

DOI:10.3969/j.issn.1004-6933.2014.02.003

基于可变模糊集理论的宿州市抗旱能力评价

于艳青^{1,2}, 欧阳蔚^{1,2}, 金菊良^{1,2}, 徐勇俊^{1,2}, 汤瑞琪^{1,2}

(1. 合肥工业大学土木与水利工程学院, 安徽 合肥 230009;
2. 合肥工业大学水资源与环境系统工程研究所, 安徽 合肥 230009)

摘要:以淮北平原宿州市为例,在分析影响区域抗旱能力主要因素的基础上,建立抗旱评价指标体系,应用可变模糊集模型对宿州市2007年的抗旱能力进行综合评价。结果表明,宿州市抗旱能力水平较弱。在分析宿州市自然特征以及发展情况的基础上,对提高宿州市抗旱能力水平提出了相应的政策建议。

关键词:抗旱能力评价;可变模糊集;宿州市

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2014)02-0011-06

Assessment of drought resistance ability of Suzhou City based on variable fuzzy set theory

YU Yanqing^{1,2}, OUYANG Wei^{1,2}, JIN Juliang^{1,2}, XU Yongjun^{1,2}, TANG Ruiqi^{1,2}

(1. School of Civil Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China;
2. Institute of Water Resources and Environmental Systems Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: Taking Suzhou City in the Huaibei Plain as a case study, a drought resistance assessment index system was established based on analysis of the main factors that influence the regional drought resistance ability. A model of the variable fuzzy set was used to carry out a comprehensive evaluation of the drought resistance ability of Suzhou City, in 2007. The results show that the city has weak drought resistance. On the basis of analysis of the natural features and the development of Suzhou City, specific policy recommendations are proposed in order to improve the drought resistance ability of the city.

Key words: assessment of drought resistance ability; variable fuzzy set; Suzhou City

抗旱能力是指被研究区域内防御、抵抗和减轻干旱灾害风险等人类活动的综合能力,主要包括水利工程、生产技术、组织管理和社会经济发展水平等方面的能力^[1-4]。综合评价区域抗旱能力可为区域旱灾风险管理、抗旱决策、抗旱应急方案制定等提供支撑和重要依据。当前国内外关于抗旱能力评价的研究尚处于初步发展阶段^[5],且多集中于农牧业方面,如邓建伟等^[1]采用单目标分析法对甘肃省农业抗旱能力进行评价,顾颖等^[2]采用模糊聚类方法对中国31个省的农业抗旱能力进行等级评定,云小林^[3]应用模糊决策方法对内蒙古牧区抗旱能力进行研究,伊吉美^[6]应用模糊综合评价方法对大连市的农业旱灾脆弱性进行整体评价,张欢^[7]采用多层次多指标模糊综合评判方法对河北省农业抗旱能力进行综合评价;美国联邦紧急事务所联合国家建筑科学研究所等科研机构共同研制了一套自然灾害损失评估系统——HAZUS系统^[8],澳大利亚紧急事务部门和气象部门共同开发了一套对直接经济损失和间接经济损失进行评估的灾害评估工具——EMA^[9]。但是对于区域的整体抗旱能力进行评价,

基金项目:水利部公益性行业科研专项(201001043);国家自然科学基金(71273081, 51109052);中国气象局成都高原气象开放实验室基金(LPM2011002);水利部重大基建前期项目

作者简介:于艳青(1991—),女,硕士研究生,研究方向为水资源系统工程。E-mail: yuyq2008laoyu@126.com

并据此提出具体提高抗旱能力措施方面的研究尚少涉及。为此,笔者以淮北平原宿州市为例,在分析影响区域抗旱能力主要因素的基础上,建立区域抗旱能力评价指标体系^[10-13],采用可变模糊集方法^[11-12],建立可变模糊集模型^[14-15],应用该模型对宿州市抗旱能力进行了综合评价,对于提高宿州市抗旱能力提出了具体的政策建议。

1 可变模糊集评价模型的建立

在确定识别抗旱能力样本数目的基础上,以可变模糊集理论为基础,建立可变模糊集模型,该模型的评价标准不是点值形式而是区间形式^[11],可很好地解决评价等级标准为区间形式的评价识别问题。模型建立的具体步骤如下:

步骤1:确定对抗旱能力作识别的样本数目以及影响样本抗旱能力的指标体系,确立样本集矩阵、指标标准特征值矩阵^[14]。设对抗旱能力作识别的样本共有 n 个样本集合 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, 第 j 个样本的特性用 m 个指标特征值 $x_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{mj})^T$ 表示,则样本集矩阵可表示为 $X = (x_{ij})_{m \times n}$, 其中 x_{ij} 为样本 j 指标 i 的特征值; $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。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 $Y = (y_{ih})_{m \times c}$, 其中 y_{ih} 为级别 h 指标 i 的标准特征值, $h = 1, 2, \dots, c$ 。

步骤2:参照指标标准值矩阵和待评价区域的实际情况,确定抗旱能力可变集合的吸引(为主)域矩阵与范围域矩阵^[15]:

$$I_{ab} = ([a_{ih}, b_{ih}]) \quad (1)$$

$$I_{cd} = ([c_{ih}, d_{ih}]) \quad (2)$$

式中,吸引(为主)域矩阵表示实轴上模糊可变集合的吸引域,即 $0 < D_{\underline{A}}(x_{ij})_h \leq 1$ 区间,范围域矩阵为包含 x_{ij} 的某一上、下界范围域区间。

步骤3:根据抗旱能力分为 c 个级别的实际情况确定吸引(为主)域 $[a_{ih}, b_{ih}]$ 中 $D_{\underline{A}}(x_{ij})_h = 1$ 的点值 M_{ih} 的矩阵

$$M = (M_{ij}) \quad (3)$$

步骤4:依据式(1)~(3)判断样本特征值 x_{ij} 在 M_{ih} 点的左侧还是右侧,计算差异度 $D_{\underline{A}}(x_{ij})_h$, 由于

$$D_{\underline{A}}(u) = \mu_{\underline{A}}(u) - \mu_{\underline{A}}^c(u)$$

$$A_- = \{u \mid u \in U, -1 \leq D_{\underline{A}}(u) < 0\}$$

$$\mu_{\underline{A}}(x_{ij})_h + \mu_{\underline{A}}^c(x_{ij})_h = 1,$$

$$\text{所以 } \mu_{\underline{A}}(x_{ij})_h = (1 + D_{\underline{A}}(x_{ij})_h) / 2 \quad (4)$$

由式(4)计算指标对 h 级的相对隶属度 $\mu_{\underline{A}}(x_{ij})_h$ 矩阵 $[U_h] = (\mu_{\underline{A}}(x_{ij})_h)$ 。其中, x 落入 M 点

左侧时的相对差异函数模型^[15]可为

$$\begin{cases} D_{\underline{A}}(u) = \left(\frac{x-a}{M-a}\right)^\beta & x \in [a, M] \\ D_{\underline{A}}(u) = -\left(\frac{x-a}{c-a}\right)^\beta & x \in [c, a] \end{cases} \quad (5)$$

x 落入 M 点右侧时的相对差异函数模型^[15]为

$$\begin{cases} D_{\underline{A}}(u) = \left(\frac{x-b}{M-b}\right)^\beta & x \in [M, b] \\ D_{\underline{A}}(u) = -\left(\frac{x-b}{d-b}\right)^\beta & x \in [b, d] \end{cases} \quad (6)$$

$$D_{\underline{A}}(u) = -1 \quad x \notin (c, d) \quad (7)$$

式中, β 为非负指数,通常可取 $\beta = 1$ 。

步骤5:应用文献[10]中提出的模糊评价模型进行综合评价。

$$u'_{hj} = 1 / \left\{ 1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [w_i (1 - \mu_{\underline{A}}(x_{ij})_h)]^p}{\sum_{i=1}^m (w_i \mu_{\underline{A}}(x_{ij})_h)^p} \right\}^{\alpha/p} \right\} \quad (8)$$

式中: u'_{jh} 为非归一化的综合相对隶属度; α 为模型优化准则参数; w_i 为指标权重; m 为识别指标数; p 为距离参数($p = 1$ 为海明距离, $p = 2$ 为欧氏距离)。

由式(8)可得到非归一化的综合相对隶属度矩阵

$$U' = (u'_{hj}) \quad (9)$$

将式(9)归一化处理,得综合相对隶属度矩阵

$$U = (u_{hj}) \quad (10)$$

其中

$$u_{hj} = u'_{hj} / \sum_{h=1}^c u'_{hj}$$

步骤6:根据模糊概念在分级条件下最大隶属度原则的不适用性,应用级别特征值^[16-18]对样本进行级别评价。

$$H = (1, 2, \dots, c) \cdot U \quad (11)$$

2 宿州市抗旱能力综合评价

2.1 评价指标体系的建立

宿州市位于淮河以北、安徽省最北部,属北温带半湿润季风气候,四季分明,呈现出较为明显的南北方过渡型气候。宿州市境内多年平均降水量为 904 mm,市辖区年平均气温为 14.4℃,市境年平均蒸发量为 1 159.7 mm^[19]。近年来,工农业生产年用水量达 1 000 万 m³。由于近十年来水环境状况明显恶化,水资源十分紧缺,旱灾一直是制约宿州市国民经济和社会发展的主要因素之一^[20]。

笔者在分析宿州市抗旱能力影响因素的基础上,建立了宿州市抗旱能力评价指标体系、等级标准^[10,16]及 2007 年各指标值,如表 1 所示。

表 1 宿州市抗旱能力评价指标体系、等级标准及 2007 年各指标值

指标名称	指标符号	抗旱能力等级					宿州市 2007 年 各指标值
		非常弱	较弱	一般	较强	非常强	
相对湿度指数	x_1	~ -0.01	-0.01 ~ 0.10	0.10 ~ 0.25	0.25 ~ 0.35	0.35 ~	0.15
水资源量(m ³ /人)	x_2	0 ~ 1000	1 000 ~ 2 000	2 000 ~ 3 000	3 000 ~ 4 000	4 000 ~	1 045.70
耕地占有水资源量(m ³ /km ²)	x_3	0 ~ 3.5	3.5 ~ 6.0	6.0 ~ 9.0	9.0 ~ 12.0	12.0 ~	1.21
种植结构(%)	x_4	0 ~ 50	50 ~ 65	65 ~ 80	80 ~ 95	95 ~	99.19
耕地灌溉率(%)	x_5	0 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 75	75 ~ 95	95 ~	73.62
水库调蓄率(%)	x_6	0 ~ 20	20 ~ 40	40 ~ 55	55 ~ 70	70 ~	1.21
旱涝保收率(%)	x_7	0 ~ 60	60 ~ 70	70 ~ 80	80 ~ 95	95 ~	60.51
人均 GDP(万元)	x_8	0 ~ 1.3	1.3 ~ 2.2	2.2 ~ 3.0	3.0 ~ 3.8	3.8 ~	0.74
水利工程投资(万元/km ²)	x_9	0 ~ 3	3 ~ 5	5 ~ 8	8 ~ 10	10 ~	0.58
城市化率(%)	x_{10}	0 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50	50 ~	12.82
万元工业 GDP 耗水量(m ³ /万元)	x_{11}	540 ~	400 ~ 540	270 ~ 400	140 ~ 270	0 ~ 140	184.96
粮食耗水量(m ³ /kg)	x_{12}	1 ~	0.75 ~ 1	0.50 ~ 0.75	0.30 ~ 0.50	0.0 ~ 0.30	0.36
灌溉水利用系数	x_{13}	0.0 ~ 0.35	0.35 ~ 0.45	0.45 ~ 0.55	0.55 ~ 0.65	0.65 ~	0.53
节水灌溉率(%)	x_{14}	0 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 60	60 ~	31.03
地下水、墒情、蒸发观测站数目/(个)	x_{15}	0 ~ 15	15 ~ 30	30 ~ 45	45 ~ 60	60 ~	46
抗旱设备固定资产(万元/km ²)	x_{16}	0 ~ 0.8	0.8 ~ 1.6	1.6 ~ 2.4	2.4 ~ 3.2	3.2 ~	0.12
抗旱应急备用水源供水能力(万亩/d)	x_{17}	0 ~ 0.6	0.6 ~ 1.2	1.2 ~ 1.8	1.8 ~ 2.4	2.4 ~	1.18
抗旱浇地率(%)	x_{18}	0 ~ 7	7 ~ 14	14 ~ 21	21 ~ 28	28 ~	0.66
农业应急浇水能力(万 m ³ /km ²)	x_{19}	0 ~ 3.6	3.6 ~ 7.2	7.2 ~ 10.8	10.8 ~ 14.4	14.4 ~	0.87
饮用水应急送水能力(万 m ³ /km ²)	x_{20}	0 ~ 0.7	0.7 ~ 1.5	1.5 ~ 2.2	2.2 ~ 3.0	3.0 ~	0.58

注:其中:种植结构=(1-水稻播种面积/总播种面积)×100%;城市化率采用人口统计学指标即城镇人口占总人口(包括农业与非农业)的比重;灌溉水利用系数表示一次灌水期间被农作物利用的净水量与水源渠首处总引进水量的比值。

2.2 抗旱能力评价

该评价实例中只有宿州市 1 个样本,即 $j=1$;有 20 个指标,即 $i=1,2,\cdots,20$;有 5 个评价等级,即 $h=1,2,\cdots,5$ 。根据指标特征值与评价等级标准确定宿州市抗旱能力可变集合的吸引(为主)域矩阵 I_{ab} 、范

围域矩阵 I_{cd} 和点值 M_{ih} 的矩阵 M (按照各指标 2 级和 4 级标准区间的长度,从 1、2 和 4、5 指标标准的区间分界点开始分别进行外延,得到指标标准值的下限和上限)分别为

$$I_{ab} = \begin{bmatrix} [-0.1, -0.01] & [-0.01, 0.1] & [0.10, 0.25] & [0.25, 0.35] & [0.35, 0.45] \\ [0, 1000] & [1000, 2000] & [2000, 3000] & [3000, 4000] & [4000, 5000] \\ [0, 3.0] & [3.0, 6.0] & [6.0, 9.0] & [9.0, 12.0] & [12.0, 15.0] \\ [0, 50] & [50, 65] & [65, 80] & [80, 95] & [95, 110] \\ [0, 30] & [30, 50] & [50, 75] & [75, 95] & [95, 110] \\ [0, 20] & [20, 40] & [40, 55] & [55, 70] & [70, 90] \\ [0, 60] & [60, 70] & [70, 80] & [80, 95] & [95, 110] \\ [0, 1.3] & [1.3, 2.2] & [2.2, 3.0] & [3.0, 3.8] & [3.8, 4.5] \\ [0, 3] & [3, 5] & [5, 8] & [8, 10] & [10, 12] \\ [0, 20] & [20, 30] & [30, 40] & [40, 50] & [50, 60] \\ [540, 680] & [400, 540] & [270, 400] & [140, 270] & [0, 140] \\ [1.00, 1.25] & [0.75, 1.00] & [0.50, 0.75] & [0.30, 0.50] & [0, 0.30] \\ [0, 0.35] & [0.35, 0.45] & [0.45, 0.55] & [0.55, 0.65] & [0.65, 0.75] \\ [0, 20] & [20, 30] & [30, 50] & [50, 60] & [60, 70] \\ [0, 15] & [15, 30] & [30, 45] & [45, 60] & [60, 75] \\ [0, 0.8] & [0.8, 1.6] & [1.6, 2.4] & [2.4, 3.2] & [3.2, 4.0] \\ [0, 0.6] & [0.6, 1.2] & [1.2, 1.8] & [1.8, 2.4] & [2.4, 3.0] \\ [0, 7] & [7, 14] & [14, 21] & [21, 28] & [28, 35] \\ [0, 3.6] & [3.6, 7.2] & [7.2, 10.8] & [10.8, 14.4] & [14.4, 18.0] \\ [0, 0.7] & [0.7, 1.5] & [1.5, 2.2] & [2.2, 3.0] & [3.0, 3.8] \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{I}_{cd} = \begin{bmatrix} [-0.10, 0.10] & [-0.10, 0.25] & [-0.01, 0.35] & [0.10, 0.45] & [0.25, 0.45] \\ [0, 2000] & [0, 3000] & [1000, 4000] & [2000, 5000] & [3000, 5000] \\ [0, 6.0] & [0, 9.0] & [3.0, 12.0] & [6.0, 15.0] & [9.0, 15.0] \\ [0, 65] & [0, 80] & [50, 95] & [65, 110] & [80, 110] \\ [0, 50] & [0, 75] & [30, 95] & [50, 110] & [75, 110] \\ [0, 40] & [0, 55] & [20, 70] & [40, 90] & [55, 90] \\ [0, 70] & [0, 80] & [60, 95] & [70, 110] & [80, 110] \\ [0, 2.2] & [0, 3.0] & [1.3, 3.8] & [2.2, 4.5] & [3.0, 4.5] \\ [0, 5] & [0, 8] & [3, 10] & [5, 12] & [8, 12] \\ [0, 30] & [0, 40] & [20, 50] & [30, 60] & [40, 60] \\ [400, 680] & [270, 680] & [140, 540] & [0, 400] & [0, 270] \\ [0.75, 1.25] & [0.50, 1.25] & [0.30, 1.0] & [0, 0.75] & [0, 0.50] \\ [0, 0.45] & [0, 0.55] & [0.35, 0.65] & [0.45, 0.75] & [0.55, 0.75] \\ [0, 30] & [0, 50] & [20, 60] & [30, 70] & [50, 70] \\ [0, 30] & [0, 45] & [15, 60] & [30, 75] & [45, 75] \\ [0, 1.6] & [0, 2.4] & [0.8, 3.2] & [1.6, 4.0] & [2.4, 4.0] \\ [0, 1.2] & [0, 1.8] & [0.6, 2.4] & [1.2, 3.0] & [1.8, 3.0] \\ [0, 14] & [0, 21] & [7, 28] & [14, 35] & [21, 35] \\ [0, 7.2] & [0, 10.8] & [3.6, 14.4] & [7.2, 18.0] & [10.8, 18.0] \\ [0, 1.5] & [0, 2.2] & [0.7, 3.0] & [1.5, 3.8] & [2.2, 3.8] \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} -0.10 & -0.01 & 0.18 & 0.35 & 0.45 \\ 0 & 1000 & 2500 & 4000 & 5000 \\ 0 & 3 & 7.5 & 12 & 15 \\ 0 & 50 & 72.5 & 95 & 110 \\ 0 & 30 & 62.5 & 95 & 110 \\ 0 & 20 & 47.5 & 70 & 90 \\ 0 & 60 & 75 & 95 & 110 \\ 0 & 1.3 & 2.6 & 3.8 & 4.5 \\ 0 & 3 & 6.5 & 10 & 12 \\ 0 & 20 & 35 & 50 & 60 \\ 680 & 540 & 335 & 140 & 0 \\ 1.25 & 1 & 0.63 & 0.3 & 0 \\ 0 & 0.35 & 0.5 & 0.65 & 0.75 \\ 0 & 20 & 40 & 60 & 70 \\ 0 & 15 & 37.5 & 60 & 75 \\ 0 & 0.8 & 2.0 & 3.2 & 4.0 \\ 0 & 0.6 & 1.5 & 2.4 & 3.0 \\ 0 & 7 & 17.5 & 28 & 35 \\ 0 & 3.6 & 9 & 14.4 & 18 \\ 0 & 0.7 & 1.85 & 3.0 & 3.8 \end{bmatrix}$$

根据矩阵 $\mathbf{I}_{ab}$ 、 $\mathbf{I}_{cd}$ 与 $\mathbf{M}$ 判断样本特征值 x_i 在 M_{ih} 点的左侧还是右侧, 据此选用式(5)~(7)中的一种算法计算差异度, 再由式(4)计算指标对 h 级的相对隶属度 $\mu_{\bar{A}}(x_i)_h$ [11-12]。现以人均水资源量 ($i=2$) 指标分别对 1~5 级 ($h=1\sim5$) 的相对隶属度 $\mu_{\bar{A}}(x_2)_h$ 为例对这一求解过程作一说明。

由指标特征值 x_2 , 再由吸引(为主)域矩阵 $\mathbf{I}_{ab}$ 、范围域矩阵 $\mathbf{I}_{cd}$ 和矩阵 $\mathbf{M}$ 得 $h=1\sim5$ 的吸引(为主)域向量、范围域向量与点值 M_{2h} 向量分别为

$$[a_{2h}, b_{2h}] = \begin{bmatrix} [0, 1000] & [1000, 2000] \\ [2000, 3000] & [3000, 4000] & [4000, 5000] \end{bmatrix}$$

$$[c_{2h}, d_{2h}] = \begin{bmatrix} [0, 2000] & [0, 3000] & [1000, 4000] \\ [2000, 5000] & [3000, 5000] \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{M}_{2h} = [0, 1000, 2500, 4000, 5000]$$

$x_2 = 1045.7$, $a_{21} = 0$, $b_{21} = 1000$, $c_{21} = 0$, $d_{21} = 2000$, $m_{21} = 0$; 由此判断 x_2 位于 b_{21} 与 d_{21} 之间, $D_{\bar{A}}(x_2)_1 = -\frac{x_2 - b_{21}}{d_{21} - b_{21}} = -0.046$; 同理得到 $D_{\bar{A}}(x_2)_2 = 0.954$, $D_{\bar{A}}(x_2)_3 = -0.954$, $D_{\bar{A}}(x_2)_4 = -1$, $D_{\bar{A}}(x_2)_5 = -1$; 由式(4)得到 $i=2$ 对 1~5 级的相对隶属度向量为

$$[\mathbf{U}_h] = [0.478, 0.977, 0.023, 0, 0]$$

采用基于加速遗传算法的层次分析法 [10, 16] 计算得到 20 个指标的权向量为

$$\mathbf{W} = (0.072, 0.065, 0.063, 0.049, 0.086, 0.091, 0.077, 0.051, 0.062, 0.037, 0.033, 0.038, 0.046, 0.033, 0.033, 0.032, 0.039, 0.030, 0.030, 0.032)^T$$

代入式(8), 这里取 $\alpha=2, p=1$, 即

$$u'_h = 1 / \left\{ 1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^{20} [w_i (1 - \mu_{\bar{A}}(x_i)_h)]}{\sum_{i=1}^{20} (w_i \mu_{\bar{A}}(x_i)_h)} \right\}^2 \right\}$$

得到相对隶属度矩阵

$$\mathbf{U}' = (0.876, 0.704, 0.786, 0.781, 0.789)^T$$

归一化后得到隶属度矩阵为

$$U = (0.222, 0.179, 0.200, 0.198, 0.201)^T$$

由式(10)可计算级别特征值 H 。

保持本文计算得到的权重值不变,改变模型参数,分别采用 $\alpha = 1, p = 1; \alpha = 1, p = 2; \alpha = 2, p = 1; \alpha = 2, p = 2$ 等 4 种参数变换模型^[14],分别计算宿州市抗旱能力的评价等级,结果见表 2。

表 2 参数变化情况下评价结果

模型参数 变化情况	U	H	评价 等级
$\alpha = 1, p = 1$	(0.366, 0.235, 0.205, 0.142, 0.052)	2.277	2
$\alpha = 2, p = 1$	(0.222, 0.179, 0.200, 0.198, 0.201)	2.839	2
$\alpha = 1, p = 2$	(0.302, 0.236, 0.216, 0.157, 0.089)	2.496	2
$\alpha = 2, p = 2$	(0.434, 0.248, 0.200, 0.093, 0.025)	2.028	2

由表 2 可见,当参数模型变化时,抗旱能力评价等级的特征值有些许微动,但各评价区域水资源承载能力的级别特征值基本稳定在一个较小的级别范围内,说明本文采用的计算方法较为可信。

3 政策建议

宿州市位于安徽省淮河以北的平原上,水资源贫乏而需求量大,且存在长期大规模集中超采地下水的现象。城市发展与农业灌溉之间争水矛盾非常突出,但又缺乏有效的解决措施,工程与非工程抗旱措施的落实因受当地经济社会发展水平制约而相对落后,导致宿州市抗旱能力评价结果为较弱等级。为有效地提高宿州市的抗旱能力,必须对影响抗旱能力水平的指标进行改善,例如,改善种植结构,合理调整粮食作物与绿化作物的种植比例;提高耕地灌溉率,扩大有效灌溉面积,减少水资源的浪费;通过合理调度提高水库水位标准,增大水库总库容,有效拦蓄洪水,在干旱时期增加水库泄水量^[20];扩大第二产业规模,招商引资,提高人均 GDP;增加水的循环利用;增加地下水、墒情、蒸发站的测量站点数目^[21];保证应急供应水源的水质等方面。另外还可以加大投入,对现有河道进行治理,维修和兴建节制闸,进行阶梯式拦蓄地表径流,增加蓄水量^[22]。目前,该市有的县区机井分布不合理,有的地方不但地表水缺乏,甚至连机井都没有,因此,应加大力度加快机井建设,扩大井灌面积,提高抗大旱能力。采用地表防渗渠、喷灌、低压管道灌溉可使农作物增产、节水、节能、节地。

4 结 论

应用可变模糊集模型进行宿州市抗旱能力评价,详细论述了模型的建立、计算步骤,评价结果表明,宿州市抗旱能力等级为 2 级、抗旱能力较弱。最后,主要从工程措施和非工程措施两方面提出提高

宿州市抗旱能力水平的政策建议,认为按照宿州市目前的发展状况以及自然概况,提出的措施还是简单、易行、可靠的。

参考文献:

[1] 邓建伟,金彦兆,李莉. 甘肃省农业抗旱能力综合评价 [J]. 人民长江, 2010, 41 (12): 105-107. (DENG Jianwei, JIN Yanzhao, LI Li. Comprehensive evaluation on agriculture drought-resistance ability of Gansu Province [J]. Yangtze River, 2010, 41 (12): 105-107. (in Chinese))

[2] 顾颖,倪深海,王会容. 中国农业抗旱能力综合评价 [J]. 水科学进展, 2005, 16 (5): 700-704. (GU Ying, NI Shenhai, WANG Huirong. Comprehensive evaluation on ability of coping with agriculture drought in China [J]. Advances in Water Science, 2005, 16 (5): 700-704. (in Chinese))

[3] 云小林. 内蒙古牧区旱灾演变及抗旱能力评价研究 [D]. 北京:中国农业科学院, 2006.

[4] 费振宇,蒋尚明,金菊良,等. 安徽省易旱地区抗旱能力评价 [J]. 水电能源科学, 2012, 30 (7): 29-33. (FEI Zhenyu, JIANG Shangming, JIN Juliang, et al. Assessment of drought prevention and resistance ability for Anhui drought-prone regions [J]. Water Resources and Power, 2012, 30 (7): 29-33. (in Chinese))

[5] 傅伯杰. 中国旱灾的地理分布特征与灾情分析 [J]. 干旱区资源与环境, 1991, 12 (5): 1-8. (FU Bojie. Analysis of the geographical distribution and disastrous condition of drought in China [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 1991, 12 (5): 1-8. (in Chinese))

[6] 伊吉美. 大连市农业旱灾风险评价 [D]. 大连:辽宁师范大学, 2010.

[7] 张欢. 河北省农业旱灾分析及抗旱对策研究 [D]. 石家庄:河北师范大学, 2011.

[8] RICHARD R, HEIM RR. A review of twentieth-century drought indices used in the United States [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002, 83 (3): 1149-1165.

[9] SVOBODA M, LECOMTE D, HAYES M. The drought monitor [J]. Bulletin of the American Meterological Society, 2002, 83 (8): 1181-1190.

[10] 邹乐乐,金菊良,周玉良. 基于遗传模糊层次分析法的水库诱发地震综合风险评价指标体系筛选模型 [J]. 地震地质, 2010, 31 (4): 628-637. (ZOU Lele, JIN Juliang, ZHOU Yuliang. Filtration model of integrated risk assessment index system of reservoir induced seismicity based on fuzzy analytic hierarchy process and accelerating genetic algorithm [J]. Seismology and Geology, 2010, 31 (4): 628-637. (in Chinese))

[11] 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))
- [12] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京:国防工业出版社, 1998.
- [13] 陈守煜, 胡吉敏. 可变模糊评价法及在水资源承载能力评价中的应用[J]. 水利学报, 2006, 37(3): 264-271. (CHEN Shouyu, HU Jimin. Variable fuzzy assessment method and its application in assessing water resources carrying capacity[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(3): 264-271. (in Chinese))
- [14] 陈守煜, 李敏. 基于可变模糊集理论的水资源可再生能力评价模型[J]. 水利学报, 2006, 37(4): 431-435. (CHEN Shouyu, LI Min. Assessment model of water resources reproducible ability based on variable fuzzy set theory[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 37(4): 431-435. (in Chinese))
- [15] 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.
- [16] 金菊良, 吴开亚, 魏一鸣. 基于联系数的流域水安全评价模型[J]. 水利学报, 2008, 39(4): 1-9. (JIN Juliang, WU Kaiya, WEI Yiming. Connection number based assessment model for watershed water security[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 39(4): 1-9. (in Chinese))
- [17] 杨奇勇, 冯发林, 巢礼义. 多目标决策的农业抗旱能力综合评价[J]. 灾害学, 2007, 6(22): 5-8. (YANG Qiyong, FENG Falin, CHAO Liyi. Comprehensive evaluation on ability of coping with agriculture drought by using multi objective decision [J]. Journal of Catastrophology, 2007, 6(22): 5-8. (in Chinese))
- [18] 杨晓华, 杨志峰, 沈珍瑶, 等. 水资源可再生能力评价的遗传投影寻踪方法[J]. 水科学进展, 2004, 15(1): 73-76. (YANG Xiaohua, YANG Zhifeng, SHEN Zhenyao, et al. Genetic projection pursuit method for evaluating water resources reproducible ability [J]. Advances in Water Science, 2004, 15(1): 73-76. (in Chinese))
- [19] 马晓群, 刘慧敏, 吴文玉. 安徽省农业干旱综合监测技术及其业务化应用[J]. 气象, 2008, 34(4): 75-81. (MA Xiaqun, LIU Huimin, WU Wenyu. The agricultural drought composite monitoring technique and its operational application in Anhui Province [J]. Meteorological Monthly, 2008, 34(4): 75-81. (in Chinese))
- [20] 李德, 杨太明, 张学贤, 等. 2008—2009 年宿州秋冬低温干旱成因分析与影响评估[J]. 气象, 2011, 37(5): 615-621. (LI De, YANG Taiming, ZHANG Xuexian, et al. Causes and impact assessment of autumn and winter low temperature and drought from 2008 to 2009 in Suzhou [J]. Meteorological Monthly, 2011, 37(5): 615-621. (in Chinese))
- [21] 李国师, 刘兴华. 皖西北近 50 年旱涝研究[M]. 北京: 气象出版社, 1998: 14-18.
- [22] 纪冰, 程建. 21 世纪安徽抗旱减灾对策刍议[J]. 防汛与抗旱, 2002(3): 24-27.

(收稿日期: 2013-11-10 编辑: 徐娟)

(上接第 5 页)

- [20] 陈建生, 季弼宸, 刘震, 等. 内蒙古高原岱海接受远程深循环地下水补给的环境同位素及水化学证据[J]. 湖泊科学, 2013, 25(4): 521-530. (CHEN Jiansheng, JI Bichen, LIU Zhen, et al. Isotopic and hydro-chemical evidence on the origin of groundwater through deep-circulation ways in Lake Daihai region, Inner Mongolia Plateau[J]. Journal of Lake Sciences, 2013, 25(4): 521-530. (in Chinese))
- [21] 陈建生, 张志伟, 刘震, 等. 乌梁素海及周边地区水源补给关系同位素研究[J]. 水资源保护, 2013, 29(4): 12-18. (CHEN Jiansheng, ZHANG Zhiwei, LIU Zhen, et al. Isotope study of recharge relationships of water sources in Wuliangsuhai Lake [J]. Water Resources Protection, 2013, 29(4): 12-18. (in Chinese))
- [22] 独仲德, 赵英杰, 倪东旗, 等. 野外试验场黄土包气带水分入渗试验研究[J]. 辐射防护, 2000, 20(1/2): 107-109. (DU Zhongde, ZHAO Yingjie, NI Dongqi, et al. Study on water infiltration in Loess aerated zone at CIRP's field test site [J]. Radiation Protection, 2000, 20(1/2): 107-109. (in Chinese))
- [23] 王仕琴, 宋献方, 肖国强, 等. 基于氢氧同位素的华北平原降水入渗过程[J]. 水科学进展, 2009, 20(4): 495-500. (WANG Shiqin, SONG Xianfang, XIAO Guoqiang, et al. Appliance of oxygen and hydrogen isotope in the process of precipitation infiltration in the shallow groundwater areas of North China Plain[J]. Advances in Water Science, 2009, 20(4): 495-500. in Chinese))
- [24] 师永霞, 王贵玲, 高业新. 华北东部平原地下水垂向循环的水化学与同位素标示[J]. 水文地质工程地质, 2010, 37(4): 18-23. (SHI Yongxia, WANG Guiling, GAO Yexin. Indication of hydrochemistry and isotope for vertical circulation of groundwater in the North China Plain[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 2010, 37(4): 18-23. (in Chinese))
- [25] 柳富田, 苏小四, 侯光才, 等. CFCs 法在鄂尔多斯白垩系地下水盆地浅层地下水年龄研究中的应用[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(2): 298-302. (LIU Futian, SU Xiaosi, HOU Guangcai, et al. Application of CFCs methods in dating shallow groundwater in the Ordos cretaceous groundwater basin [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2007, 37(2): 298-302. (in Chinese))

(收稿日期: 2013-08-31 编辑: 高渭文)