

基于可变模糊评价法的农业旱灾灾后 恢复力评估研究

——以河北省为例

谷洪波,刘新意,刘芷妤
(湖南科技大学管理学院,湖南 湘潭 411201)

摘 要: 在综合考虑河北自然条件、社会经济条件,并借鉴已有干旱灾害恢复力研究成果的基础上,依据数据的可取性和详尽程度,选取降水量、复种指数、单位面积粮食产量、人均粮食产量、有效灌溉率、劳动力比重、农民人均收入和农业产投比等八个指标,构建农业旱灾灾后恢复力评价指标体系。通过层次分析法确定各指标的权重,构建可变模糊评价模型,对河北省 11 个市干旱灾害灾后恢复力进行评估。结果表明,石家庄旱灾灾后恢复力最高,级别特征值为 4.2329,其次是唐山市为 4.0046,张家口市恢复力最低,级别特征值为 1.8079,各地区旱灾灾后恢复力差异明显。而在影响恢复力高低的因素中,发现不同的因素对旱灾灾后恢复力的影响程度是不同的。降水量是影响农业干旱灾害灾后恢复力的最主要自然因素,有效灌溉率在农业干旱灾害灾后恢复力评价指标体系中占较大的权重,对灾后恢复力的影响较大,农民人均收入和人均粮食产量对灾后的救助及农民生活的恢复重建也具有较重要的调节作用。

关键词: 旱灾;灾后恢复力;层次分析法;可变模糊评价
中图分类号: F323.21 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2014)05-0174-07

Application of variable fuzzy assessment method to drought resilience evaluation: a case study of Hebei Province

GU Hong-bo, LIU Xin-yi, LIU Zhi-yu
(School of Management, Hunan University of Science and Technology, Xiangtan, Hunan 411201, China)

Abstract: Taking into consideration the natural and social economic conditions, eight indexes including precipitation, multiple cropping index, yield per unit area, per capita yield, effective irrigation rate, labor force proportion, per capita income of farmers, and ratio of agriculture output to input, were used to evaluate agricultural drought resilience. By using analytic hierarchy process, the weight of each index was determined, and the variable fuzzy assessment model was used for 11 cities of Hebei Province. The results indicated that there were significant differences among cities, with Shijiazhuang showing the highest value of 4.2329, Tangshan the second 4.0046, and Zhangjiakou the lowest 1.8079. We also found that effect of influencing factors on drought resilience varied. Precipitation was the most influencing factor, and effective irrigation rate as well as per capita income of farmers and ratio of agriculture output to input also showed considerable effects.

Keywords: drought disaster; drought resilience; assessment; the analytic hierarchy process; variable fuzzy method

恢复力是指承受压力的系统恢复和回到初始状态的能力,也是系统经受暂时扰动后回到平衡态的能力和速度^[1]。Timmerman 等^[2]最先将恢复力引入到社会学领域的研究中,认为恢复力是系统承受灾害事件并从中恢复的能力。Handmer 等^[3]把恢复力和灾害规划、灾害适应联系起来,将它作为衡量灾害系统的一个属性引入灾害学研究领域,从而形成“灾害恢复力”这一概念。农业旱灾灾后恢复力是灾后的一个动态过程量,指农业系统在遭受旱灾打击后,通过系统自我调节和外部能量输入,保持系统结构

和功能完整性的能力,即旱灾后的农业自然生态系统或人类社会经济系统遭受损失后,抵抗干旱,从旱灾中调整、适应、恢复和重建的能力。恢复力越强,系统可能遭受的后续影响和损失越小。

以往关于自然灾害灾后恢复力的研究主要以定性评估为主,集中研究灾害恢复力的重要性和影响因素等,定量评估研究则比较少。Bruneau 等^[4]从技术、组织、社会和经济 4 个相互联系的维度空间简称 TOSE 维度空间来研究地震恢复力,发现其具有鲁棒性、快速性、冗余性、智能化 4 个属性。Chang 等^[5]在研究地震后受灾区域的恢复力中,构建承灾体的社会-经济损失模型,通过计算损失量方法定量评估了地震破坏情况下的系统社区恢复力。张慧等^[5]提出区域地质灾害的恢复力概念模型,并定性分析区域地质灾害恢复力,探讨区域地质灾害的风险管理。葛怡、史培军和周忻等^[7]在定性研究恢复力和脆弱性内在联系的基础上,提出适合水灾恢复力的评估模型,并以湖南省长沙市为研究区对其水灾恢复力进行评价,提出了影响恢复力的关键因子。

旱灾恢复力评估从定性到定量已取得一定的进展。如杨小慧等^[8]在计算研究对象干旱恢复力水平的基础上,对所选取的各变量进行皮尔森相关分析,发现劳动力比重和有效灌溉面积对农户的干旱恢复力影响极大。商彦蕊以河北省邢台市为例探讨了灌溉农区农业旱灾系统恢复性基本问题,提出了其恢复性评价思路与框架,并构建综合指数评价模型^[9]。目前,旱灾灾后恢复力评价方法主要以层次分析法、专家打分法、主成分分析法、熵权法、DPSIR 模型等为主^[8-12]。然而灾后恢复力是一个复杂系统,受自然、社会、经济等多因素影响,且各因素之间是相互联系、相互转化的,具有模糊性和不确定性,因此对恢复力评估,难以用精确的数学方法或模型解决。本文在陈守煜教授可变模糊集的基础上,广泛参考相关研究文献及已有研究成果,探讨灾后灾害恢复力评估的新方法,提出可变模糊评价模型,通过变化模型及其参数,提高对恢复力评估的准确度和可信度^[13-16]。同时,以河北省为例,构建恢复力影响因素的评价指标体系,应用可变模糊评价模型对旱灾灾后恢复力进行评估,以期能为区域发展和防旱减灾提供量化依据。

1 可变模糊评价模型

1.1 可变模糊分析法

在一定时空条件组合下的模糊概念(事物、现

象)常具有相对性或动态可变性,相应地描述它的隶属度、隶属函数也应是相对的、动态的。可变模糊方法是运用辩证唯物论关于差异、共维、中介的概念,以对立统一定理为基础,建立相对隶属度函数的一种动态分析方法。

旱灾恢复力是一个复杂的系统,在一定时空条件下具有相对性或动态性,加之影响旱灾恢复力的因素很多,具有模糊性,同时旱灾恢复力从生态、社会、经济三方面综合评价属于多层次多属性决策问题,因此,利用可变模糊方法对旱灾灾后恢复力进行评估,通过变化模型的参数组合综合计算评价单元的恢复力大小,相对于 AHP、模糊综合评价评判等评价方法有一定的优越性。

1) 设有 n 个待评的旱灾恢复力评价对象

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \tag{1}$$

每个待评对象 j 的特征值按 m 个指标特征值来表示

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

则 n 个评价对象的特征值矩阵可表示为

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix} = (x_{ij})_{m \times n} \tag{3}$$

式中: x_{ij} 表示第 j 个评价对象第 i 个指标的特征值 $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

设评价对象有 m 个指标 c 个级别的指标标准区间,则指标标准区间值矩阵可表示为:

$$Y = \begin{pmatrix} [a_{11}, b_{11}] & [a_{12}, b_{12}] & \cdots & [a_{1c}, b_{1c}] \\ [a_{21}, b_{21}] & [a_{22}, b_{22}] & \cdots & [a_{2c}, b_{2c}] \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ [a_{m1}, b_{m1}] & [a_{m2}, b_{m2}] & \cdots & [a_{mc}, b_{mc}] \end{pmatrix} = ([a_{ih}, b_{ih}]) \tag{4}$$

式中: $i = 1, 2, \dots, m; h = 1, 2, \dots, c$ 。对于指标值越大,恢复力越强,则 $a_{ih} < b_{ih}$,反之则 $a_{ih} > b_{ih}$ 。

2) 根据矩阵 Y ,按实际情况确定级别 h 指标 i 相对隶属度等于 1 即 $u_A(x_{ij}) = 1$ 的点值矩阵 M_{ih} 。 M_{ih} 与 a_{ih}, b_{ih} 的关系式可表示为

$$M_{ih} = \frac{c-h}{c-1}a_{ih} + \frac{h-1}{c-1}b_{ih} \tag{5}$$

式中,当 $h = 1$ 时, $M_{ih} = a_{i1}$;当 $h = c$ 时, $M_{ih} = b_{ic}$ 。

位于 M_{ih} 与 $M_{i(h+1)}$ 的指标特征值 u_i ,对级别 h 与 $h + 1$ 构成对立模糊概念,应用对立统一定理:

$$u_h(u_i) + u_{(h+1)}(u_i) = 1 \tag{6}$$

式中, $u_h(u_i)$ 、 $u_{(h+1)}(u_i)$ 分别表示待评对象 u 指标 i 对级别 h 与 $h + 1$ 的相对隶属度。

3) 将待评旱灾恢复力区域指标的特征值 x_{ij} 与级别 h 指标 i 的相对隶属度等于 1 的值 M_{ih} 进行比较, 当 x_{ij} 落在 M_{ih} 左侧时, 相对隶属度函数为:

$$u_A(x_{ij})_h = 0.5 \left[1 + \frac{x_{ij} - a_{ih}}{M_{ih} - a_{ih}} \right]^\theta$$
$$x_{ih} \in [a_{ih}, M_{ih}] \tag{7}$$

$$u_A(x_{ij})_h = 0.5 \left[1 - \frac{x_{ij} - a_{ih}}{M_{ih} - a_{ih}} \right]^\theta$$
$$x_{ih} \in [M_{i(h-1)}, a_{ih}] \tag{8}$$

当 x_{ij} 落在 M_{ih} 右侧时, 其相对隶属度函数为:

$$u_A(x_{ij})_h = 0.5 \left[1 + \frac{x_{ij} - b_{ih}}{M_{ih} - b_{ih}} \right]^\theta$$
$$x_{ih} \in [M_{ih}, b_{ih}] \tag{9}$$

$$u_A(x_{ij})_h = 0.5 \left[1 - \frac{x_{ij} - b_{ih}}{M_{ih} - b_{ih}} \right]^\theta$$
$$x_{ih} \in [b_{ih}, M_{i(h+1)}] \tag{10}$$

式中, θ 为非负指数, 通常可取 $\theta = 1$ 。

4) 根据提出的可变模糊模型, 可计算出样本 j 对级别 h 的综合相对隶属度为:

$$u'_{hj} = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [w_j(1 - u_A(x_{ij})_h)]^p}{\sum_{i=1}^m (w_j u_A(x_{ij})_h)^p} \right\}^{\frac{\alpha}{p}}} \tag{11}$$

式中, $\alpha \in \{1, 2\}$ 为模型参数, $\alpha = 1$ 为最小一乘方优化准则, $\alpha = 2$ 为最小二乘方优化准则; $p \in \{1, 2\}$ 为距离参数, $p = 1$ 为海明距离, $p = 2$ 为欧式距离。当 $\alpha = 1, p = 1$ 时, 公式(11) 为模糊综合识别模型; 当 $\alpha = 1, p = 2$ 时, 公式为理想点模型; 当 $\alpha = 2, p = 1$ 时, 公式(11) 为神经网络神经元非线性特征的 S 型函数; 当 $\alpha = 2, p = 2$ 时, 公式(11) 为模糊优选模型。 w_i 为指标权重, 且满足 $\sum_{j=1}^m w_j = 1$ 。

根据(11) 式可计算出非归一化的综合相对隶属度矩阵:

$$U' = (u'_{hj}) \tag{12}$$

将上式归一化处理可得到综合相对隶属度矩阵:

$$U = (u_{(j)h}) \tag{13}$$

式中, $u_{(j)h} = u'_{hj} / \sum_{h=1}^c u'_{hj}$ (14)

5) 根据级别特征值公式, 可计算待评区域旱灾

恢复力的级别特征值向量:

$$H = (1, 2, \cdots, c) \cdot U \tag{15}$$

根据综合隶属度评价各区域旱灾恢复力的大小, 综合隶属度越大, 旱灾恢复力越大, 然后, 据此对评价区旱灾恢复力程度进行排序。

1.2 权重的确定

权重是表示各指标的相对重要程度, 或表示一种效益替换另一种效益的比例系数。合理确定和适当调整指标权重, 体现了决策指标体系中各评价因素轻重有度、主次有别, 更能增加决策指标的科学性。从目前的可变模糊评价方法研究来看, 还没有更为成熟的指标权重确定方法, 往往运用层次分析法和熵权法来求权重^[17-18]。熵权法是依据指标客观信息量的大小确定权重, 客观性较强, 但是获取数据比较难。层次分析法依赖经验判断, 这种方法相对较为成熟。本文采用典型的主观权重 AHP 法进行最终确定。

1.2.1 构造判断矩阵 按照 1-9 标度及其倒数标度法(表 1), 进行两两比较, 得到判断矩阵 R , 如: X_1 与 X_2 相比稍微重要, 在判断矩阵里 X_1 行与 X_2 列相交的位置是 3; X_1 与 X_3 一样重要, 在判断矩阵 X_1 行与 X_3 列相交的位置就是 1。

表 1 Saaty1-9 判断矩阵标度法	
Table 1 Saaty's 1-9 judgement matrix scale method	
标度 Scale	含义 Meaning
1	两个因素相比, 同样重要(同样强)
3	两因素相比, 一个因素比另一个因素稍微重要(稍微强)
5	两因素相比, 一个因素比另一个因素明显重要(明显强)
7	两个因素相比, 一个因素比另一个因素重要得多(强得多)
9	两个因素相比, 一个因素比另一个因素极端重要(极端强)
2, 4, 6, 8	在上述两相邻判断等级之间
倒数 Reciprocal	若因素 i 与 j 的重要性之比为 t_{ij} , 那么因素 j 与 i 的重要性之比为 $1/t_{ij}$

1.2.2 权值计算

根据判断矩阵 $R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mm} \end{bmatrix}$ (16)

确定各评价指标的权重系数 w :

$$w_i = \frac{\sqrt[m]{r_{i1}r_{i2}r_{im}}}{\sum_{i=1}^m \sqrt{r_{i1}r_{i2}r_{im}}} \tag{17}$$

1.2.3 一致性检验

计算最大特征值: $\lambda_{\max} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \frac{(R_w)_i}{w_i}$ (18)

计算一致性指标 CI : $CI = \frac{\lambda_{\max} - m}{m - 1}$ (19)

CI 的值越小,说明一致性相对较好;值越大说明一致性相对较差。

计算随机一致性比值 CR (矩阵阶数为 8 时,随机一致性指标 RI 为 1.41)

$$CR = \frac{CI}{RI}$$
 (20)

$CR < 0.10$, 说明矩阵具有满意的一致性, 否则,就需要调整判断矩阵,使之具有满意的一致性。

2 应用实例

2.1 研究区概况

河北省地处东经 113°04′至 119°53′,北纬 36°01′至 42°37′之间,位于华北平原的北部,兼跨内蒙古高原。地貌以山地、平原、坝上高原、盆地为主,其中山地面积占全省面积的 37.40%,平原在 30.49%。气候属温带季风气候—暖温带、半湿润—半干旱大陆性季风气候,全年降水较少,年平均降水量在 254.5~704.1 mm,且降水变率较大。耕地总面积 651.7 万 hm^2 ,占地表总面积 34.7%。截至 2011 年末,全省总人口为 7240.51 万人,全省生产总值为 24515.76 亿元,农民人均收入 6242.1 元。行政区划包括石家庄、唐山、秦皇岛、邯郸、邢台、保定、张家口、承德、沧

州、廊坊、衡水 11 个市^[19]。河北省是我国粮食主产区之一,也是我国北方粮棉油生产重要基地,但自古以来气象灾害频繁。气象灾害尤以旱灾为甚,有“十年九旱”之说,旱灾以春旱最多,灾情重、范围广、影响大,且干旱强度有提高的趋势。因此,本文选取河北省为例,构建恢复力影响因素评价指标体系,应用可变模糊评价模型对其旱灾灾后恢复力进行评估。

2.2 指标选取

影响干旱灾害灾后恢复力评估的因子众多,许多因素对干旱恢复力的影响程度难以量化,且数据获取也较困难。因此,从数据收集的有限性出发,以客观性、数据获取便利性,指标量化可行性、突出主导因素为指标选取原则,并借鉴已有的干旱灾害恢复力研究成果^[8-9,20],从自然环境因素和社会经济因素中选择了能够充分反映河北省 11 个地级市干旱灾害灾后恢复力的 8 个指标。主要包括降水量(X_1)、复种指数(农作物播种面积/耕地面积, X_2)、单位面积粮食产量(粮食总产量/耕地总面积, X_3)、人均粮食产量(粮食总产量/总人口数, X_4)、有效灌溉率(有效灌溉面积/耕地总面积, X_5)、劳动力比重(劳动力/总人口数, X_6)、农民人均年收入(X_7)、农业产投比(农业总产出/农业总投入, X_8),相关数据列于表 2。

表 2 河北省农业旱灾灾后恢复力评估指标
Table 2 Assessment index of agricultural drought resilience in Hebei

评价地区 Evaluation region	降水量 Precipitation /mm	复种指数 Multiple cropping index /($\text{hm}^2 \cdot \text{hm}^{-2}$)	单位面积 粮食产量 Grain yield per unit area /($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	人均粮食 产量 Per capita grain production /kg	有效灌溉率 Effective irrigation rate /%	劳动力比重 Labor force proportion /%	农民人均收入 Per capita income of farmers /元	农业产投比 Ratio of agriculture output to input /%
石家庄市 Shijiazhuang	602.0	1.74	8.73	508.1	84.80	39.56	6159.8	76.37
唐山市 Tangshan	554.9	1.40	5.34	402.1	87.25	43.70	7528.0	56.92
秦皇岛市 Qinhuangdao	529.1	1.18	4.64	285.4	71.74	41.33	5728.6	80.13
邯郸市 Handan	448.9	1.63	7.11	522.4	82.24	43.77	5605.4	76.47
邢台市 Xingtai	589.5	1.55	6.38	588.0	84.77	44.53	4660.4	74.65
保定市 Baoding	601.9	1.53	7.11	509.2	82.19	50.61	5017.8	72.46
张家口市 Zhangjiakou	467.4	0.81	1.35	270.1	29.45	46.92	3734.4	78.08
承德市 Chengde	536.6	1.02	3.60	349.1	43.38	51.65	4036.8	69.28
沧州市 Cangzhou	535.4	1.46	5.87	631.7	71.32	46.86	5118.6	80.62
廊坊市 Langfang	554.7	1.32	4.90	438.2	73.88	41.72	7055.8	83.22
衡水市 Hengshui	591.6	1.48	6.09	804.3	83.82	45.38	4157.6	90.14

数据来源:根据《河北农村统计年鉴》(2008—2012)和《河北经济年鉴》(2008—2012)相关数据整理得出。
Data sources: according to “Statistical Yearbook of Hebei Province (2008—2012)” and “Hebei Economic Yearbook” (2008—2012).

2.3 河北省旱灾灾后恢复力可变模糊评价

2.3.1 评估指标的分级 通过对各种影响因素对

农业旱灾恢复力的影响分析, $X_1, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8$ 越大,干旱灾害灾后恢复力就越强; X_2 对恢

复力的影响刚好相反,即越大恢复力就越弱。由于

根据各市各指标因素的聚类分布特征,采用内插等

评估指标的分级的临界值目前还没有统一的标准,

分处理,得到各影响因素的等级界限值。如表 3。

表 3 农业旱灾灾后恢复力评估指标分级标准
Table 3 Grading standards of drought resilience indices

评价指标 Evaluation index	1 级 Grade 1	2 级 Grade 2	3 级 Grade 3	4 级 Grade 4	5 级 Grade 5
降水量 Precipitation(X_1)	445 ~ 480	480 ~ 515	515 ~ 550	550 ~ 585	585 ~ 610
复种指数 Multiple cropping index(X_2)	1.8 ~ 1.6	1.6 ~ 1.4	1.4 ~ 1.2	1.2 ~ 1.0	1.0 ~ 0.8
单位面积粮食产量 Yield per unit area(X_3)	1.5 ~ 3.0	3.0 ~ 4.5	4.5 ~ 6.0	6.0 ~ 7.5	7.5 ~ 9.0
人均粮食产量 Per capita grain production(X_4)	260 ~ 370	370 ~ 480	480 ~ 590	590 ~ 700	700 ~ 810
有效灌溉率 Effective irrigation rate(X_5)	15 ~ 30	30 ~ 45	45 ~ 60	60 ~ 75	75 ~ 90
劳动力比重 Labor force proportion(X_6)	37 ~ 40	40 ~ 43	43 ~ 46	46 ~ 49	49 ~ 52
农民人均收入 Per capita income of farmers(X_7)	3000 ~ 4000	4000 ~ 5000	5000 ~ 6000	6000 ~ 7000	7000 ~ 8000
农业产投比 Ratio of agriculture output to input(X_8)	55 ~ 63	63 ~ 71	71 ~ 79	79 ~ 86	86 ~ 95

2.3.2 相对隶属度计算 根据表 1、2 河北省农业旱灾灾后恢复力评估指标特征值矩阵和分级评估指标标准值区间矩阵 X 、 Y ,通过公式(5) 计算出点值矩阵 M :

$$M = \begin{bmatrix} 445 & 488.75 & 532.5 & 576.25 & 610 \\ 1.8 & 1.55 & 1.3 & 1.05 & 0.8 \\ 1.5 & 3.375 & 5.25 & 7.125 & 9 \\ 260 & 397.5 & 535 & 672.5 & 810 \\ 15 & 33.75 & 52.5 & 71.25 & 90 \\ 37 & 40.75 & 44.5 & 48.25 & 52 \\ 3000 & 4250 & 5500 & 6750 & 8000 \\ 55 & 65 & 75 & 85 & 95 \end{bmatrix}$$

由指标特征值矩阵指标落入 M 点的左侧或右

侧,计算各指标对各等级的相对隶属度。以石家庄为例,根据公式(7 – 10) 可计算出石家庄各指标对各级别的相对隶属度 u :

$$u = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0.1600 & 0.8400 \\ 0.6200 & 0.3800 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.090 & 0.9100 \\ 0 & 0.2455 & 0.7545 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0.1733 & 0.8267 \\ 0.5733 & 0.4267 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.3935 & 0.6065 & 0 \\ 0 & 0 & 0.7038 & 0.2962 & 0 \end{bmatrix}$$

2.3.3 确定指标权重 各指标权重由 AHP 法确定,通过建立指标判断矩阵表 4。

表 4 指标判断矩阵
Table 4 Indexes judgment matrix

项目 Item	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	1	3	1	3	1	5	3	5
X_2	1/3	1	1/3	1	1	3	1	3
X_3	1	3	1	3	1/3	1/3	1/3	5
X_4	1/3	1	1/3	1	1/3	1	1/3	3
X_5	1	1	3	5	1	3	3	3
X_6	1/5	1/3	3	1	1/3	1	1/3	1/3
X_7	1/3	1	3	3	1/3	3	1	3
X_8	1/5	1/3	1/5	1/3	1/3	3	1/3	1

再通过公式(17 – 20),可得出权重 w :
 $w = (0.2401,0.1063,0.1134,0.0704,0.2252,0.0576,0.1399,0.0471)$

2.3.4 综合相对隶属度计算 应用可变模糊模型(11),可求出石家庄对级别 $h(h = 1,2,3,4,5)$ 的四种组合的综合相对隶属度,并进行归一化,同理,也可求出其他 7 个市对 4 种组合的综合相对隶属度,并

进行归一处理,其结果如表 5 所示。
2.3.5 评估结果与分析 根据级别特征值公式(15),计算出样本旱灾灾后恢复力的级别特征值,即河北省 11 个市的农业旱灾灾后恢复力的综合评估结果,见表 5。从中可知,河北省各地区农业旱灾灾后恢复力差异明显,石家庄农业旱灾灾后恢复力最高,级别特征值为 4.2329,其次是唐山市,为4.0046,

张家口市最小,为 1.8079,其强弱排序为石家庄、唐山、邯郸、张家口市。
山、保定、衡水、邢台、廊坊、沧州、秦皇岛、承德、邯

表 5 不同模型参数组合的综合相对隶属度
Table 5 Integrated relative membership degree for different kinds of model parameters

样本 Sample	$a = 1, p = 1$					$a = 1, p = 2$					$a = 2, p = 1$					$a = 2, p = 2$				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
石家庄市 Shijiazhuang	0.1183	0.0135	0.1581	0.2085	0.5016	0.1499	0.0205	0.1604	0.2140	0.4553	0.0306	0.0003	0.0541	0.1025	0.8125	0.0574	0.0008	0.0672	0.1333	0.7413
唐山市 Tangshan	0.0363	0.1772	0.1608	0.3203	0.3053	0.0095	0.0787	0.0686	0.4598	0.3834	0.0033	0.1044	0.0834	0.4278	0.3811	0.0095	0.0787	0.0686	0.4598	0.3834
秦皇岛市 Qinhuangdao	0.0627	0.1253	0.6647	0.1473	0.0000	0.1145	0.1340	0.5935	0.1581	0.0000	0.0052	0.0236	0.9371	0.0341	0.0000	0.0255	0.0364	0.8848	0.0534	0.0000
邯郸市 Handan	0.2985	0.0937	0.3304	0.2773	0.0000	0.3462	0.1046	0.2700	0.2793	0.0000	0.3142	0.0217	0.4012	0.2629	0.0000	0.4479	0.0269	0.2520	0.2731	0.0000
邢台市 Xingtai	0.0000	0.2418	0.2143	0.2240	0.3200	0.0000	0.2578	0.1658	0.2158	0.3607	0.0000	0.2199	0.1650	0.1832	0.4319	0.0000	0.2306	0.1099	0.1480	0.5116
保定市 Baoding	0.0000	0.2247	0.1728	0.1994	0.4032	0.0000	0.2250	0.1711	0.2104	0.3934	0.0000	0.1578	0.0851	0.1189	0.6382	0.0000	0.1688	0.1183	0.1582	0.5547
张家口市 Zhangjiakou	0.5432	0.2349	0.0437	0.0555	0.1227	0.4337	0.2465	0.0565	0.0753	0.1880	0.8409	0.1237	0.0030	0.0049	0.0275	0.6803	0.1975	0.0068	0.0126	0.1028
承德市 Chengde	0.1125	0.3163	0.3623	0.1175	0.0913	0.1334	0.2471	0.3640	0.1474	0.1080	0.0341	0.3803	0.5264	0.0376	0.0216	0.0564	0.2456	0.5921	0.0713	0.0347
沧州市 Cangzhou	0.0000	0.1475	0.4976	0.3531	0.0018	0.0000	0.1957	0.4545	0.3458	0.0040	0.0000	0.0385	0.6570	0.3045	0.0000	0.0000	0.0766	0.4065	0.5168	0.0000
廊坊市 Langfang	0.0000	0.1360	0.3276	0.3820	0.1544	0.0000	0.1339	0.2914	0.3782	0.1965	0.0000	0.0461	0.3656	0.5268	0.0615	0.0000	0.0469	0.2982	0.5393	0.1156
衡水市 Hengshui	0.0680	0.1875	0.1188	0.2077	0.4180	0.1151	0.2062	0.1181	0.2013	0.3593	0.0111	0.1057	0.0373	0.1345	0.7114	0.0414	0.1634	0.0439	0.1543	0.5970

表 6 可变模糊分析法评估结果
Table 6 Results of variable fuzzy assessment method

样本 Sample	$a = 1, p = 1$	$a = 1, p = 2$	$a = 2, p = 1$	$a = 2, p = 2$	稳定范围 Stable range	均值 Mean value
石家庄市 Shijiazhuang	3.9616	3.8044	4.6653	4.5004	3.9616 ~ 4.6653	4.2329
唐山市 Tangshan	3.6812	4.1291	4.0790	4.1289	3.6812 ~ 4.1291	4.0046
秦皇岛市 Qinhuangdao	2.8967	2.7951	3.0000	2.9661	2.7951 ~ 3.0000	2.9145
邯郸市 Handan	2.5865	2.4824	2.6129	2.3505	2.3505 ~ 2.6129	2.5081
邢台市 Xingtai	3.6221	3.6793	3.8271	3.9406	3.6221 ~ 3.9406	3.7673
保定市 Baoding	3.7811	3.7723	4.2376	4.0988	3.7723 ~ 4.2376	3.9724
张家口市 Zhangjiakou	1.9796	2.3372	1.2546	1.6601	1.2546 ~ 2.3372	1.8079
承德市 Chengde	2.7589	2.8496	2.6322	2.7824	2.6322 ~ 2.8496	2.7558
沧州市 Cangzhou	3.2093	3.1581	3.2660	3.4403	3.1581 ~ 3.4403	3.2684
廊坊市 Langfang	3.5548	3.6372	3.6037	3.7235	3.5548 ~ 3.7235	3.6298
衡水市 Hengshui	3.3639	3.4835	4.4295	4.1020	3.3639 ~ 4.4295	3.8447

3 结 论

本研究综合考虑自然环境因素、社会经济因素和数据可选取性等多方面因素,选取降水量、复种指数、单位面积粮食产量、人均粮食产量、有效灌溉率、劳动力比重、农民人均年收入、农业产投比八个指标,构建农业旱灾灾后恢复力评价体系,并建立可变模糊模型对河北省各市旱灾灾后恢复力进行评估。

结果表明:石家庄市灾后恢复力最高,张家口市恢复力最低,各地区恢复力差异明显。而在影响恢复力高低的因素中,发现不同的因素对旱灾灾后恢复力的影响程度是不同的。降水量是影响农业干旱灾害灾后恢复力的最主要自然因素,降水量多的地区,农业干旱灾害的恢复力较高,对干旱的适应、调整、恢复能力也较强。有效灌溉率在农业干旱灾害灾后恢复力评价指标体系中占较大的权重,对灾后恢复力

的影响较大,因此,加强农田水利设施建设,提高农田有效灌溉面积,可大大增强农业系统的抗旱能力,从而提高受灾地区灾后的恢复力。农民人均收入和人均粮食产量对灾后的救助工作及农民自身生活的恢复重建也具有较重要的调节作用,农民人均收入和人均粮食占有量越高,农民对旱灾的承受能力越强,旱灾对农民的生活影响越小,灾后恢复力越强。

综合农业旱灾灾后恢复力评估指标,建立可变模糊评价模型,提出了农业旱灾恢复力定量评估的可变模糊分析法。该方法根据变化的模型及相关参数,构建多个评价模型进行评价,计算出农业干旱灾害灾后恢复力的级别特征值,将不同模型的级别特征值平均值作为评价结果,克服了分析评价的单一性,是一种有效的农业旱灾灾后恢复力定量评估的新方法。地区旱灾灾后恢复力涉及自然、社会、经济等多方面主客观因素,根据研究区的实际情况和特点科学选取较为系统、具体和有效的指标,是构建评估模型中亟待解决的问题。同时随着干旱灾害灾后恢复力理论和方法的不断创新,应进一步深入研究,探索出结构性强、主观偏好弱的评价方法,使评价结果更有信服力,为防灾减灾和灾害管理提供更为科学合理的理论参考。

参 考 文 献:

[1] Pimm S L. The complexity and stability of ecosystems[J]. Nature, 1984,307:321-326.

[2] Timmerman P. Vulnerability, Resilience and the Collapse of Society: A Review of Models and Possible Climatic Applications[R]. Toronto, Canada; Institute for Environmental Studies, University of Toronto, 1981.

[3] Handmer J. W, Dovers S R. A typology of resilience: rethinking institutions for sustainable development[J]. Industrial and Environmental Crisis Quarterly, 1996,9(4):482-511.

[4] Bruneau M, Chang S, Eguchi R, et al. A frame work to quantitatively assess and enhance seismic resilience of communities[J]. Earthquake

Spectra, 2003, 19(4): 733-752.

[5] Chang S E, Masanobu Shinozuka. Measuring improvements in the disaster resilience of communities[J]. Earthquake Spectra, 2004, 20(3): 739-755.

[6] 张 慧, 张锦高. 区域地质灾害恢复力及风险管理研究——以三峡库区为例[J]. 工业技术经济, 2008, 27(1): 112-116.

[7] 葛 怡, 史培军, 周 忻. 水灾恢复力评估研究: 以湖南省长沙市为例[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2011, 47(2): 197-200.

[8] 杨小慧, 王 俊, 刘 康. 半干旱区农户对于旱恢复力的定量分析——以甘肃省榆中县为例[J]. 干旱区资源与环境, 2010, 24(4): 101-106.

[9] 商彦蕊, 陈佳飞, 张瑞清, 等. 农业旱灾系统恢复性评价思路与方法——以河北省邢台市为例[J]. 中国农学通报, 2011, 19(1): 167-171.

[10] 万金红, 王静爱, 刘 珍. 从收入多样性的视角看农户的旱灾恢复力——以内蒙古兴和县为例[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(1): 122-126.

[11] 高 路, 陈 思, 周洪建. 重庆市 2006 年特大旱灾分析与灾后恢复性研究[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(1): 21-26.

[12] 高立龙, 苏 筠. 湖南鼎城水田农作区农户农业旱灾后恢复力评价研究[J]. 湖南农业科学, 2011, (19): 57-61.

[13] 陈守煜. 可变模糊集理论与模型及其应用[M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2009.

[14] 周慧成, 张 丹. 可变模糊集理论在旱涝灾害评价中的应用[J]. 农业工程学报, 2009, (9): 56-60.

[15] 吴成国, 王义民, 唐言明, 等. 基于集对分析的洪水危险性评价可变模糊识别模型[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, (1): 221-225.

[16] 邱 林, 王文川, 陈守煜. 农业旱灾脆弱性定量评估的可变模糊分析法[J]. 农业工程学报, 2011, (12): 60-65.

[17] 周振民, 穆文彬. 组合权重可变模糊模型在地表水水质评价中的应用[J]. 中国农村水利水电, 2011, (10): 82-85.

[18] 曹永强, 李香云, 马 静, 等. 基于可变模糊算法的大连市农业干旱风险评价[J]. 资源科学, 2011, (5): 983-988.

[19] 河北省统计局. 河北农村统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.

[20] 王 俊, 杨新军, 刘文兆. 半干旱区社会—生态系统干旱恢复力的量化研究[J]. 地理科学进展, 2010, (11): 1385-1390.