔里木河流域水资源承载能力的现状指标特征值与指标标准值矩阵。

$$X = \begin{bmatrix} 40.00 & 50.20 & 4.63 & 50.00 & 43.00 & 37.57 \\ 38.00 & 70.00 & 1.60 & 63.00 & 23.00 & 39.12 \\ 0.86 & 4.32 & 0.18 & 5.33 & 1.16 & 2.37 \\ 1.93 & 8.99 & 2.04 & 11.67 & 2.48 & 5.46 \\ 139 & 55 & 7 & 56 & 27 & 58 \\ 2\,914 & 2\,502 & 277 & 1\,613 & 1\,344 & 1\,868 \\ 3.00 & 0.05 & 0.45 & 1.37 & 5.38 & 1.20 \end{bmatrix} = (x_{ij}) \quad Y = \begin{bmatrix} 50 & 50 \sim 75 & 75 \\ 30 & 30 \sim 70 & 70 \\ 1 & 1 \sim 15 & 15 \\ 1 & 1 \sim 15 & 15 \\ 70 & 70 \sim 130 & 130 \\ 4\,500 & 2\,500 \sim 4\,500 & 2\,500 \\ 5 & 1 \sim 5 & 5 \end{bmatrix} = (y_{ih})$$

式中: $i = 1, 2, \dots, 7$, 为指标号; $j = 1, 2, \dots, 6$, 为分段号; $h = 1, 2, 3$, 为级别编号。

参照指标标准值矩阵 Y 和塔里木河流域的实际情况确定水资源承载力可变集合的吸引(为主)域矩阵与范围域矩阵以及点值 M_{ih} 的矩阵分别为:

$$I_{ab} = \begin{bmatrix} [0, 50] & [50, 75] & [75, 100] \\ [0, 30] & [30, 70] & [70, 110] \\ [0, 1] & [1, 15] & [15, 29] \\ [0, 1] & [1, 15] & [15, 29] \\ [0, 70] & [70, 130] & [130, 190] \\ [7\,000, 4\,500] & [4\,500, 2\,500] & [2\,500, 0] \\ [9, 5] & [5, 1] & [1, 0] \end{bmatrix} \quad I_{cd} = \begin{bmatrix} [0, 75] & [0, 100] & [25, 100] \\ [0, 70] & [0, 110] & [30, 110] \\ [0, 15] & [0, 29] & [1, 29] \\ [0, 15] & [0, 29] & [1, 29] \\ [0, 130] & [0, 190] & [70, 190] \\ [7\,000, 2\,500] & [4\,500, 0] & [2\,500, 0] \\ [9, 1] & [5, 0] & [1, 0] \end{bmatrix} \quad M = \begin{bmatrix} 0 & 50 & 100 \\ 0 & 30 & 100 \\ 0 & 1 & 29 \\ 0 & 1 & 29 \\ 0 & 70 & 190 \\ 7\,000 & 4\,500 & 0 \\ 9 & 5 & 0 \end{bmatrix}$$

根据矩阵 I_{ab} , I_{cd} 与 M 判断样本特征值 x_{ij} 在 M_{ih} 点的左侧还是右侧,据此选用公式(1)或式(2)计算差异度 $D_A(x_{ij})_h$,再由公式(3)计算指标对 h 级的相对隶属度 $\mu_A(x_{ij})_h$ 。当 $j = 1, 2, \dots, 6$ 对级别 $h = 1, 2, 3$ 的指标相对隶属度矩阵分别为

$$[U_1] = \begin{bmatrix} 0.300 & 0.496 & 0.954 & 0.500 & 0.570 & 0.624 \\ 0.400 & 0 & 0.974 & 0.345 & 0.617 & 0.386 \\ 0.570 & 0.381 & 0.910 & 0.119 & 0.494 & 0.451 \\ 0.467 & 0.218 & 0.463 & 0.447 & 0.447 & 0.341 \\ 0 & 0.607 & 0.950 & 0.600 & 0.807 & 0.586 \\ 0.104 & 0.001 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.250 & 0 & 0 & 0.046 & 0.548 & 0.025 \end{bmatrix}$$

$$[U_2] = \begin{bmatrix} 0.400 & 0.996 & 0.046 & 0.500 & 0.430 & 0.376 \\ 0.900 & 0.500 & 0.267 & 0.588 & 0.383 & 0.886 \\ 0.070 & 0.882 & 0.090 & 0.845 & 0.994 & 0.549 \\ 0.967 & 0.715 & 0.963 & 0.619 & 0.947 & 0.841 \\ 0.425 & 0.393 & 0.050 & 0.400 & 0.193 & 0.414 \\ 0.604 & 0.501 & 0.055 & 0.619 & 0.269 & 0.374 \\ 0.750 & 0.975 & 0.225 & 0.546 & 0 & 0.525 \end{bmatrix}$$

$$[U_3] = \begin{bmatrix} 0.250 & 0.525 & 0 & 0.250 & 0.180 & 0.126 \\ 0.100 & 0.5 & 0 & 0.413 & 0 & 0.114 \\ 0 & 0.119 & 0 & 0.155 & 0.006 & 0.049 \\ 0.033 & 0.285 & 0.037 & 0.381 & 0.053 & 0.159 \\ 0.575 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.945 & 0.678 & 0.731 & 0.626 \\ 0 & 0.975 & 0.775 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

应用层次分析法^[27]并结合专家意见可求出 7 项指标的归一化权向量

$$w = [0.232 \ 0.301 \ 0.182 \ 0.041 \ 0.123 \ 0.117 \ 0.004]$$

应用可变模糊评价模型式(12)求解塔里木河流域对各个级别水资源承载能力的相对隶属度。

由矩阵 $[U_2]$ 求得 $j=3$ 的指标相对隶属度向量为:

$$[\mu_2]_3 = (0.046 \ 0.267 \ 0.09 \ 0.963 \ 0.05 \ 0.055 \ 0.225)$$

取距离参数 $p=1$ 模型优化准则参数 $\alpha=2$; 当 $j=3 \ h=2$ 时,可变模糊评价模型式(12)可表示为:

$$3u_2' = 1/1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^7 \{w_i (1 - \mu_{A_i}(x_{i3})_2)\}}{\sum_{i=1}^7 w_i \mu_{A_i}(x_{i3})_2} \right\}$$

根据公式(16)得到水资源承载能力的级别特征值向量:

$$H = (1 \ 2 \ 3) \times \begin{bmatrix} 0.217 & 0.113 & 0.856 & 0.171 & 0.559 & 0.194 \\ 0.745 & 0.791 & 0.034 & 0.696 & 0.426 & 0.616 \\ 0.038 & 0.096 & 0.110 & 0.133 & 0.015 & 0.190 \end{bmatrix} = (1.821 \ 1.983 \ 1.254 \ 1.962 \ 1.456 \ 1.996)$$

参照全国水资源评价中的标准^[25-26],将各评判因素对水资源承载能力的影响赋予不同的权重:

$$w = [0.2 \ 0.1 \ 0.15 \ 0.15 \ 0.1 \ 0.2 \ 0.1]$$

应用可变模糊模型式(12)进行重新计算,得到塔里木河流域水资源承载能力评价结果(表3)。由表3可以看出,权重变化后级别特征值稳定在一定范围内,说明可变模糊评价模型受人为干扰性小,评价结果更为合理、客观。为了取得更加合理的结果,对 α 和 p 分别取不同的值进行组合计算,评价结果详见表4。

将向量 $[u_2]_3, w$ 代入上式得到 $3u_2' = 0.038$,同理,可得到 $h=1, 2, 3$ 水资源承载能力的相对隶属度向量为:

$$3u' = [0.952 \ 0.038 \ 0.121]$$

对 $j=1, 2, \dots, 6$ 进行类似的求解计算,得到塔里木河流域水资源承载能力的非归一化相对隶属度矩阵

$$U' = \begin{bmatrix} 0.165 & 0.116 & 0.952 & 0.189 & 0.612 & 0.235 \\ 0.565 & 0.812 & 0.038 & 0.767 & 0.467 & 0.743 \\ 0.028 & 0.098 & 0.121 & 0.146 & 0.016 & 0.230 \end{bmatrix}$$

将矩阵 U' 归一化得到相对隶属度矩阵

$$U'' = \begin{bmatrix} 0.217 & 0.113 & 0.856 & 0.171 & 0.559 & 0.194 \\ 0.745 & 0.791 & 0.034 & 0.696 & 0.426 & 0.616 \\ 0.038 & 0.096 & 0.110 & 0.133 & 0.015 & 0.190 \end{bmatrix}$$

表3 权重变化后评价结果对比

流域分区	特征值		稳定范围	评价等级
	权重 1	权重 2		
巴州	1.821	1.925	1.821 ~ 1.925	2
阿克苏地区	1.983	1.456	1.456 ~ 1.983	1 ~ 2
克州	1.254	1.365	1.254 ~ 1.365	1
喀什地区	1.962	2.110	1.962 ~ 2.110	2
和田地区	1.456	1.569	1.456 ~ 1.569	1
塔里木河流域	1.996	1.872	1.872 ~ 1.996	2

表4 塔里木河流域水资源承载能力评价结果

流域分区	特征值				稳定范围	评价等级
	$\alpha=1 \ p=1$	$\alpha=1 \ p=2$	$\alpha=2 \ p=1$	$\alpha=2 \ p=2$		
巴州	1.871	2.125	1.821	2.120	1.821 ~ 2.120	2
阿克苏地区	1.521	1.678	1.983	2.011	1.521 ~ 2.011	1 ~ 2
克州	1.524	1.412	1.254	1.431	1.254 ~ 1.524	1
喀什地区	2.312	1.945	1.962	2.132	1.962 ~ 2.312	2
和田地区	1.567	1.462	1.456	1.632	1.462 ~ 1.632	1
塔里木河流域	1.945	1.892	1.996	2.231	1.892 ~ 2.231	2

2.4 综合评价结果分析

比较 4 组模型参数得到的“水资源承载力”级别特征值可以看出,通过变换模型参数得到的级别特征值结果基本稳定在一个较小的级别范围内,评价结果稳定,模型可信度高。根据表4的评价结果可知,塔里木河流域的水资源承载能力综合评价为 2 级,水资源开发利用已有相当的规模,但仍有一定的开发潜力。流域内各行政区中,巴州和喀什地区的水资源承

载力的水资源承载能力综合评价为 2 级,不容乐观,因此必须加强水资源管理,提高水资源利用率,增强节水意识,以提高水资源承载力。而对克州和和田地区情况乐观一些,评价等级为 1 级,水资源开采的空间还比较大,可为今后的经济发展、环境保护提供一定水源。阿克苏地区的评价等级为 1—2,还有一定的开采空间。总的来说,今后本流域在水资源进一步开发上,应由耗水型经济结构向节水型经济结构转

变。同时,要加强水资源的综合管理,协调好上下游之间的关系,特别注重节约用水,以便科学、合理地利用流域内有限的水资源。

3 结论

(1) 可变模糊评价模型与方法能够科学、合理地确定样本指标对各级指标标准区间的相对隶属度、相对隶属函数,并且能够通过变化模型及其参数,最终合理地确定出样本的评价等级。本研究将可变模糊评价方法应用到塔里木河流域水资源承载能力综合评价中,所得结果可信度高。

(2) 水资源是塔里木河流域社会经济发展和生态环境建设最主要的制约因素,必须从战略高度来认识塔里木河流域水资源短缺问题的严重性。应该加大流域水利工程的投资力度,加强水资源的综合管理,协调好上下游之间、源流与干流之间的关系,由耗水型经济结构向节水型经济结构转变;发展高效生态农业,实施地表水与地下水联合开发利用,调整产业结构,建立流域水资源决策支持系统,以扭转塔里木河流域水资源面临的严重危机,减轻流域水资源开发过程中生态与经济的矛盾。

[参 考 文 献]

- [1] 朱一中,夏军,谈戈. 关于水资源承载力理论与方法的研究[J]. 地理科学进展, 2002, 21(2): 180-188.
- [2] 夏军. 水资源安全的度量: 水资源承载力的研究与挑战[J]. 海河水利, 2002(2): 5-7.
- [3] 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: 94-111.
- [4] 惠泱河,蒋晓辉,黄强. 水资源承载力评价指标体系研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 30-34.
- [5] 李令跃,甘泓. 试论水资源合理配置和承载力概念与可持续发展之间的关系[J]. 水科学进展, 2000, 11(3): 307-313.
- [6] 龙腾锐,姜文超. 水资源(环境)承载力的研究进展[J]. 水科学进展, 2003, 14(2): 249-254.
- [7] Falkenmark M. The massive water scarcity now threatening Africa: Why isn't it being addressed[J]. Ambio, 1989, 18(2): 12-18.
- [8] 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): 168-173.
- [9] 姚治君,王建华,江东,等. 区域水资源承载力的研究进展及其理论分析[J]. 水科学进展, 2002, 13(1): 111-115.
- [10] 苑涛,何秉宇. 干旱区水资源承载力分析及应用[J]. 水土保持研究, 2007, 14(3): 341-346.
- [11] 王家骥,姚小红,李京荣,等. 黑河流域生态承载力估测[J]. 环境科学研究, 2000, 13(2): 44-48.
- [12] 陈冰,李丽娟,郭怀成,等. 柴达木盆水资源承载力方案系统分析[J]. 环境科学, 2000, 21(3): 16-21.
- [13] 李丽娟,郭怀成,陈冰,等. 柴达木盆地水资源承载力研究[J]. 环境科学, 2000, 21(2): 20-23.
- [14] 张鑫,王纪科,蔡焕杰,等. 区域地下水水资源承载力综合评价研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(3): 24-27.
- [15] 王学会,卢琦,李保国. 应用模糊综合评判方法对青海省水资源承载力评价研究[J]. 中国沙漠, 2005, 25(6): 944-949.
- [16] 徐中民. 情景基础的水资源承载力多目标分析理论及应用[J]. 冰川冻土, 1999, 21(2): 100-106.
- [17] 贾嵘,蒋晓辉,薛惠峰,等. 缺水地区水资源承载力模型研究[J]. 兰州大学学报: 自然科学版, 2000, 36(2): 114-121.
- [18] 陈守煜. 水资源与防洪系统可变模糊集理论与方法[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2005: 221-226.
- [19] 方浩,赵雷,石娜. 区域水资源的供需时序协调关系分析[J]. 水资源与水工程学报, 2004, 15(4): 52-54.
- [20] 陈守煜. 可变模糊集理论哲学基础[J]. 大连理工大学学报: 社会科学版, 2005, 26(1): 53-57.
- [21] 陈亚宁,张小雷,祝向民. 新疆塔里木河下游断流河道输水的生态效应分析[J]. 中国科学(D): 地球科学, 2004, 34(5): 475-482.
- [22] 陈亚宁,徐宗学. 全球气候变化对新疆塔里木河流域水资源的可能性影响[J]. 中国科学(D): 地球科学, 2004, 34(11): 1047-1053.
- [23] 宋郁东,樊自立,雷志栋,等. 中国塔里木河水资源与生态问题研究[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社, 1999: 216-244.
- [24] 杨丽雯,何秉宇,张力猛. 基于ESV对塔里木河流域生态环境问题成因的重新认识[J]. 干旱区资源与环境, 2004, 18(5): 24-28.
- [25] 水利电力部水文局. 中国水资源评价[M]. 北京: 水利电力出版社, 1987: 78-103.
- [26] 许有鹏. 干旱地区水资源承载能力综合评价研究[J]. 自然资源学报, 1993, 8(3): 230-234.
- [27] 郜慧,金辉. 基于AHP和模糊综合评价的区域水资源可持续利用评价: 以广东省江门市为例[J]. 水资源与水工程学报, 2007, 18(3): 50-55.