

DOI:10.3880/j.issn.1004-6933.2021.05.017

基于模糊集对法的山西省水资源脆弱性评价

原彩萍¹, 刘原一², 职璐爽³

(1. 长治市水土保持试验站, 山西 长治 046000; 2. 陕西秦龙电力股份有限公司, 陕西 西安 710075;
3. 西安理工大学经济与管理学院, 陕西 西安 710075)

摘要:依据山西省自然地理及经济发展状况,从自然、人为、承载力等三方面影响水资源脆弱性的因素中选取 8 个指标构建水资源脆弱性评价体系,运用基于熵权的模糊集对法对山西省 11 个地级市 2012—2018 年水资源脆弱性进行评价,并比较了模糊综合法、灰关联分析法和基于熵权的模糊集对法 3 种方法 2018 年的评价结果。结果表明,山西省存在用水效率较低、地下水超采、水污染、水土流失等主要问题,整体水资源脆弱性属于比较脆弱和严重脆弱等级;提出通过调整产业结构、优化配置水资源、提高污废水回收利用率、恢复植被等对策改善山西省水资源脆弱性状况。

关键词:水资源;脆弱性评价;熵权法;模糊集对法;山西省

中图分类号:TV213.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-6933(2021)05-0112-05

Water resources vulnerability assessment in Shanxi Province based on fuzzy set pair method//YUAN Caiping¹, LIU Yuanyi², ZHI Lushuang³ (1. Changzhi Soil and Water Conservation Test Station, Changzhi 046000, China; 2. Shaanxi Qinlong Electric Power Co., Ltd., Xi'an 710075, China; 3. School of Economics and Management, Xi'an University of Technology, Xi'an 710075, China)

Abstract: According to the physical geography condition and economic development situation of Shanxi Province, water resources vulnerability assessment system was established from eight indexes based on three factors which could affect water resources vulnerability including natural, human and bearing capacity factors. The water resources vulnerability of 11 administrative cities in Shanxi Province from 2012 to 2018 were evaluated by entropy weight based fuzzy set pair method. The assessment results of fuzzy comprehensive method, grey relational analysis method and entropy weight based fuzzy set pair method were compared in 2018. The results indicate that Shanxi Province has the main problems of low water efficiency, groundwater overexploitation, water pollution, and soil erosion. The whole water resources vulnerability is at relatively fragile and serious fragile level. It's proposed that adjusting industrial structure, optimizing allocation of water resources, increasing the reclamation rate of wastewater and restoring vegetation could improve the water resources vulnerability condition of Shanxi Province.

Key words: water resources; vulnerability assessment; entropy weight method; fuzzy set pair method; Shanxi Province

我国对水资源脆弱性研究始于 20 世纪 90 年代,初期主要是对地下水脆弱性进行研究,以地域水资源系统为研究对象,评价了河北省^[1]、云南滇中地区^[2]等区域水资源脆弱性;以流域水资源系统为研究对象,评价了海河流域^[3]、塔里木河流域^[4]等水资源系统脆弱性等。进入 21 世纪以来,对水资源脆弱性系统性研究逐渐增多,如唐国平等^[5]论述了气候变化对区域水资源及其脆弱性的影响。目前水资源脆弱性主要评价方法有熵权法^[6]、模糊物元法^[7]、模糊综合法^[8]和采用 GIS 技术的方法^[9-10]等。

本文以山西省 11 个地级市为研究对象,采用基于熵权的模糊集对法对其 2012—2018 年水资源脆弱性进行评价,并针对存在的问题提出对策,以期高效、智能管理水资源提供参考。

1 研究区概况

山西省地处黄土高原东翼,位于东经 110°14' ~ 114°33'、北纬 34°34' ~ 40°44' 之间,总面积为 15.67 万 km²,下辖太原、大同、朔州、忻州、阳泉、吕梁、晋中、长治、晋城、临汾和运城 11 个地级市。区

域内有山地、丘陵、高原、盆地等多种地貌类型,主要河流是黄河和海河,河流补给以降水补给为主,多年平均降水量为 508.8 mm,呈现东南部多于西北部、山区多于盆地的空间分布规律。虽然过境水较多,但是提水扬程高,水资源开发难度大,造成地下水严重超采。

山西省是我国重要的煤炭能源基地,煤炭的大量开采加剧了水资源危机。山西省第二次水资源评价水资源总量为 123.80 亿 m³,其中河川径流量为 86.77 亿 m³,地下水资源量为 84.04 亿 m³(河川径流量和地下水资源量重复统计部分为 47.01 亿 m³),人均水资源量为 381 m³,是全国平均水平的 1/7、世界水平的 1/28,水资源呈匮乏状态。

2 评价方法

2.1 评价指标体系

水资源脆弱性评价指标的选取对评价结果至关重要,它的构建是个不断完善的过程,不同的研究对象及不同的研究角度都会影响评价指标的选取。参考朱怡娟等^[8]对武汉水资源脆弱性的评价和职璐爽等^[6]基于熵权法的城市水资源脆弱性研究,根据科学性、主导性、可比性以及数据的易获得性原则,从自然脆弱性、人为脆弱性和承载力脆弱性三方面因素中选取 8 个指标构建山西省水资源脆弱性评价指标体系(图 1)。评价数据来自 2012—2018 年《山西省水资源公报》。山西省大量的煤炭开采对水资源的质或量都有影响,但由于其数据较难获得,且具有不确定性,所以没有列入评价指标体系。评价指标体系中对水资源脆弱性有改善作用的是正向指

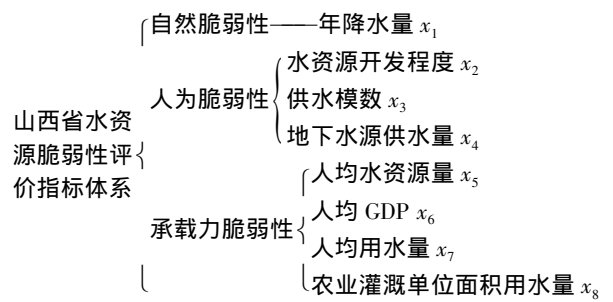


图 1 山西省水资源脆弱性评价指标体系

Fig.1 Evaluation index system of water resource vulnerability in Shanxi Province

标,对水资源脆弱性有恶化作用的为负向指标。

2.2 评价标准及评价等级的划分

综合考虑山西省实际水资源情况与本文构建的水资源脆弱性评价指标体系,将 8 个指标的原始数据离散化处理得到评价等级。由于山西省人均水资源量在国际标准极度缺水范围(低于 500 m³)内,为了方便评价,人均水资源量没有采用国际标准,同样采用原始数据离散化后划分得到评价等级。如表 1 所示,评价等级划分为 I(不脆弱)、II(轻度脆弱)、III(中度脆弱)、IV(比较脆弱)和 V(严重脆弱)5 级。

2.3 评价指标权重的计算

确定指标权重主要有主观赋权法和客观赋权法^[11-12]两种方法,主观赋权法存在主观因素,评价结果受研究者的认知度影响比较大,本文采用客观赋权法,即熵权法来确定各个指标的权重。熵权法计算权重的步骤如下:

a. 评价指标数据标准化处理,对于正向和负向评价指标,分别采用以下公式进行处理:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - x_{minj}}{x_{maxj} - x_{minj}} \tag{1}$$

$$r_{ij} = \frac{x_{max} - x_{ij}}{x_{maxj} - x_{minj}} \tag{2}$$

式中: r_{ij} 为评价对象 i 的第 j 个评价指标值; x_{maxj} 、 x_{minj} 分别为第 j 个评价指标值的最大和最小值。经标准化处理得到标准化矩阵 $R = (r_{ij})_{m \times n}$,其中 m 、 n 分别为评价对象和评价指标的总数。

b. 计算第 j 个评价指标的熵 H_j :

$$H_j = - \frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij} \tag{3}$$

其中

$$f_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}$$

c. 评价指标 j 的权重值 w_j 为

$$w_j = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j} \tag{4}$$

2.4 模糊集对法水资源脆弱性评价

集对分析法是赵克勤等^[13]提出的处理不确定性的系统分析方法,该方法认为任何系统都是由确

表 1 水资源脆弱性的评价等级划分

Table 1 Evaluation grade division of water resource vulnerability

评价等级	x_1 /亿 m ³	x_2 /%	x_3 /(万 m ³ ·km ⁻²)	x_4 /%	x_5 /m ³	x_6 /万元	x_7 /m ³	x_8 /(m ³ ·km ⁻²)
I	≥115.0	≤25.0	≤3.55	≤0.60	≥493.00	≤2.40	≤160	≤231
II	[88.0,115.0)	(25.0,26.0]	(3.55,4.31]	(0.60,0.65]	[319.00,493.00)	(2.40,2.97]	(160,177]	(231,233]
III	[69.7,88.0)	(26.0,42.2]	(4.31,4.55]	(0.65,39.50]	[249.45,319.00)	(2.97,3.60]	(177,193]	(233,258]
IV	[50.0,69.7)	(42.2,49.1]	(4.55,4.95]	(39.50,47.00]	[140.00,249.45)	(3.60,4.48]	(193,214]	(258,279]
V	<50	>49.1	>4.95	>47.00	<140.00	>4.48	>214	>279

定性和不确定性信息组成的,系统中确定性关系和不确定性关系相互影响、相互制约、相互联系,甚至在某种状态下相互转化。

集对分析法将评价指标集合 A 和等级标准集合 B 构成集对,并可进行集对的特性分析,若有 N 个特性,包含两个集合共同拥有的特性 S 个、有差异的特性 F 个、有对立的特性 P 个,由此建立集对的联系度:

$$\mu_{A \sim B} = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}I + \frac{P}{N}J = a + bI + cJ \quad (5)$$

式中: $\mu_{A \sim B}$ 为两个集合的联系度,严格地说是问题背景和分析过程中的一个函数,通常情况下它是有关两个集合或一个系统在指定问题和某个分析过程下所得到的同一度、差异度和对立度的代数和,但在运算时可以是一个数值^[13]; I 为差异度,在 $[-1, 1]$ 中取值; J 为对立度, $J = -1$; a 为指标值 x_{ij} 与该指标第 k 级 ($k=1, 2, \dots, 5$) 标准的同一度; b 为指标值 x_{ij} 与该指标第 k 级标准相差一级的差异度; c 为指标值 x_{ij} 与该指标第 k 级标准的对立度。 a 、 b 、 c 满足归一化条件 $a + b + c = 1$ 。

由于单一指标下样本与等级间的联系度意义不是很大,所以根据模糊集理论,计算归一化相对隶属度。最后根据级别特征值的加权和以及置信度准则来评判样本的等级。其计算过程如下:

a. 计算评价对象 i 评价指标 j 与水资源脆弱性评价等级 k 之间单指标联系度 μ_{ijk} 。遵循最大隶属度原则,分正向指标、负向指标两种情况,正向和负向指标单指标联系度计算公式分别为

$$\mu_{ijk} = \begin{cases} -1 & x_{ij} \leq s_{k-2,j} \\ 1 - \frac{2(s_{k-1,j} - x_{ij})}{s_{k-1,j} - s_{k-2,j}} & s_{k-2,j} < x_{ij} \leq s_{k-1,j} \\ 1 & s_{k-1,j} < x_{ij} \leq s_{k,j} \\ 1 - \frac{2(x_{ij} - s_{k,j})}{s_{k+1,j} - s_{k,j}} & s_{k,j} < x_{ij} \leq s_{k+1,j} \\ -1 & x_{ij} > s_{k+1,j} \end{cases} \quad (6)$$

$$\mu_{ijk} = \begin{cases} -1 & x_{ij} \geq s_{k-2,j} \\ 1 - \frac{2(s_{k-1,j} - x_{ij})}{s_{k-1,j} - s_{k-2,j}} & s_{k-2,j} > x_{ij} \geq s_{k-1,j} \\ 1 & s_{k-1,j} > x_{ij} \geq s_{k,j} \\ 1 - \frac{2(x_{ij} - s_{k,j})}{s_{k+1,j} - s_{k,j}} & s_{k,j} > x_{ij} \geq s_{k+1,j} \\ -1 & x_{ij} < s_{k+1,j} \end{cases} \quad (7)$$

式中: $s_{k,j}$ 为水资源脆弱性评价标准的界限值,评价

等级划分为 5 个等级区间,式(6)(7)是直接利用评价对象 i 与等级 k 就其数值接近这一特征作了同(接近同一等级)、异(接近前后相邻等级)、反(接近相隔等级)定量分析,比较清楚地表达了评价指标隶属于 5 个评价等级中的 3 种关系。若存在不合理的情况或没有界限值,需将其舍去,如 $s_{5,j}$ 是最大的界限值,不存在评价指标 $x_{i,j}$ 大于 $s_{5,j}$ 的情况,故将其舍去。根据单指标联系度可以定量分析评价指标间的同一性、差异性、对立性等关系^[14-15]。

b. 计算评价对象 i 和评价等级 k 之间的综合联系度 $\bar{\mu}_{ik}$:

$$\bar{\mu}_{ik} = \sum_{j=1}^m w_j \mu_{ijk} \quad (8)$$

c. 根据可变模糊集的思想,利用式(9)和式(10)计算评价对象 i 隶属于模糊集“评价等级 k ”的相对隶属度 v_{ik} 和归一化隶属度 v'_{ik} :

$$v_{ik} = 0.5 + 0.5\bar{\mu}_{ik} \quad (9)$$

$$v'_{ik} = \frac{v_{ik}}{\sum_{k=1}^K v_{ik}} \quad (10)$$

d. 计算评价对象的水资源脆弱性等级。为了避免最大隶属度原则在进行模糊识别时造成信息缺失,以及提高评价等级的精度,同时进一步提高脆弱性等级评价结果的稳妥性,本文采用置信度准则^[16-17]来计算评价对象 i 的水资源脆弱性等级 h_i :

$$h_i = \max \left\{ k \left| \sum_{k=1}^K v'_{ik} > \lambda; k = 1, 2, \dots, K \right. \right\} \quad (11)$$

式中: λ 为置信度,在 $[0.5, 0.7]$ 之间取值, λ 值大表示评价结果比较可靠, λ 值小表示评价结果更具风险性,本文选择 $\lambda = 0.7$; K 为评价等级总数。

3 评价结果与分析

3.1 评价结果

采用熵权法计算得到 2012—2018 年各评价指标的权重如表 2 所示,采用模糊集对法得到 2012—2018 年山西省 11 个地级市水资源脆弱性评价结果如表 3 所示,为对比分析,表 3 也给出了基于熵权法的模糊综合法和灰关联分析法的 2018 年评价结果。

3.2 山西省水资源脆弱性分析

a. 由表 3 可见,2018 年山西省 11 个地级市水资源脆弱性整体较差,其中忻州市、吕梁市水资源脆弱性评价等级为严重脆弱。

b. 2014 年山西省开始实施最严格水资源管理制度,水资源紧缺、水环境恶化现象有一定程度的改善,但表 3 中 2016 年和 2017 年的结果异常。实际上由于山西省煤炭及煤炭洗选的工业增加值占工业

表 2 2012—2018 年山西省水资源脆弱性评价指标权重

Table 2 Evaluation weight of water resource vulnerability in Shanxi Province from 2012 to 2018

年份	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8
2012 年	0.2113	0.0388	0.2113	0.0400	0.0359	0.2113	0.2113	0.0402
2013 年	0.2085	0.0411	0.2085	0.0426	0.0423	0.2085	0.2085	0.0403
2014 年	0.1778	0.1778	0.1778	0.1778	0.0337	0.1778	0.0439	0.0334
2015 年	0.2077	0.0405	0.2077	0.2077	0.0376	0.0458	0.2077	0.0452
2016 年	0.2090	0.2090	0.2090	0.2090	0.0379	0.0415	0.0465	0.0383
2017 年	0.1763	0.1763	0.1763	0.0483	0.0344	0.0356	0.1763	0.1763
2018 年	0.2038	0.2038	0.2038	0.0440	0.0373	0.0483	0.2038	0.0555

表 3 2012—2018 年山西省水资源脆弱性评价结果

Table 3 Water resource vulnerability evaluation in Shanxi Province from 2012 to 2018

地级市	模糊集对法							模糊综合法	灰关联分析法
	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	(2018 年)	(2018 年)
太原市	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	I	I
大同市	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	II	II
阳泉市	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	I	II
长治市	IV	V	V	IV	V	V	IV	II	II
晋城市	IV	IV	IV	IV	V	V	IV	III	III
朔州市	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	V	III
忻州市	V	V	V	IV	V	IV	V	V	II
吕梁市	IV	IV	IV	IV	V	V	V	V	I
晋中市	IV	IV	V	IV	V	V	IV	IV	V
临汾市	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	III	IV
运城市	IV	IV	V	IV	IV	IV	IV	II	I

增加总值的比值一直居高不下,2012 年和 2013 年都超过了 60%;尽管 2016—2018 年煤炭去产能规模全国第一,2016 年的占比还高达 48%;2017 年吕梁市、忻州市和长治市规模以上煤炭工业增加值同比增长分列前 3 位。2016 年前 4 个月吕梁、忻州、大同、长治和晋中 5 市有 12 个河流断面水质相比 2014 年呈恶化状态,水质属中度污染。2018 年以来,在强监管、补短板的水利新形势下,严格强化水资源管理,山西省地表水环境质量明显好转,与本文研究成果相符。

c. 由表 3 可见,3 种评价方法评价结果不完全相同,例如运城市,模糊集对法评价结果为比较脆弱(IV 级),而模糊综合法和灰关联分析法的评价结果为轻度脆弱(II 级)和不脆弱(I 级),相差较大,但实际上运城市水资源存在较严重的问题:①水资源短缺,虽然上游入境水量和黄河过境水量较多,但受上游多种因素影响,水量、水质均无保障,且利用率不高,还造成大量浪费;②严重超采地下水,总取水量的 80% 来自地下水开采,导致地下水位持续下降。运城市水资源脆弱性应该还是比较脆弱等级,而非不脆弱或轻度脆弱,模糊集对法的评价结果较为准确,这是模糊集对法能够辩证地评价研究样本同一性、差异性和对立性^[11-12]特点的体现。由模糊集对法分析结果可以看出,2018 年山西省水资源脆弱性整体属于比较脆弱和严重脆弱等级,水资源情况

与社会经济发展存在不协调性。

4 存在的问题及对策

a. 年降水量少且分布不均,应提高水资源利用率。由表 2 的权重计算结果可知,年降水量与水资源脆弱性有很大关系,是影响水资源脆弱性的一个重要因素。山西省年降水量较少且分布不均,提高水资源利用率就显得非常重要^[18],在农村可以种植耐旱的农作物,因时制宜发展林业和畜牧业,或修建水利工程,夏季拦蓄雨水;在城市建设智慧、快捷的

管理系统,以提高水资源利用率。
b. 用水效率较低,应调整产业结构。由于山西省 11 个地级市的自然地理条件和经济发展水平以及产业结构的差异,导致用水结构有很大不同,但整体上用水效率低。因此应调整产业结构,将煤炭、焦炭、电力、冶金等重工业逐步转向以科技创新为主的科技制造等行业,以降低水资源脆弱性。

c. 水污染较严重,应提高污水处理能力。山西省作为煤炭开采大省,煤炭的开采对地下水和地表水均造成了很大程度的污染^[19],矿坑冲水将大量的煤尘带入地表水中而污染水体;同时,煤矿废水的排放会使泉域、水域受到严重污染^[20]。2018 年山西省废污水排放总量达 7 亿 t,目前对废污水的回收利用率较低,应提高山西省水资源利用率。

d. 地下水严重超采,应注重地表水的开发利用

用。山西省的特殊地形地貌,使得地表水开采难度大,人均水资源量较低,全省都严重缺水,供水只能靠开采地下水,导致地下水资源遭到严重破坏,汾河等河流水位下降,地下水源也遭受了一定程度的污染。因此,山西省在经济发展中更应该优化配置水资源,注重黄河流域、海河流域地表水的开发利用。

e. 水土流失严重,应提高植被覆盖率。山西省地处黄土高原,比较严重的水土流失易引起面源污染,造成生态环境恶化,加剧水资源脆弱性,因此应注重恢复植被、增加植被覆盖率来涵养水源,从而增强生态系统自我调节能力。

5 结 语

本文采用基于熵权的模糊集对法对 2012—2018 年山西省水资源脆弱性进行了评价,并与模糊综合法和灰关联分析法进行了对比分析。3 种方法评价结果虽然有所不同,但整体上均显示山西省水资源脆弱性属于比较脆弱和严重脆弱等级,且基于熵权的模糊集对法评价结果更符合山西省实际情况。针对山西省水资源存在的主要问题提出了相应对策,可为改善水资源状态提供参考。

参考文献:

[1] 陈康宁,董增川,崔志清. 基于分形理论的区域水资源系统脆弱性评价[J]. 水资源保护,2008,24(3):24-26. (CHEN Kangning, DONG Zengchuan, CHUI Zhiqing. Evaluation of vulnerability of regional water resources system based on the fractal theory[J]. Water Resources Protection,2008,24(3):24-26. (in Chinese))

[2] 冯少辉,李靖,朱振峰,等. 云南省滇中地区水资源脆弱性评价[J]. 水资源保护,2010,26(1):13-16. (FENG Shaohui, LI Jing, ZHU Zhenfeng, et al. Study on water resources vulnerability assessment in Central Yunnan[J]. Water Resources Protection, 2010, 26(1): 13-16. (in Chinese))

[3] 吕彩霞,仇亚琴,贾仰文,等. 海河流域水资源脆弱性及其评价[J]. 南水北调与水利科技,2012,10(1):55-59. (LYU Caixia, QIU Yaqin, JIA Yangwen, et al. Water resources vulnerability and its assessment of Haihe River Basin[J]. South-to-North Water Diversion and Water Science & Technology, 2012, 10(1): 55-59. (in Chinese))

[4] 李玉芳,刘海隆,刘洪光. 塔里木河流域水资源脆弱性评价[J]. 中国农村水利水电,2014(4):90-93. (LI Yufang, LIU Hailong, LIU Hongguang. Water resources fragility assessment of the Tarim River Valley[J]. China Rural Water and Hydropower, 2014(4): 90-93. (in Chinese))

[5] 唐国平,李秀彬,刘燕华. 全球气候变化下水资源脆弱性及其评估方法[J]. 地球科学进展,2000,15(3):313-317. (TANG Guoping, LI Xiubin, LIU Yanhua. Assessment method of vulnerability of water resources under global climate change[J]. Advances in Earth Science,2000,15(3):313-317. (in Chinese))

[6] 职璐爽,薛惠锋. 基于熵权法的城市水资源脆弱性研究:以广东省为例[J]. 水土保持通报,2018,38(5):322-329. (ZHI Lushuang, XUE Huifeng. A study on vulnerability of urban water resource based on entropy weight method:a case study of Guangdong Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conversion,2018,38(5):322-329. (in Chinese))

[7] 徐绪堪,赵毅,成春阳. 西安市水资源可持续利用预警分级[J]. 水资源保护,2017,33(5):29-34. (XU Xukan, ZHAO Yi, CHENG Chunyang. Early-warning grading of sustainable utilization of water resources in Xi'an City[J]. Water Resources Protection,2017,33(5):29-34. (in Chinese))

[8] 朱怡娟,黄建武,揭毅. 武汉城市圈水资源脆弱性评价[J]. 水资源保护,2015,31(2):59-64. (ZHU Yijuan, HUANG Jianwu, JIE Yi. Evaluation on water resources vulnerability of Wuhan City Circle[J]. Water Resources Protection,2015,31(2):59-64. (in Chinese))

[9] 陈岩,冯亚中. 基于 RS-SVR 模型的流域水资源脆弱性评价与预测研究:以黄河流域为例[J]. 长江流域资源与环境,2020(1):137-149. (CHEN Yan, FENG Yazhong. Assessment and prediction of water resources vulnerability in river basin based on RS-SVR model: a case study of the Yellow River Basin[J]. Resources and Environment in Yangtze Basin, 2020(1): 137-149. (in Chinses))

[10] 刘海娇,仕玉治,范明元,等. 基于 GIS 的黄河三角洲水资源脆弱性评价[J]. 水资源保护,2012,28(1):34-37. (LIU Haijiao, SHI Yuzhi, FAN Mingyuan, et al. Water resources vulnerability assessment in Yellow River Delta based on GIS[J]. Water Resources Protection, 2012, 28(1): 34-37. (in Chinese))

[11] 陈攀,李兰,周文财. 水资源脆弱性及评价方法国内外研究进展[J]. 水资源保护,2011,27(5):32-38. (CHEN Pan, LI Lan, ZHOU Wencai. Research progress on vulnerability of water resources and assessment methods at home and abroad[J]. Water Resources Protection, 2011, 27(5): 32-38. (in Chinese))

[12] 任源鑫,林青,韩婷,等. 陕西省水资源脆弱性评价[J]. 水土保持研究,2020(2):227-232. (REN Yuanxin, LIN Qing, HAN Ting, et al. Evaluation on the vulnerability of water resources in Shaanxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020(2): 227-232 (in Chinese))

(下转第 130 页)