

基于改进信息扩散理论的水资源短缺风险评价研究

杜向润^{1,2},冯民权¹,张建龙²

(1.西安理工大学教育部西北水资源与环境生态重点实验室,陕西 西安 710048; 2.山西省水利建设开发中心,山西 太原 030002)

摘 要:为有效评价区域水资源短缺风险状况,利用改进信息扩散理论确定风险评价等级,以模糊综合评价模型为基础,选取 23 项评价指标,对山西省水资源短缺风险进行评价研究。结果表明:太原、阳泉、忻州、晋中和山西全省的评价向量为 0.4461、0.5189、0.4258、0.4019 和 0.3685,风险等级为 3 级,属于中风险水平;长治和晋城的评价向量为 0.3896 和 0.3914,风险等级为 2 级,属于较低风险水平;大同、朔州、吕梁、临汾和运城的评价向量为 0.4818、0.4865、0.4576、0.4082 和 0.4597,风险等级为 4 级,属于较高风险水平。模型评价结果与各地区水资源开发利用实际基本相符,可为区域水资源开发利用提供指导。

关键词: 水资源短缺;风险评价;风险等级;信息扩散理论;模糊综合评价
中图分类号: TV213.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)06-0188-07

Evaluation research of water resources shortage risk based on improved information diffusion theory

DU Xiang-run^{1,2}, FENG Min-quan¹, ZHANG Jian-long²

(1. Key Laboratory of Northwest Water Resource and Environment Ecology of Ministry of Education, Xi'an University of Technology, Xi'an, Shaanxi 710048, China; 2. Water conservancy construction and development centers of Shanxi Province, Taiyuan, Shanxi 030002, China)

Abstract: In order to effectively evaluate the risk condition of water resources shortage, using the improved information diffusion theory to determine the risk evaluating degrees, selected 23 evaluating indexes, based on the fuzzy comprehensive evaluation model, carried out the evaluation research of water resource shortage risk for the Shanxi Province. The results showed that: The risk vectors of Taiyuan, Yangquan, Xinzhou, Jinzhong and whole Shanxi Province were 0.4461、0.5189、0.4258、0.4019 and 0.3685 respectively, the risk grade was third level which belonged medium risk level. The risk vectors of Changzhi and Jincheng were 0.3896 and 0.3914 which belonged lower risk level. The risk vectors of Datong, Shuozhou, Luliang, Linfen and Yuncheng were 0.4818、0.4865、0.4576、0.4082 and 0.4597 respectively, the risk grade was fourth level which belonged higher risk level. The model evaluation results were basically consistent with the local real situation of the water resources development and utilization, it can be provided the guidance for the exploitation and utilization of regional water resources.

Keywords: shortage of water resources; risk assessment; risk grade; information diffusion theory; fuzzy comprehensive evaluation

目前,由于气候变化和经济社会不断发展使得水资源短缺风险始终存在,水资源短缺是现阶段亟需解决的关键问题之一,研究水资源短缺风险的因子识别、危害等级划分和风险评价,提出相应的规避措施和制定水资源的风险管理制度,对社会的稳定、经济可持续发展战略的实施具有重要的意义。水资源短缺风险评价是风险识别和管理的基础,已引起社会和研究人员的广泛关注,也取得了丰富的研究成果^[1-3]。近年来有关风险评价的方法和模型层出不穷,主要有模糊综合评价法、层次分析法、极值统计学法、物元模型、灰色随机风险分析、德尔菲法、蒙特卡罗不确定性分析法、最大熵风险分析方法、支持

收稿日期:2014-05-05
基金项目:山西省水利科学技术项目
作者简介:杜向润(1962—),男,山西汾阳人,博士研究生,主要从事水资源系统工程研究。E-mail: zjlong007@126.com。
通信作者:冯民权(1964—),男,山西运城人,教授,博导,研究方向为计算水力学与环境水力学。E-mail: mqfeng@xaut.edu.cn。

向量机法和主成分分析法等^[4-7]。在风险评价方法上可分为定性、定量、定性定量综合评价三类。定量评价采用量化方法,但其结果易受样本数据的影响,具有一定的局限性,评价不易深入。定性评价采取经验判断与观察为主,具有一定的主观性,其结果不确定性强。由于水资源短缺风险的产生是一个复杂的系统,不同因素之间具有一定的关联性,各类风险影响的模糊因素不易被精确量化,风险系统也不易锁定;由于人类社会发展水平的限制,使得风险系统内部的因果机理不清;同时人们对风险系统观测得到的信息不全,可能还存在一些未知的或未预见的风险因素,风险信息的不完备性也是准确进行水资源短缺风险评价的重要瓶颈。

基于此,本研究在借鉴和吸收已有风险评价方法类型等相关成果的基础上,结合影响水资源短缺风险的指标特点,将改进的信息扩散模型引入水资源短缺风险评价研究,基于广义的数据样本结构分析,对区域水资源短缺风险进行评价,以期为水资源短缺风险管理提供一种有效的技术手段,也为水资源短缺风险评价问题提供一种解决途径。

1 信息扩散原理

近年来,信息扩散理论已经广泛应用于各个方面,其基本思想是对于一个给定的信息不充分的样本或者小样本而言,假定用该样本可估计一个在论域上的关系,当且仅当给定样本不完备时,必定存在一个相应的算子和适当的扩散函数,使得扩散估计比非扩散估计更靠近真实关系^[8-10]。

假设 U 是基础论域,令 $w = \{w_i\}$ 是一个可以用算子(模型)估计关系 R 的给定样本, l_i 为 U 上的监控点,记 $x = \varphi(w_i - l_i)$ 。如果估计是用 $FSD(X)$ 得到(FS 代表模糊样本),则此估计称为 R 的扩散估计,表示为: $\bar{R}[r, D(w)] = \{r[\mu(w_i, u)] \mid w_i \in w, u \in U\}$, r 是一个合理的算子, $\mu(w_i, u)$ 是 w 在 U 上的扩散函数。

假设当样本信息非完备时,一定存在一个相应的算子和一个合理的扩散函数 $\mu(x)$,可以使样本点上量值为 1 的信息按照扩散函数的量值扩散到监控点上去,使得扩散所得到的原始信息分布 $Q(l_i) = \sum_{i=1}^n \mu(x) = \sum_{i=1}^n \mu[\varphi(w_i - l)]$ 能更好地反映出知识样本在基础论域上的分布规律。

2 信息扩散模型改进

由于信息扩散过程是一个抽象的时间过程,可以假定信息扩散是在不太长的 t_0 时刻完成,并记作 $\sigma = \sigma(t_0)$,则对于指标的一个单值观测样本 y_j^s 在离信息注入点的信息可以扩散给论域 U 中的所有点,根据正态扩散函数,则得:

$$f_j^s(u_i) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(y_j^s - u_i)^2}{2h^2}\right) \tag{1}$$

式中, $f_j^s(u_i)$ 为信息扩散函数; y_j^s 为观测样本; u_i 为观测样本扩散的可能取值; h 为扩散系数,可根据样本集合中的最大值和最小值以及样本个数来确定 ($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$)。

基本信息扩散模型的正态信息扩散函数表现的是一种均匀扩散过程,但在实际应用中,由于风险信息等因素影响,使得各要素间可能存在某些非对称的结构或规律^[11]。信息扩散的非均匀性可将信息向周围均匀扩散的“圆”特征扩展为以“椭圆”为特征的非对称扩散函数,扩散慢的方向与椭圆的短轴对应,扩散快的方向与椭圆的长轴对应,得出如下形式的非对称扩散函数:

$$f(u) = \frac{1}{2\pi h_x h_y} \exp\left\{-\frac{1}{k^2 + 1} \left[\frac{1}{\lambda} \left(\frac{x}{\sqrt{2}h_x} + k \frac{y}{\sqrt{2}h_y} \right)^2 + \left(k \frac{x}{\sqrt{2}h_x} - \frac{y}{\sqrt{2}h_y} \right)^2 \right] \right\} \tag{2}$$

式中, λ 为伸缩系数(椭圆长轴与短轴比的平方),当 $\lambda = 1$ 时,式(2)退化为常规的“圆”均匀信息扩散函数; h 为扩散系数; x, y 为空间坐标变量; k 为椭圆长轴的斜率。

式(2)为二维正态信息扩散函数。对于多维(m 维)非对称扩散函数,去除单位的影响和量纲并拓展变形后可表示为:

$$f_j(u_i) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{m+1}{2}} h_y \prod_{i=1}^m h_{x_i}} \exp\left(-\sum_{i=1}^m \frac{x_i'^2}{\lambda_i} - y'^2\right) \tag{3}$$

当多维扩散方向与椭圆的短轴与长轴不重合时,经坐标变换后可得到多维非对称扩散函数,若扩散方向从原来的 x_i 轴变为与 x_i 轴夹角为 θ_i 的方向,则通过式(4)变换可得到新的非对称扩散方程,见式(5)。

$$\begin{cases} x_i' = x_i' \cos\theta_i + x_j' \sin\theta_i \\ x_j' = -x_i' \sin\theta_i + x_j' \cos\theta_i \end{cases} \tag{4}$$

$$f_j(u_i) = \frac{1}{(2\pi)^{\frac{m+1}{2}} h_y \prod_{i=1}^m h_{x_i}} \exp\left\{-\sum_{i=1}^m \frac{1}{\lambda_i} [x_i' \cos\theta_i - x_j' \sin\theta_i]^2 - y'^2\right\}$$

$$\sum_{j=i+1}^m \left(x'_j \sin \theta_j \sin \theta_i \prod_{k=1}^{j-1} \cos \theta_k \right) + y' \sin \theta_i \prod_{j=i+1}^m \cos \theta_j \Big]^2 - \left[- \sum_{j=i+1}^m \left(x'_j \sin \theta_i \prod_{k=1}^{j-1} \cos \theta_k \right) + y' \prod_{k=1}^m \cos \theta_k \right]^2 \Big\} \quad (5)$$

式中, $x' = \frac{x_i}{\sqrt{2}h_{x_i}}$, $y' = \frac{y}{\sqrt{2}h_{y_i}}$, $\sin \theta_i = \frac{k_i}{\sqrt{k_i^2 + 1}}$, $\cos \theta_i = \frac{1}{\sqrt{k_i^2 + 1}}$, 其它符号意义同上。斜率和伸缩系数可根据样本的非对称分布情况计算。

对于扩散函数分布而言,其相应的隶属度函数为:

$$\mu_j(u_i) = \frac{f_j(u_i)}{\sum_{i=1}^m f_j(u_i)} \quad (6)$$

当样本指标经信息扩散后,将其进行归一化处理,对于其取值为论域 U 中的任何一个时,则其观测值 u_i 的样本个数可表示为:

$$p_j(u_i) = q_j(u_i) / \sum_{j=1}^N q_j(u_i) \quad (7)$$

式中, $q_j(u_i) = \sum_{j=1}^N \mu_j(u_i)$ 。则样本指标值落在 u_i 处的频率为:

$$P(u \geq u_i) = \sum_{k=1}^i p_j(u_k) \quad (8)$$

式中, $P(u \geq u_i)$ 为所要求的风险估计值; $p_j(u_k)$ 为样本落在 u_k 处的频率值。

当 u_i 的分值达到某等级的风险标准值(对应的风险等级临界值)时,可得到各评价指标的风险评价等级。利用上述计算公式,可计算出各评价指标在其论域内每一个取值 u_i 处的超越概率 P 。

3 应用实例

山西省地处华北地区西部,黄土高原东翼,总面积为 15.6 万 km^2 。2010 年总人口 3574 万人,城镇化率 48%,地区生产总值 9201 亿元。山西省作为国家资源型经济转型综合配套改革试验区,经济的快速发展和生态环境的恢复与保护,都离不开水资源的支撑和保障(而现有供水体系抗御严重干旱和特大干旱能力不足)。历史上曾多次发生特大干旱尤其是连续特大干旱,造成极其惨重的损失和严重的社会经济倒退。为检测非对称信息扩散模型的效果,以山西省为例进行风险评价研究。

参考文献[4]和[12],在将水资源子系统、社会经济子系统、水资源储备和供水子系统以及生态环境子系统作为准则层的基础上,建立基本评价指标结构,具体见表 1。基本数据来源于山西省水资源公报、山西省水利统计年鉴和山西省统计年鉴。

在基于信息扩散理论的模糊综合评价模型中,各评价指标分值使用信息扩散方法进行计算,将单值样本变成集值样本,将一个传统的数据样本点变成一个模糊集合。对于原始信息,可按照一定的扩散规律向该域的所有点扩散,用隶属度表示每一点所得到的信息量。任何一点所得信息多则隶属度大,反之亦然。据此,区域中的所有原始信息都按照一定的扩散规律向区域 Ω 内的所有点扩散。模型构建的基本步骤如下:

第一步:设定水资源短缺风险因素的论域集,建立风险评价指标;

第二步:确定风险评价等级。对于评价指标的观测样本而言,可以将其携带的信息扩散给论域中的所有点,在确定模型基本参数的基础上,利用非对称扩散方程式(6)进行计算,各指标可以将其携带的信息扩散给论域集中的所有点,得到相应的隶属度函数,确定不同指标的分值。根据式(7)~(9)进而计算出各评价指标在其论域内每一个取值处的超越概率,得到各单个评价指标的风险评价等级;

第三步:确定风险评价指标的隶属度。利用三角函数作为隶属函数,根据第二步中不同风险评价指标的等级,按最大隶属度原则进行风险等级单指标评价,组成模糊关系矩阵;

第四步:熵值法确定权重。在确定各风险因素对评判结果的综合评判矩阵的基础上,进行归一化处理,分别计算评价因素的熵值和权重;

第五步:确定各风险因素对各评判结果的模糊综合评价向量。用第五步得出的评价指标的权重,按最大隶属度原则,对模糊综合评价的结果向量给出评价对象的综合评定结果。

利用山西省 11 个地(市)的数据作为信息扩散的样本确定风险评价等级,在根据指标的样本集合确定样本论域 U 及控制点的基础上,将样本中的最大值和最小值作为非对称扩散模型的长轴和短轴,可得到模型的伸缩系数;对于扩散方向与椭圆的长轴与短轴不重合的数值,可在计算样本斜率的基础上,根据扩散数据与 x 轴的夹角计算模型的伸缩系数。

按以下原则确定各指标的分级标准:5 级(风险很高):超越概率 $\geq 80\%$; 4 级(风险较高): $60\% \leq$ 超越概率 $\leq 80\%$; 3 级(风险偏高): $40\% \leq$ 超越概率 $\leq 60\%$; 2 级(一般风险): $20\% \leq$ 超越概率 $\leq 40\%$; 1 级(低风险):超越概率 $\leq 20\%$ 。利用式(6)~(9)计算山西省各地市评价指标的风险评价等级,见表 2。

表 1 水资源短缺风险评价指标及基础数据

Table 1 Water resources shortage risk assessment index and basic data

目标层 Target	准则层 Criterion	指标层 Index	太原 Taiyuan	大同 Datong	阳泉 Yangquan	长治 Changzhi	晋城 Jincheng	朔州 Shuozhou	忻州 Xinzhou	吕梁 Luliang	晋中 Jinzhong	临汾 Linfen	运城 Yuncheng
区域 水资源 短缺风 险 Water shortage risk	水资源 子系统 Water resources subsystem	人均水资源量/(10 ⁴ m ³ ·人 ⁻¹) Per capita water resources	0.0129	0.0256	0.0319	0.0368	0.0542	0.0415	0.0636	0.0348	0.0372	0.0357	0.0267
		径流系数 Runoff coefficient	0.0571	0.0917	0.2196	0.1200	0.1821	0.0824	0.1041	0.0873	0.0982	0.1257	0.0961
		产水系数 Water producing coefficient	0.1677	0.1426	0.1837	0.1529	0.2099	0.1647	0.1632	0.1244	0.1461	0.1421	0.1893
		干旱指数 Drought index	2.50	3.50	2.00	1.80	1.80	3.20	3.50	3.00	2.00	3.50	3.50
		公顷水资源量/(10 ⁴ m ³ ·hm ⁻²) Water resources quantity	0.0781	0.0603	0.0966	0.0885	0.1322	0.0669	0.0777	0.0619	0.0740	0.0764	0.0965
		水质达标率/% Water quality compliance rate	10.20	26.52	15.80	10.25	15.62	20.33	18.47	12.35	14.18	10.22	10.03
	社会经 济子系 统 The social and economic subsystem	人口密度/(万人·hm ⁻²) Population density	0.0608	0.0236	0.0303	0.0241	0.0244	0.0161	0.0122	0.0178	0.0199	0.0214	0.0361
		工业产值比重/% Proportion of industrial	44.91	48.69	59.46	68.25	67.19	56.56	54.05	71.24	57.00	62.61	44.34
		国民生产总值模数/(万元·km ⁻²) Modulus of GDP	2585	494	951	724	867	629	210	431	449	418	563
		需水模数/(10 ⁴ m ³ ·km ⁻²) Water requirement modulus	10.99	4.44	5.34	4.24	5.12	4.82	2.66	3.03	4.50	4.19	10.96
		万元 GDP 用水量/(m ³ ·万元 ⁻¹) Water consumption unit of GDP	41.38	84.73	43.19	56.10	54.21	73.11	122.51	63.05	96.80	91.46	192.59
	水源储 备和供 水子系 统 Water reserves and water supply subsystem	蓄水工程模数/(10 ⁴ m ³ ·km ⁻²) Storage modulus	13.13	5.56	1.58	7.60	7.85	1.78	0.94	2.44	4.32	2.29	1.33
		水源保持率/% Water retention rate	16.77	14.26	18.37	15.29	20.99	16.47	16.32	12.44	14.61	14.21	18.93
		人均供水量/(m ³ ·人 ⁻¹) Amount of water supply	181	179	135	164	208	297	225	155	223	189	313
		供水模数/(10 ⁴ m ³ ·km ⁻²) Modulus of water supply	10.70	4.18	4.11	4.06	4.70	4.60	2.57	2.72	4.35	3.83	10.84
		供水率/% Water supply rate	1.3691	0.6932	0.4249	0.4589	0.3555	0.6875	0.3310	0.4394	0.5869	0.5007	1.1238
		灌溉率/% Irrigation rate	37.55	35.65	16.05	22.58	23.10	40.51	20.73	23.64	41.62	30.05	63.10
		单方水投资/(元·m ⁻³) Average investment	0.7637	1.5789	2.1457	1.2141	1.2652	1.3443	0.9243	2.0338	1.8535	1.4886	0.8827
		水源达标率/% Water source compliance rate	47.5	35.5	42.1	41.6	43.7	40.8	40.2	42.8	41.5	35.2	32.1
	生态环 境子系 统 Ecological environment subsystem	污水回用率/% Wastewater reuse rate	36.44	14.50	15.95	27.92	26.65	14.30	2.34	16.08	5.43	0.60	4.45
		生态环境用水率/% Eco-water consumption rate	12.74	3.93	10.91	4.60	3.96	1.41	6.34	10.25	4.19	4.12	0.32
		生活污径比/% Sewage runoff ratio	63.29	46.70	49.59	44.43	42.69	38.98	30.82	38.76	38.06	45.78	42.24
		工业污径比/% Industrial sewage runoff ratio	0.20	0.32	0.25	0.28	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.38

由于模糊综合评价模型和熵值法计算权重的研究成果已经比较成熟,参照文献[13]水资源短缺风险模糊综合评价的方法进行计算,参照文献[14]采用改进熵值法确定指标权重(具体过程和步骤不再赘述),得到相应的权重值见表 3。

按照统计原理,各风险因素准则层的权重等于其所包含的各评价指标的权重之和,根据表 3 中各评价指标的权重系数即可算出准则层各风险因素的

权重,即水资源子系统、社会经济子系统、水源储备和供水子系统、生态环境子系统的权重分别为 0.3912、0.0247、0.2422 和 0.3419。

为比较直观地说明水资源短缺的风险程度,将风险等级分为低风险、较低风险、中风险、较高风险和高风险共 5 个等级,风险各级别按照综合评分值评判,评判标准和各级别风险特征见表 4,综合评价结果见表 5。

表 2 水资源短缺风险评价指标分级标准

Table 2 Classification standard of risk evaluation index for water resources shortage

指标层 Index	序号 Serial number	1 级 Grade one	2 级 Grade two	3 级 Grade three	4 级 Grade four	5 级 Grade five
人均水资源量/(10 ⁴ m ³ ·人 ⁻¹) Per capita water resources	a11	0 ~ 0.12	0.12 ~ 0.37	0.37 ~ 0.62	0.62 ~ 0.80	0.80 ~ 1
径流系数 Runoff coefficient	a12	0 ~ 0.19	0.19 ~ 0.42	0.42 ~ 0.65	0.65 ~ 0.82	0.82 ~ 1
产水系数 Water producing coefficient	a13	0 ~ 0.15	0.15 ~ 0.37	0.37 ~ 0.62	0.62 ~ 0.85	0.85 ~ 1
干旱指数 Drought index	a14	0 ~ 0.35	0.35 ~ 0.56	0.56 ~ 0.74	0.74 ~ 0.89	0.89 ~ 1
公顷水资源量/(10 ⁴ m ³ ·hm ⁻²) Water resources quantity	a15	0 ~ 0.46	0.46 ~ 0.64	0.64 ~ 0.76	0.76 ~ 0.81	0.81 ~ 1
水质达标率/% Water quality compliance rate	a16	0 ~ 0.12	0.12 ~ 0.42	0.42 ~ 0.61	0.61 ~ 0.85	0.85 ~ 1
人口密度/(万人·hm ⁻²) Population density	a21	0 ~ 0.23	0.23 ~ 0.58	0.58 ~ 0.76	0.76 ~ 0.92	0.92 ~ 1
工业产值比重/% Proportion of industrial	a22	0 ~ 0.33	0.33 ~ 0.64	0.64 ~ 0.79	0.79 ~ 0.88	0.88 ~ 1
国民生产总值模数/(万元·km ⁻²) Modulus of GDP	a23	0 ~ 0.52	0.52 ~ 0.67	0.67 ~ 0.84	0.84 ~ 0.95	0.95 ~ 1
需水模数/(10 ⁴ m ³ ·km ⁻²) Water requirement modulus	a24	0 ~ 0.18	0.18 ~ 0.47	0.47 ~ 0.66	0.66 ~ 0.81	0.81 ~ 1
万元 GDP 用水量/(m ³ ·万元 ⁻¹) Water consumption unit of GDP	a25	0 ~ 0.24	0.24 ~ 0.51	0.51 ~ 0.73	0.73 ~ 0.86	0.86 ~ 1
蓄水工程模数/(10 ⁴ m ³ ·km ⁻²) Storage modulus	a31	0 ~ 0.46	0.46 ~ 0.62	0.62 ~ 0.81	0.81 ~ 0.90	0.90 ~ 1
水源保持率/% Water source retention rate	a32	0 ~ 0.33	0.33 ~ 0.64	0.64 ~ 0.79	0.79 ~ 0.88	0.88 ~ 1
人均供水量/(m ³ ·人 ⁻¹) Amount of water supply	a33	0 ~ 0.22	0.22 ~ 0.43	0.47 ~ 0.66	0.66 ~ 0.83	0.83 ~ 1
供水模数/(10 ⁴ m ³ ·km ⁻²) Modulus of water supply	a34	0 ~ 0.18	0.18 ~ 0.47	0.43 ~ 0.61	0.61 ~ 0.82	0.82 ~ 1
供水率 Water supply rate/%	a35	0 ~ 0.26	0.26 ~ 0.45	0.45 ~ 0.66	0.66 ~ 0.85	0.85 ~ 1
灌溉率 Irrigation rate/%	a36	0 ~ 0.44	0.44 ~ 0.63	0.63 ~ 0.75	0.75 ~ 0.87	0.87 ~ 1
单方水投资/(元·m ⁻³) Average investment	a37	0 ~ 0.46	0.46 ~ 0.62	0.62 ~ 0.81	0.81 ~ 0.90	0.90 ~ 1
水源达标率/% Water source compliance rate	a41	0 ~ 0.12	0.12 ~ 0.42	0.42 ~ 0.61	0.61 ~ 0.81	0.81 ~ 1
污水回用率/% Wastewater reuse rate	a42	0 ~ 0.56	0.56 ~ 0.67	0.67 ~ 0.83	0.83 ~ 0.92	0.92 ~ 1
生态环境用水率/% Eco-water consumption rate	a43	0 ~ 0.68	0.68 ~ 0.75	0.75 ~ 0.84	0.84 ~ 0.93	0.93 ~ 1
生活污径比/% Sewage runoff ratio	a44	0 ~ 0.23	0.23 ~ 0.58	0.58 ~ 0.76	0.76 ~ 0.85	0.85 ~ 1
工业污径比/% Industrial sewage runoff ratio	a45	0 ~ 0.34	0.34 ~ 0.52	0.52 ~ 0.71	0.71 ~ 0.89	0.89 ~ 1

表 3 各评价指标的权重系数

Table 3 The weight coefficient of each evaluation index

序号 Serial number	a11	a12	a13	a14	a15	a16	a21	a22	a23	a24	a25	a31
权重 Weight	0.0238	0.1681	0.1047	0.0145	0.0050	0.0751	0.0046	0.0037	0.0033	0.0038	0.0093	0.1004
序号 Serial number	a32	a33	a34	a35	a36	a37	a41	a42	a43	a44	a45	
权重 Weight	0.0016	0.0731	0.0122	0.0049	0.0311	0.0189	0.0066	0.0020	0.0061	0.2521	0.0751	

表 4 水资源短缺风险评价级别标准

Table 4 The grade level standard of water resources shortage risk assessment

评价等级 Evaluation grade	风险级别 Risk level	风险特征 Risk characteristics
1 级 Grade one	低风险 Low risk	可以忽略的风险 Risk can be ignored
2 级 Grade two	较低风险 lower risk	可以接受的风险 Risk can be accepted
3 级 Grade three	中风险 Medium risk	边缘风险 Marginal risk
4 级 Grade four	较高风险 Higher risk	不可接受风险 Unacceptable risk
5 级 Grade five	高风险 High risk	灾变风险 Catastrophe risk

表 5 各地市模糊综合评价向量计算表

Table 5 Calculating table of fuzzy comprehensive evaluation vector for each region and city

地市 The city	1 级 Grade one	2 级 Grade two	3 级 Grade three	4 级 Grade four	5 级 Grade five	隶属结果 Membership results
太原 Taiyuan	0.0695	0.1103	0.4461	0.2015	0.1726	3 级 Grade three
大同 Datong	0.0349	0.0623	0.2969	0.4818	0.1241	4 级 Grade four
阳泉 Yangquan	0.0647	0.2246	0.5189	0.1087	0.0831	3 级 Grade three
长治 Changzhi	0.1062	0.3896	0.3721	0.1058	0.0263	2 级 Grade two
晋城 Jincheng	0.1176	0.3914	0.3698	0.0984	0.0228	2 级 Grade two
朔州 Shuozhou	0.0193	0.0625	0.3233	0.4865	0.1084	4 级 Grade four
忻州 Xinzhou	0.1088	0.2012	0.4258	0.1745	0.0897	3 级 Grade three
吕梁 Luliang	0.0905	0.1176	0.2214	0.4576	0.1129	4 级 Grade four
晋中 Jinzhong	0.0353	0.3206	0.4019	0.1548	0.0874	3 级 Grade three
临汾 Linfen	0.0338	0.0669	0.3726	0.4082	0.1185	4 级 Grade four
运城 Yuncheng	0.0327	0.0819	0.3048	0.4597	0.1209	4 级 Grade four
全省 Whole province	0.0648	0.1844	0.3685	0.2852	0.0970	3 级 Grade three

综合考虑各地市水资源、社会经济、水源储备和供水以及生态环境子系统的影响因素,按照表 4 的风险级别,风险各级别按照综合评分值评判。根据最大隶属原则,由表 5 可知山西省最大评价向量为 0.3685,最可能的水资源短缺风险等级为 3 级,属于中风险水平;长治和晋城的最大评价向量分别为 0.3896和 0.3914,最可能的水资源短缺风险等级为 2 级,属于较低风险水平。同时也可看出两地区的 2、3 级评价向量数值相差较小,说明水资源短缺风险有向风险偏高水平发展的趋势;太原、阳泉、忻州和晋中的最大评价向量分别为 0.4461、0.5189、0.4258 和 0.4019,最可能的水资源短缺风险等级为 3 级,属于中风险水平;大同、朔州、吕梁、临汾和运城的最大评价向量分别为 0.4818、0.4865、0.4576、0.4082 和 0.4597,最可能的水资源短缺风险等级为 4 级,属于较高风险水平。

4 结 论

本研究在借鉴和吸收已有风险评价方法、信息扩散理论和模糊综合评价模型等相关成果的基础上,提出基于改进信息扩散理论的水资源短缺风险模糊评价模型,评价了山西省水资源短缺风险状况,

得出如下结论:

(1)太原、阳泉、忻州、晋中和山西全省的风险等级为 3 级,属于中风险水平;(2)长治和晋城的风险等级为 2 级,属于较低风险水平;(3)大同、朔州、吕梁、临汾和运城风险等级为 4 级,属于较高风险水平;(4)评价的地(市)中属于黄河流域的地区风险评价结果较高,而海河流域相对较低,评价结果与各地(市)水资源开发利用实际基本相符。

由于区域水资源系统是一个复杂而庞大的复合系统,今后还需加强以下几方面的研究:(1)进一步研究水资源短缺风险产生的联动机制,优化风险评价指标体系;(2)进一步研究突发性水资源短缺风险及其损失,提出科学的预警,并制定具有针对性的、合理的应急措施。

参 考 文 献:

[1] 黄崇福,刘新立,周国贤,等.以历史灾情资料为依据的农业自然灾害风险评估方法[J].自然灾害学报,1998,7(2):1-7.
[2] 魏一鸣,金菊良,杨存建,等.洪水灾害风险管理理论[M].北京:科学出版社,2002.
[3] 彭江鸿.区域水资源危机产生及其风险评价[D].保定:河北农业大学,2012.
[4] 凌子燕,刘 锐.基于主成分分析的广东省区域水资源紧缺风险评价[J].资源科学,2010,32(12):2324-2328.

[5] 阮本清,韩宇平,王 浩,等.水资源短缺风险的模糊综合评价[J].水利学报,2005,36(8):906-912.

[6] 金冬梅,张继权,韩俊山.吉林省城市干旱缺水风险评价体系与模型研究[J].自然灾害学报,2005,14(6):101-105.

[7] 王宇飞,盖 美,耿雅冬.辽宁沿海经济带水资源短缺风险评价[J].地域研究与开发,2013,32(2):96-102.

[8] 雷晓云,何春梅.基于信息扩散理论的洪水风险评估模型的研究及应用[J].水文,2004,24(4):5-8.

[9] 杨 旭,李春晨.基于信息扩散理论的火灾风险评估模型研究及其应用[J].工业安全与环保,2010,36(1):41-43.

[10] 杨炳儒,宋泽峰,候 伟,等.基于信息扩散原理的关联规则自

动评价方法研究[J].计算机应用研究,2008,25(10):2965-2968.

[11] 张 韧,徐志升,沈双和,等.基于小样本案例的自然灾害风险评估—信息扩散概率模型[J].系统科学与数学,2013,33(4):445-456.

[12] 许应石,李长安,张中旺,等.湖北省水资源短缺风险评价及对策[J].长江科学院院报,2012,29(11):5-10.

[13] 谢 坚,王谢勇,初 莉,等.城市水资源短缺风险评价模型及预测模型研究[J].水电能源科学,2012,30(7):17-20.

[14] 鹿 伟,陈英杰,曾 鸣,等.基于改进熵权值法的需求侧节电潜力评价模型及应用[J].水电能源科学,2013,31(4):233-235.

(上接第 158 页)

张德奇^[19]的研究表明,春季覆膜垄膜沟植较露地平种增产 95.09%,平膜播种较露地平种增产 88.31%,以垄膜沟植增产效果较好,而冬闲田处理秋平膜产量效应最好,较露地平种增产幅度达到 130.94%。本实验中平膜播种增产效果较垄膜沟植增产效果好,原因为平膜覆盖方式在张杂谷生长发育前期能更好地抑制土壤水分蒸发,垄膜沟植较露地平种耕层土壤温度可提高 0.84℃,土壤含水量提高 1.29%,而平膜播种方式较露地平种温度可提高 1.25℃,土壤含水量提高 1.42%,对地温及土壤含水量的提高效果更大,能促进张杂谷幼苗生长,张杂谷分蘖数较垄膜沟植有所增加,单位面积上的穗数显著增加,最终籽粒产量也比垄膜沟植较高,具体原因还需进一步实验验证。

本实验中平膜播种和垄膜沟植较露地平种和无膜沟植均增产,平膜播种较露地平种增产 13.25%,较无膜沟植增产 12.85%,垄膜沟植处理较露地平种增产 7.02%,较无膜沟植增产 6.64%,张德奇、郭志利等^[3,18]研究也表明谷子地膜覆盖后较露地不覆盖增产 22.0~77.8%。平膜播种与垄膜沟植两种种植方式中,以平膜播种的增产效果更为明显。在张杂谷生产和推广中,地膜覆盖技术较大程度的提高了张杂谷的经济产量,表现出良好的社会效益,有较大的推广前景。

参 考 文 献:

[1] 董孔军,杨天育,何继红,等.西北旱作区不同地膜覆盖种植方式对谷子生长发育的影响[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):37-40.

[2] 姜净卫,刘孟雨,董宝娣,等.谷子及杂交种的水分利用效率以及节水技术研究思考[J].节水灌溉,2013,(10):63-66.

[3] 张德奇,廖允成,贾志宽.旱区地膜覆盖技术的研究进展及发展

前景[J].干旱地区农业研究,2005,23(1):208-213.

[4] Wen Xiaoxia, Zhang Deqi, Liao Yuncheng, et al. Effects of water-collecting and retaining techniques photosynthetic rates, yield and water use efficiency of millet grown in a semiarid region[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2012, 11(7): 1119-1128.

[5] 李凤民,鄢 珣,王 俊,等.地膜覆盖导致春小麦产量下降的机理[J].中国农业科学,2001,34(3):330-333.

[6] 陈玉华,张岁岐,田海燕,等.地膜覆盖及施用有机肥对地温及冬小麦水分利用的影响[J].水土保持通报,2010,30(3):59-63.

[7] 张冬梅,池宝亮,黄学芳,等.地膜覆盖导致旱地玉米减产的负面影响[J].农业工程学报,2008,24(4):99-102.

[8] 中国农用塑料应用技术学会.新编地膜覆盖栽培技术大全[M].北京:中国农业出版社,1998:1-20.

[9] 张德奇,廖允成,贾志宽,等.旱地谷子集水保水技术的生理生态效应[J].作物学报,2006,32(5):738-742.

[10] 古世禄,马建萍,刘子坚,等.谷子(粟)的水分利用及节水技术研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(1):40-47.

[11] Powle S B. Photoinhibition of photosynthesis is induced by visible light[J]. Rev Plant Physiol, 1984, 35:15-44.

[12] Fischer R A, Turner N C. Plant production in the arid and semiarid zones[J]. Annu Rev Plant Phys, 1978, 29:277-317.

[13] 丁瑞霞,贾志宽,韩清芳,等.宁南旱区微集水种植条件下谷子边际效应和生理特性的响应[J].中国农业科学,2006,39(3):494-501.

[14] 赵荣华,黄明镜,李 萍.旱地谷子休闲期地膜覆盖垄作效应研究[J].生态农业研究,1998,6(3):30-32.

[15] 刘子会,张红梅,张艳敏,等.灌浆期杂交谷子旗叶的光合特性[J].西北农业学报,2012,21(11):60-64.

[16] 杨开宝,刘国彬,李景林,等.双料沟垄组合覆盖对土壤水分时空分布的影响[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):92-96,117.

[17] Li Rong, Hou Xianqing, Jia Zhikuan, et al. Effects on soil temperature, moisture, and maize yield of cultivation with ridge and furrow mulching in the rainfed area of the Loess Plateau, China[J]. Agricultural Water Management, 2013, 116:101-109.

[18] 郭志利,古世禄.覆膜栽培方式对谷子(粟)产量及效益的影响[J].干旱地区农业研究,2000,18(2):33-39.

[19] 张德奇,廖允成,贾志宽,等.宁南旱区谷子地膜覆盖的土壤水温效应[J].中国农业科学,2005,38(10):2069-2075.