

谷洪波,肖茜显,张振宇. 基于区间数度量的湖南农业自然灾害脆弱性评价与治理[J]. 湖南科技大学学报(自然科学版), 2021, 36(1):106-115. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2021.01.016

GU H B, XIAO X X, ZHANG Z Y. Research on Vulnerability Assessment and Management of Agricultural Natural Disasters in Hunan Based on Interval Number Measurement [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2021, 36(1):106-115. doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2021.01.016

# 基于区间数度量的湖南农业自然灾害脆弱性评价与治理

谷洪波<sup>1\*</sup>, 肖茜显<sup>1</sup>, 张振宇<sup>2</sup>

(1.湖南科技大学 商学院,湖南 湘潭 411201; 2.湘潭日报,湖南 湘潭 411100)

**摘要:**农业生态系统面对自然灾害的脆弱性日益凸显,严重阻碍着我国乡村振兴和农业现代化的进程.采用区间数评价理论,结合熵权法和层次分析法构建农业自然灾害脆弱性评价基本框架和模型,并以灾害频发的湖南为实证研究对象,对湖南14个地州市的农业自然灾害脆弱性进行评价与分析.结果表明:影响湖南农业自然灾害脆弱性的重要因素主要有造林面积、人口密度、地区生产总值、水库数量、防洪堤岸长度;湖南农业自然灾害脆弱性由大到小排序依次为张家界、邵阳、娄底、湘西自治州、湘潭、怀化、益阳、永州、岳阳、衡阳、常德、长沙、郴州、株洲.以实证分析为基础提出了治理湖南农业自然灾害脆弱性的对策建议.

**关键词:**农业自然灾害;脆弱性评估;区间数评价;熵权法

**中图分类号:**F327      **文献标志码:**A      **文章编号:**1672-9102(2021)01-0106-10

## Research on Vulnerability Assessment and Management of Agricultural Natural Disasters in Hunan Based on Interval Number Measurement

GU Hongbo<sup>1</sup>, XIAO Xixian<sup>1</sup>, ZHANG Zhenyu<sup>2</sup>

(1. School of Business, Hunan University of Science and Technology, Xiangtang 411201, China; 2. Xiangtan Daily, Xiangtan 411100, China)

**Abstract:** The vulnerability of agricultural ecosystems to natural disasters has become increasingly prominent, which has seriously hindered the process of Rural Revitalization and agricultural modernization in China. Taking Hunan province, where disasters occur frequently, as the empirical research object. Based on interval number evaluation theory, entropy weight method and analytic hierarchy process (AHP), the basic framework and model of agricultural natural disaster vulnerability evaluation were constructed, to evaluate and analyze the agricultural natural disaster vulnerability of 14 cities in Hunan. The results showed that the main factors affecting the vulnerability of agricultural natural disasters in Hunan are afforestation area, population density, GDP, number of reservoirs and length of flood control embankment; the vulnerability of agricultural natural disasters in Hunan

收稿日期:2020-11-02

基金项目:湖南省教育厅科学研究(重点)项目资助(19A159);湖南省社会科学成果评审委员会(重点)项目资助(XSP21ZDI013);湖南省社科基金资助项目(16YBA166)

\*通信作者, E-mail:532033864@qq.com

from large to small is: Zhangjiajie, Shaoyang, Loudi, Xiangxi, Xiangtan, Huaihua, Yiyang, Yongzhou, Yueyang, Hengyang, Changde, Changsha, Chenzhou, Zhuzhou. On the basis of empirical analysis, the countermeasures and suggestions to manage the vulnerability of agricultural natural disasters in Hunan Province are put forward.

**Keywords:** agricultural natural disasters; vulnerability assessment; interval number evaluation; entropy weight method

农业是国民经济的基础产业,要想实现经济社会的持续稳定协调发展,首先必须实现农业的持续稳定发展.但农业是自然再生产与经济再生产相交织的产业,农业的发展受自然条件的影响大.面对种类多、分布广、发生频繁、影响大的自然灾害,我国农业系统承灾能力弱,脆弱性高.湖南是我国粮棉油生产大省,农业在全国具有十分重要的地位,同时湖南也是我国南方自然灾害大省之一,近年来,每年因洪涝、干旱和地质灾害等自然灾害年均损失约为243亿元.因此,开展农业自然灾害脆弱性评价,精准辨识影响湖南农业自然灾害脆弱性的主要因素和不同区域脆弱性的高低,可为科学有效提高农业灾害治理能力,实现湖南农业可持续发展和乡村振兴提供决策依据和政策参考.

关于自然灾害脆弱性评价,国内外许多学者开展了研究,有的以定性分析为主,如 Keenan S P<sup>[1]</sup>、梁恒谦<sup>[2]</sup>;有的主要是进行定量分析,如 Wilhelmi O V<sup>[3]</sup>、武建军<sup>[4]</sup>.但目前学者们更多的是采用定性与定量相结合的分析方法,他们从不同角度选取影响自然灾害脆弱性的指标因子构建指标体系,运用神经网络、灰色关联等数学方法对区域农业自然灾害脆弱性进行综合评价,如谢家智<sup>[5]</sup>从自然、经济、社会 and 科技4个方面构建农业旱灾脆弱性评价指标体系,运用BP神经网络法对重庆市农业旱灾脆弱性进行综合评价分析;金菊良<sup>[6]</sup>从暴露性子系统、灾损敏感性子系统和防灾减灾能力子系统3个维度设计指标体系,构建基于灰色关联度和联系数耦合的农业旱灾脆弱性评价模型对蚌埠市农业旱灾脆弱性进行了评价;陈启亮<sup>[7]</sup>从抵抗力、适应力和恢复力3个维度设计农业自然灾害社会脆弱性指标体系,运用因子分析法和熵权法对农业自然灾害脆弱性进行综合评价;阮鑫鑫<sup>[8]</sup>和徐玉霞<sup>[9]</sup>从易损性和适应性2个维度分别考察了湖北省自然灾害社会脆弱性和宝鸡市农业洪涝灾害脆弱性驱动因素,并建立脆弱性评价指标体系进行评估;刘兰芳<sup>[10]</sup>从自然因素和社会因素2个方面构建农业洪涝灾害脆弱性评价指标体系,对衡阳市农业洪涝灾害脆弱性进行定量评估;马雅丽<sup>[11]</sup>选取作物因素、环境因素和人为因素3类因素的11项指标对晋北地区农业旱灾脆弱性进行定量评估.已有研究成果为本文的研究提供了很有意义的借鉴,但以往的研究在指标的刻画上,大多是用精确的数值在确定性分析的框架下来描述指标的特征,即通过具体的点值来刻画指标属性,而自然灾害脆弱性评价是一个复杂的多属性评价问题,其评估过程中有很多指标具有不确定性和模糊性,通常很难获得精准的数值,只能以区间估计的方法给出指标取值的大致范围.为此,本文提出采用区间数理论和方法,结合熵权法和层次分析法构建农业自然灾害脆弱性评价基本框架和模型,对湖南14个地州市的农业自然灾害脆弱性开展评价,实现了脆弱性评价从传统的确定性评价到不确定性评价的拓展,有效提高了脆弱性评价的科学性和实用性.

## 1 湖南农业自然灾害脆弱性的影响因素

由上述脆弱性评价研究成果可知,农业自然灾害脆弱性的形成除受外部致灾环境的冲击外,还受到区域内部诸多脆弱性因素的驱动,如区域的自然地理环境、社会经济系统及其组合等.本文主要从自然、社会、经济和技术4个方面因素来进行分析.

### 1.1 自然因素

异常气候是引发农业系统脆弱性的致灾因子.湖南为大陆亚热带季风性湿润气候,气候年内、年际变化较大,干旱和洪涝等自然灾害较为严重,长时间的降雨和长期的大范围干旱会使得农作物产量大

幅下降.除此之外,土壤状况、耕地特征、森林植被等都是可能加剧系统脆弱性的重要自然因素.湖南土壤结构以红壤、黄壤为主,红壤、黄壤等土壤蓄水能力差,强降雨来临时加剧水土流失,提高了农业承灾体的脆弱性;森林植被具有调节气候、保持水土等功能,加强植树造林、提高森林和植被覆盖率可降低农业系统面对自然灾害时的脆弱性.此外,当遭受相同强度自然灾害冲击时,单位面积产值高、耕地和粮食面积等资源集中的地区,其农作物相对损失和绝对损失都会大大提高,农业系统的脆弱性提高.

## 1.2 社会因素

社会因素对农业自然灾害脆弱性的强化作用主要表现在人口因素的影响.人不仅是承灾主体,也是致灾因子.首先,人口密度与农业自然灾害脆弱性的形成有一定的关联,人口密度过大会给资源环境带来巨大压力,容易造成环境系统失衡;其次,人口结构对农业自然灾害脆弱性也有影响,农村人口相较于城市人口而言,文化程度偏低,防灾抗灾能力较差,也加大了农业自然灾害的脆弱性.据统计数据显示,湖南2019年乡村人口占比42.78%,高于全国平均的乡村人口占比39.4%,表明湖南农村人口目前仍占有较高比例;再次,医疗水平也决定了地区农业自然灾害的应对能力,医疗水平越高的区域,灾后恢复速度越快,自然灾害脆弱性也越低.

## 1.3 经济因素

地区生产总值和人均收入水平等经济因素也会间接影响灾害的脆弱性.地区生产总值和人均收入水平高的地区,减灾抗灾投入潜力大、能力强,会大大降低自然灾害的脆弱性;财富分配不均会增加贫困群体在应对自然灾害时的脆弱性,与城市居民相比,我国农民群体收入较低、抵抗灾害的能力弱,属于自然灾害脆弱性较高的群体,他们也因此很容易因灾致贫和返贫.与其他产业相比,目前我国农业的现代化水平、财政金融支持水平和产业化水平等仍然不高,在一定程度上会传递出较高的农业自然灾害脆弱性.

## 1.4 技术因素

农业技术水平直接影响农业系统的抗灾潜力.区域水利设施越完备,水利化程度越高,农业自然灾害脆弱性就小,反之则越大.目前,湖南采用喷灌、滴灌、渗灌的耕地仅占湖南省灌溉面积的1.8%,现代化大中型农田水利设施还有待加强和完善.建设和完善现代水利设施,科学协调水资源的时空分配,可大大降低农业系统面对自然灾害时的脆弱性;其次,交通便利度和应急救援预案完备度也与脆弱性呈负相关,良好的交通运输有助于灾害应对和援助方案的实施.交通越便利、预案越完备的地区,其自然灾害防御和应对能力就越强,从而脆弱性越小.

# 2 基于区间数测度的农业自然灾害脆弱性评估模型构建

## 2.1 区间数基本理论

### 2.1.1 区间数基本概念与运算法则

定义1(区间数)<sup>[12]</sup>若  $-\infty < a^- \leq a^+ < +\infty$ , 则称  $a = [a^-, a^+]$  为实数空间中的有界闭区间数.如果  $a^- \geq 0$ , 则称  $a = [a^-, a^+]$  为非负有界闭区间数.特别地,如果  $a^- = a^+ = a$ , 则  $a = [a^-, a^+]$  退化为实数  $a$ .

定义2(区间数运算法则)<sup>[12]</sup> 设  $a = [a^-, a^+]$  和  $b = [b^-, b^+]$  是任意2个有界闭区间数,则

$$1) a + b = [a^- + b^-, a^+ + b^+];$$

$$2) a - b = [a^- - b^+, a^+ - b^-];$$

$$3) ka = \begin{cases} [ka^-, ka^+], & k \geq 0; \\ [ka^+, ka^-], & k < 0. \end{cases}$$

### 2.1.2 区间数可能度与排序方法

由于脆弱性评估结果是区间数,为了比较不同区域的脆弱性程度,需要使用区间数的排序方法来比较

2 个区间数的大小.

定义 3(区间数大小模糊事件)<sup>[13]</sup> 设  $a = [a^-, a^+]$  和  $b = [b^-, b^+]$  是任意 2 个区间数,则称  $\{a \geq b\} = \{(x, y) : x \geq y, x \in [a^-, a^+], y \in [b^-, b^+]\}$  为区间数  $a$  大于等于  $b$  模糊事件.

定义 4(区间数可能度)<sup>[13]</sup> 设  $a = [a^-, a^+]$  和  $b = [b^-, b^+]$  是任意 2 个区间数,则  $a \geq b$  的可能度为  $P\{a \geq b\} = P\{(x, y) : x \geq y, x \in [a^-, a^+], y \in [b^-, b^+]\}$ .

由定义 4,应用如下可能度计算模型<sup>[14]</sup>:

$$P\{a \geq b\} = \begin{cases} 0, & b^- > a^+; \\ 1 - \frac{(b^+ - a^-)}{2l_a l_b}, & b^- \leq a^- < b^+ \leq a^+; \\ \frac{a^- + a^+ - 2b^-}{2l_b}, & b^- \leq a^- < a^+ \leq b^+; \\ \frac{2a^+ - b^+ - b^-}{2l_a}, & a^- \leq b^- \leq b^+ \leq a^+; \\ \frac{(a^+ - b^-)^2}{2l_a l_b}, & a^- \leq b^- < a^+ \leq b^+; \\ 1, & b^+ \leq a^-. \end{cases}$$

式中:  $l_a, l_b$  为区间  $a$  和区间  $b$  的长度.

基于区间数可能度计算模型,具有保序性的区间数综合排序的基本步骤:<sup>[15]</sup>

首先,设  $a_i = [a_i^-, a_i^+]$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  为区间数序列,构建区间数两两比较的可能度矩阵  $p$ .

$$p = \begin{pmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1n} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ p_{n1} & p_{n2} & \cdots & p_{nn} \end{pmatrix}.$$

式中:  $p_{ij} = P\{a_i \geq a_j\}$ ,  $p_{ii} = 0.5$ ,  $p_{ij} + p_{ji} = 1$ ,  $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$ .

其次,计算每个区间数的优序数  $\tau(a_i) = \sum_{j=1}^n 1_{\{p_{ij} > 0.5\}}$ ,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ , 式中  $1_{\{p_{ij} > 0.5\}}$  表示:如果  $p_{ij} > 0.5$ , 则取值为 1, 否则为 0.

最后,对计算出的区间数优序数大小进行排序,优序数越大则区间数越大.若优序数相同,则区间数中点值越大的区间数越大;若中点值也相同,则区间长度越短的区间数越大.

## 2.2 构建脆弱性的评价指标体系

本文借鉴 Cutter 提出的 HOP(Hazards-of-Place)概念模型<sup>[16]</sup>,依据上述湖南省自然灾害脆弱性影响因素的分析,借鉴国内外学者对自然灾害脆弱性指标体系的已有研究成果,以《湖南统计年鉴 2019》为基础,从自然、社会、经济和技术 4 个维度对指标进行筛选,构建湖南农业自然灾害脆弱性评价指标体系(见表 1).

上述农业自然灾害脆弱性评价指标体系,既有定量指标也有定性指标.定量指标是指可以用确定性的统计数据进行测度的指标,而有些指标如应急救援预案完备度和区域农作物对自然灾害的敏感性等,无法用精确的数字来描述,只能通过专家的经验来评估,这些指标属于定性指标.定性指标往往受各专家认知的约束,只能给出相应评价范围内一定的区间值.因此,上述指标体系中指标的取值分为 2 种类型:点值和区间值.

表1 湖南农业自然灾害脆弱性评价指标体系

目标层	准则层	指标层	属性	单位	数据类型	与脆弱性关系
农业自然灾害脆弱性	自然维 (N)	人均耕地面积( $I_1$ )	定量	hm <sup>2</sup> /人	点值	正相关
		粮食播种面积( $I_2$ )	定量	hm <sup>2</sup>	点值	正相关
		森林覆盖率( $I_3$ )	定量	%	点值	负相关
		造林面积( $I_4$ )	定量	hm <sup>2</sup>	点值	负相关
		农作物敏感性( $I_5$ )	定性	分	区间值	正相关
	社会维 (S)	乡村家庭户数( $I_6$ )	定量	万户	点值	正相关
		城镇化率( $I_7$ )	定量	%	点值	负相关
		人口密度( $I_8$ )	定量	人/km <sup>2</sup>	点值	正相关
		每万人专任教师数( $I_9$ )	定量	人	点值	负相关
		每万人卫生机构床位数( $I_{10}$ )	定量	张	点值	负相关
	经济维 (E)	每万人卫生机构人员数( $I_{11}$ )	定量	人	点值	负相关
		第一产业比重( $I_{12}$ )	定量	%	点值	正相关
		人均GDP( $I_{13}$ )	定量	元	点值	负相关
		地区生产总值( $I_{14}$ )	定量	亿元	点值	负相关
		农村居民人均可支配收入( $I_{15}$ )	定量	元	点值	负相关
	技术维 (T)	农林水利事务财政支出( $I_{16}$ )	定量	万元	点值	负相关
		水库数量( $I_{17}$ )	定量	座	点值	负相关
		有效灌溉面积比( $I_{18}$ )	定量	%	点值	负相关
		防洪堤岸长度( $I_{19}$ )	定量	km	点值	负相关
		交通便利度( $I_{20}$ )	定量	km/km <sup>2</sup>	点值	负相关
			应急救援预案完备度( $I_{21}$ )	定性	分	区间值

2.3 构建基于区间数的评价指标测度

假设对  $n$  个地区的自然灾害脆弱性进行评价,地区记为  $A_i, i = 1, 2, 3, \dots, n$ , 按照  $m$  个指标体收集数据,可以获得统计数据矩阵  $F$ .

$$F = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1m} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2m} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1} & x_{n2} & \dots & x_{nm} \end{pmatrix}$$

令上式中任意一个数据为  $x_{ij}$ , 则  $x_{ij} = [a_{ij}^-, a_{ij}^+]$  为第  $i$  个地域关于第  $j$  个指标的统计数据,  $a_{ij}^-, a_{ij}^+$  为指标取值的上、下限.从表 1 可以看出,指标体系中各指标值的单位和大小并不统一,且存在与目标指标“农业自然灾害脆弱性”分别呈正相关和负相关关系的两类指标.因此,对指标取值采用“比重变换法”<sup>[17]</sup>进行归一化处理,具体变换公式为

$$\text{对于负相关指标 } x_{ij} = [a_{ij}^-, a_{ij}^+], \text{ 采用公式: } x_{ij}^* = \left[ \frac{(a_{ij}^+)^{-1}}{\sum_{i=1}^n (a_{ij}^-)^{-1}}, \frac{(a_{ij}^-)^{-1}}{\sum_{i=1}^n (a_{ij}^+)^{-1}} \right] \quad (1)$$

$$\text{对于正相关指标 } x_{ij} = [a_{ij}^-, a_{ij}^+], \text{ 采用公式: } x_{ij}^* = \left[ \frac{a_{ij}^-}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^+}, \frac{a_{ij}^+}{\sum_{i=1}^n a_{ij}^-} \right] \quad (2)$$

基于上述一致化处理,得到规范化的多区域、多指标的自然灾害脆弱性评价矩阵:

$$F^* = \begin{pmatrix} x_{11}^* & x_{12}^* & \dots & x_{1m}^* \\ x_{21}^* & x_{22}^* & \dots & x_{2m}^* \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1}^* & x_{n2}^* & \dots & x_{nm}^* \end{pmatrix} \quad (3)$$

规范化后,评价矩阵中的每个指标值  $x_{ij}^* = [a_{ij}^-, a_{ij}^+]$  都与脆弱性呈正相关,并且矩阵中的每个评价  
值都是  $[0, 1]$  区间中的某一子区间.

### 2.4 确定脆弱性评价指标权重

灾害脆弱性不以评价者的意志为转移,具有客观属性.熵权法作为一种相对客观的权重赋值方法,可  
以克服主观赋权法赋值准确性相对较低的不足,也能够避免多指标变量之间的信息重叠.因此,基于规范  
化评价矩阵式(3),采用熵权法来确定表 1 中指标的全局性权重,具体步骤:

首先,将规范化评价矩阵  $F^*$  转化为数值矩阵  $F^e$ .转化方法是取区间数  $x_{ij}^* = [a_{ij}^-, a_{ij}^+]$  的中点值,即

$$x_{ij}^e = (a_{ij}^- + a_{ij}^+) / 2, \text{ 得到矩阵 } F^e: F^e = \begin{pmatrix} x_{11}^e & x_{12}^e & \cdots & x_{1m}^e \\ x_{21}^e & x_{22}^e & \cdots & x_{2m}^e \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{n1}^e & x_{n2}^e & \cdots & x_{nm}^e \end{pmatrix}.$$

其次,计算各指标的熵值:

$$E_j = - \frac{1}{\ln m} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij}, j = 1, 2, \dots, m. \tag{4}$$

式中: $m$  为指标的个数; $n$  为评价单元(地区)数,且  $p_{ij} = \frac{x_{ij}^e}{\sum_{i=1}^n x_{ij}^e}$ ,若  $p_{ij} = 0$ ,则定义  $p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ .

最后,确定指标权重.第  $j$  个指标权重的计算公式:

$$\omega_j = \frac{1 - E_j}{m - \sum_{j=1}^m E_j}, j = 1, 2, \dots, m. \tag{5}$$

此外,对于表 1 中 4 个基准层指标的权重,依据下节中建立的综合评价模型,采用层次分析法先得到  
各基准层指标值,再根据上述熵权法确定权重.

### 2.5 建立多地域综合评价模型

第 1 步:计算基准层指标评价区间数.分别计算自然维指数( $N$ )、社会维指数( $S$ )、经济维指数( $E$ )  
和技术维指数( $T$ )的评价值.

$$\begin{cases} N_i = [ \sum_{j=1}^5 \omega_j a_{ij}^-, \sum_{j=1}^5 \omega_j a_{ij}^+ ], \\ S_i = [ \sum_{j=6}^{11} \omega_j b_{ij}^-, \sum_{j=6}^{11} \omega_j b_{ij}^+ ], \\ E_i = [ \sum_{j=12}^{16} \omega_j c_{ij}^-, \sum_{j=12}^{16} \omega_j c_{ij}^+ ], \\ T_i = [ \sum_{j=17}^{21} \omega_j d_{ij}^-, \sum_{j=17}^{21} \omega_j d_{ij}^+ ], \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

若用区间数  $x_{ij}^* = [a_{ij}^-, a_{ij}^+]$  表示自然维二级指标取值,  $x_{ij}^* = [b_{ij}^-, b_{ij}^+]$  表示社会维二级指标取值,  
 $x_{ij}^* = [c_{ij}^-, c_{ij}^+]$  表示经济维二级指标取值,  $x_{ij}^* = [d_{ij}^-, d_{ij}^+]$  表示技术维二级指标,则

$$\begin{cases} N_i = \omega_1 x_{i1}^* + \omega_2 x_{i2}^* + \omega_3 x_{i3}^* + \omega_4 x_{i4}^* + \omega_5 x_{i5}^*; \\ S_i = \omega_6 x_{i6}^* + \omega_7 x_{i7}^* + \omega_8 x_{i8}^* + \omega_9 x_{i9}^* + \omega_{10} x_{i10}^* + \omega_{11} x_{i11}^*; \\ E_i = \omega_{12} x_{i12}^* + \omega_{13} x_{i13}^* + \omega_{14} x_{i14}^* + \omega_{15} x_{i15}^* + \omega_{16} x_{i16}^*; \\ T_i = \omega_{17} x_{i17}^* + \omega_{18} x_{i18}^* + \omega_{19} x_{i19}^* + \omega_{20} x_{i20}^* + \omega_{21} x_{i21}^*. \end{cases} \tag{6}$$

第 2 步:计算各地区自然灾害脆弱性评价值.

$$V_i = N_i \omega_N + S_i \omega_S + E_i \omega_E + T_i \omega_T =$$

$$\begin{bmatrix} \omega_N \sum_{j=1}^5 \omega_j a_{ij}^{-*} + \omega_S \sum_{j=6}^{11} \omega_j b_{ij}^{-*} + \omega_E \sum_{j=12}^{16} \omega_j c_{ij}^{-*} + \omega_T \sum_{j=17}^{21} \omega_j d_{ij}^{-*}, \\ \omega_N \sum_{j=1}^5 \omega_j a_{ij}^{+*} + \omega_S \sum_{j=6}^{11} \omega_j b_{ij}^{+*} + \omega_E \sum_{j=12}^{16} \omega_j c_{ij}^{+*} + \omega_T \sum_{j=17}^{21} \omega_j d_{ij}^{+*} \end{bmatrix} = [V_i^-, V_i^+], i = 1, 2, \dots, n. \quad (7)$$

式中:  $\omega_N = \sum_{j=1}^5 \omega_j; \omega_S = \sum_{j=6}^{11} \omega_j; \omega_E = \sum_{j=12}^{16} \omega_j; \omega_T = \sum_{j=17}^{21} \omega_j$ .

第3步:据上文2.1.2中的区间数排序方法,按照如下规则比较各地区自然灾害脆弱性大小.

如果  $\tau(a_i) > \tau(a_j)$ , 则  $a_i > a_j$ ; 如果  $\tau(a_i) = \tau(a_j)$ , 且  $\frac{(a_i^- + a_i^+)}{2} > \frac{(a_j^- + a_j^+)}{2}$ , 则  $a_i > a_j$ ; 如果

$\tau(a_i) = \tau(a_j)$ ,  $\frac{(a_i^- + a_i^+)}{2} = \frac{(a_j^- + a_j^+)}{2}$ , 且  $l_{a_i} < l_{a_j}$ , 则  $a_i > a_j$ .

### 3 基于区间数测度的湖南农业自然灾害脆弱性评价实证分析

#### 3.1 评价单元与数据处理

本文以湖南14个地州市为评价单元,以湖南省和各地州市统计年鉴为研究数据来源,根据前述构建的农业自然灾害脆弱性评价指标体系,运用区间数综合评价模型,对湖南14个地州市的农业自然灾害脆弱性及主要影响因素进行分析和评价.

首先,对表1评价指标体系中的指标进行区间数的刻画:对于定量指标,采用《湖南统计年鉴2018》和《湖南统计年鉴2019》的统计数据,将2017年和2018年这2年中较小数据和较大数据分别作为区间数的下限和上限;对于定性指标,采取专家评分法获得数据,并将专家组中的最低分数和最高分数分别作为区间数的下限和上限.然后,根据评价指标体系,运用式(1)和式(2),将指标取值转化为与脆弱性正相关的数据,获得标准化评价矩阵,其中指标对应的区间数越大,说明该地区在该指标上的脆弱性越大.

#### 3.2 脆弱性指标权重计算

根据标准化评价矩阵,取区间数  $x_{ij}^* = [a_{ij}^{-*}, a_{ij}^{+*}]$  的中点值,利用指标熵值计算式(4)式和权重计算式(5),即可得到湖南农业自然灾害脆弱性评价指标的熵值以及权重(见表2和表3).

表2 湖南农业自然灾害脆弱性评价自然维和社会维指标的熵值与权重

权重	自然维							社会维			
	0.237 8							0.261 8			
指标	人均耕地面积 ( $I_1$ )	粮食播种面积 ( $I_2$ )	森林覆盖率 ( $I_3$ )	造林面积 ( $I_4$ )	农作物敏感性 ( $I_5$ )	乡村家庭户数 ( $I_6$ )	城镇化率 ( $I_7$ )	人口密度 ( $I_8$ )	每万人专任教师数 ( $I_9$ )	每万人卫生机构床位数 ( $I_{10}$ )	每万人卫生机构人数 ( $I_{11}$ )
熵值	0.859 5	0.837 4	0.862 9	0.786 8	0.873 5	0.844 8	0.863 7	0.832 3	0.863 7	0.867 0	0.869 7
权重	0.042 8	0.049 6	0.041 8	0.065 0	0.038 6	0.047 3	0.041 6	0.051 1	0.041 6	0.040 5	0.039 7

表3 湖南农业自然灾害脆弱性评价经济维和技术维指标的熵值与权重

权重	经济维						社会维			
	0.249 4						0.251 0			
指标	第一产业比重 ( $I_{12}$ )	人均GDP ( $I_{13}$ )	地区生产总值 ( $I_{14}$ )	农村居民人均可支配收入 ( $I_{15}$ )	农林水利事务财政支出 ( $I_{16}$ )	水库数量 ( $I_{17}$ )	有效灌溉面积比 ( $I_{18}$ )	防洪堤岸长度 ( $I_{19}$ )	交通便利度 ( $I_{20}$ )	应急救援预案完备度 ( $I_{21}$ )
熵值	0.845 2	0.839 6	0.791 8	0.853 7	0.851 5	0.809 4	0.858 6	0.780 8	0.855 9	0.871 8
权重	0.047 2	0.048 9	0.063 5	0.044 6	0.045 3	0.058 1	0.043 1	0.066 8	0.043 9	0.039 1

### 3.3 评价结果

根据标准化评价矩阵中的评价区间数和表 2、表 3 的指标权重,结合区间数加法和数乘运算,运用线性加权模型,得到湖南省 14 个地州市的自然灾害脆弱性区间数评价结果(见表 4)。

为了更直观地呈现 14 个地州市农业自然灾害脆弱性大小,运用区间数比较大小的可能度公式<sup>[14]</sup>进行计算,获得如下两两比较可能度结果以及对应的优序数(见表 5)。

表 4 湖南省 14 个地州市的自然灾害脆弱性区间数评估结果

评价单元	区间数评价结果	中间值	区间长度	评价单元	区间数评价结果	中间值	区间长度
长沙	[0.014 7, 0.016 6]	0.015 6	0.001 9	张家界	[0.022 0, 0.025 5]	0.023 8	0.003 5
株洲	[0.014 1, 0.015 5]	0.014 8	0.001 4	益阳	[0.016 6, 0.018 7]	0.017 7	0.002 1
湘潭	[0.018 3, 0.020 3]	0.019 3	0.002 0	郴州	[0.013 9, 0.015 7]	0.014 8	0.001 8
衡阳	[0.014 8, 0.017 3]	0.016 0	0.002 5	永州	[0.016 1, 0.018 3]	0.017 2	0.002 1
邵阳	[0.020 4, 0.023 1]	0.021 8	0.002 7	怀化	[0.017 0, 0.019 3]	0.018 1	0.002 3
岳阳	[0.015 0, 0.017 0]	0.016 0	0.002 0	娄底	[0.018 9, 0.021 9]	0.020 4	0.002 9
常德	[0.015 0, 0.016 7]	0.015 9	0.001 7	湘西	[0.018 2, 0.021 6]	0.019 9	0.003 3

表 5 湖南省 14 个地州市脆弱性两两比较可能度及优序数

可能度	张家界	邵阳	娄底	湘西州	湘潭	怀化	益阳	永州	岳阳	衡阳	常德	长沙	郴州	株洲	优序数
张家界	0.500 0	0.935 5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	13
邵阳	0.064 5	0.500 0	0.867 6	0.925 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	12
娄底	0	0.132 4	0.500 0	0.642 0	0.849 5	0.990 6	1	1	1	1	1	1	1	1	11
湘西州	0	0.074 8	0.358 0	0.500 0	0.694 7	0.928 6	0.984 9	1.000 0	1	1	1	1	1	1	10
湘潭	0	0	0.150 5	0.305 3	0.500 0	0.885 3	0.977 0	1.000 0	1	1	1	1	1	1	9
怀化	0	0	0.009 4	0.071 4	0.114 7	0.500 0	0.697 9	0.837 7	0.999 9	0.994 8	1	1	1	1	8
益阳	0	0	0	0.015 1	0.023 0	0.302 1	0.500 0	0.694 4	0.983 9	0.961 1	0.998 5	1.000 0	1	1	7
永州	0	0	0	0.000 0	0.000 0	0.162 3	0.305 6	0.500 0	0.914 2	0.882 6	0.953 6	0.974 6	1	1	6
岳阳	0	0	0	0	0	0.000 1	0.016 1	0.085 8	0.500 0	0.501 7	0.580 4	0.680 2	0.936 9	0.956 4	5
衡阳	0	0	0	0	0	0.005 2	0.038 9	0.117 4	0.498 3	0.500 0	0.561 0	0.652 8	0.900 5	0.916 9	4
常德	0	0	0	0	0	0	0.001 5	0.046 4	0.419 6	0.439 0	0.500 0	0.616 9	0.917 1	0.939 7	3
长沙	0	0	0	0	0	0	0.000 0	0.025 4	0.319 8	0.347 2	0.383 1	0.500 0	0.841 3	0.861 6	2
郴州	0	0	0	0	0	0	0	0	0.063 1	0.099 5	0.082 9	0.158 7	0.500 0	0.504 1	1
株洲	0	0	0	0	0	0	0	0	0.043 6	0.083 1	0.060 3	0.138 4	0.495 9	0.500 0	0

上述各评价单元的优序数表明湖南农业自然灾害的脆弱性从大到小排序为张家界、邵阳、娄底、湘西自治州、湘潭、怀化、益阳、永州、岳阳、衡阳、常德、长沙、郴州、株洲。

### 3.4 研究结论

1) 影响农业自然灾害脆弱性的重要因素(权重超过 0.05)分别是造林面积(权重 0.065 0)、人口密度(权重 0.051 1)、地区生产总值(权重 0.063 5)、防洪堤岸长度和水库数量(权重为 0.066 8 和 0.058 1)等。从准则层权重来看,对农业自然灾害脆弱性贡献最大的是社会维,其次是技术维和经济维,最后是自然维,权重大小分别为 0.261 8, 0.251 0, 0.249 4, 0.237 8。从各个维度具体而言,自然维因素对脆弱性影响排序(由大到小):造林面积、粮食播种面积、人均耕地面积、森林覆盖率和农作物敏感性;社会维因素对脆弱性影响排序:人口密度、乡村家庭户数、城镇化率、每万人专任教师数、每万人卫生机构床位数和每万人卫生机构人员数;经济维因素对脆弱性影响排序:地区生产总值、人均 GDP、第一产业比重、农林水利事务财政支出和农村居民人均可支配收入;技术维因素对脆弱性影响排序:防洪堤岸长度、水库数量、交通便利度、有效灌溉面积比和应急救援预案完备度。

2) 湖南农业自然灾害的脆弱性从大到小排序:张家界、邵阳、娄底、湘西自治州、湘潭、怀化、益阳、永州、岳阳、衡阳、常德、长沙、郴州、株洲。整体上可以看出,湖南农业自然灾害脆弱度由东部向西部呈渐次增

高趋势,大湘西地区(张家界、湘西自治州、怀化、邵阳)是湖南农业自然灾害脆弱性最强的区域,主要原因:一是区域经济发展水平比较低,农林水利事务支出少,经济基础较差,即经济维度的脆弱性高;二是区域医疗和教育水平低,基础设施建设不足,即社会维度的脆弱性也高;三是农作物对变异气候的敏感性较强.株洲、郴州和长沙的农业自然灾害脆弱性相对较低,主要是因为株洲和长沙的基础设施建设水平和经济发展水平高,即社会和经济维度的农业自然灾害脆弱性较低;郴州的森林覆盖率较高,达到了67%以上,森林资源丰富的地区比其他地区能更有效地应对气候变化,从而农业自然灾害脆弱性较低.

## 4 湖南农业自然灾害脆弱性治理对策

### 4.1 推进政府灾害治理现代化,提高灾害治理能力

从社会维度来看,影响湖南农业自然灾害脆弱性的主要因素是人口密度、乡村家庭户数和农户的受教育程度.因此,在灾害社会脆弱性的治理上,各级政府一是应致力合理改善人口分布结构.可通过人口的迁移流动和资源分配格局的改善来建设人口均衡型社会,比如人口基数较小地区张家界、湘西州、怀化和永州,可以通过加强基础设施的建设、吸引外地企业投资、鼓励乡镇企业发展等以促进地区发展,吸引人口流入,以实现全省范围内人口分布的相对均衡发展,使人口与资源环境的承载能力趋于一致;二是提高农村人口城镇化水平.邵阳、衡阳、常德和永州是湖南乡村家庭户数较高的地区,这些地区政府应着力创造就业渠道,增加就业收入,实现农村经济的可持续发展和新型城镇化的有序推进;三是提高农户受教育程度,提升农户灾害认知水平和自抗灾能力.目前,常德、益阳、岳阳和邵阳的每万人专任教师数指标数量在湖南省的排位靠后,这些地区应更重视教育资源投入,提高农村教育水平,从受灾主体角度降低农业自然灾害脆弱性.

### 4.2 加强农村水利设施建设,提高防灾减灾设施效能

实践证明,水利工程是防洪除涝的重要基础设施,加大修堤固堤力度是抗御洪涝和干旱最现实、可靠的手段.而且从技术维度来看,影响湖南农业自然灾害脆弱性的主要因素是防洪堤岸长度和水库数量.因此,要降低湖南农业自然灾害脆弱性,提高承灾体受灾能力,就必须加强农村水利基础设施建设.首先,应做好大中型水库的修复和兴建工作,提高水库的蓄水、供水及协调调度能力;其次,要加强河塘沟渠等小型水利设施的修缮,增强抗旱救灾能力.由于张家界、湘潭、益阳等地的水库数量较少,邵阳、张家界、娄底和湘西州的防洪堤岸长度短,因此,在农业水利设施建设方面,这些地区更应补短板、强弱项.

### 4.3 加强农村经济建设,提高防灾抗灾经济能力

雄厚的经济实力是抵御自然灾害的重要物质基础.从经济维度来看,影响湖南农业自然灾害脆弱性的主要经济因素是地区生产总值和人均GDP.加强农村经济建设,提高防灾抗灾经济能力,第一,各地州市可以根据自身情况充分利用各种经济发展机遇,发展乡村产业,助推乡村“产业兴旺”.就大湘西地区而言,可以积极开展茶业建设,打造以“生态、安全、有机、优质”为内涵的大湘西茶业集群品牌,带动茶农增收;第二,积极推进农业供给侧结构性改革,加快农业产业升级,发展乡村旅游、互联网农业和有机农业等,促进农村三产融合发展.大湘西地区可以利用自然生态和民俗文化等资源优势,规划设计高品质的文化生态旅游路线,促进民族产业和经济的协调发展;第三,在发展经济与扩大就业之间建立良性互动.发展经济增强抗灾经济能力的同时,也为易受灾地农户提供就业机会,增加人均GDP和农村居民可支配收入,防止农户因灾致贫,加强农户自身防灾抗灾和灾后恢复能力.

### 4.4 加强农业生态环境建设,提高承灾体承灾能力

从自然维度来看,影响湖南农业自然灾害脆弱性的最主要因素是造林面积.因此,要把植树造林、提高植被覆盖率和保护生态贯穿于防灾减灾的全过程,采取措施从源头降低灾害脆弱性.首先,在人口较少的山坡进行科学造林,在人口较为充裕地区发展农田防护林,从而带动区域生态环境改善.湘潭和岳阳是湖南省森林覆盖率和造林面积较低的地区,须大力开展植树造林,从自然维度上有效降低农业自然灾害脆弱性;其次,严格规范人类工程活动,牢固树立人与自然和谐相处的思想,决不能违背自然演化规律对资源进

行无序开发和掠夺利用,保护生态就是最好的灾害预防;最后,在灾后恢复重建过程中,践行习近平总书记“绿水青山就是金山银山”的理念,将保护和修护自然生态环境纳入灾后恢复重建全过程,逐步恢复农业生态环境功能,提高承灾体承灾能力。

#### 参考文献:

- [1] Keenan S P, Krannich R S. The social context of perceived drought vulnerability[J]. *Rural Sociol*, 1997, 62(1): 69-88.
- [2] 梁恒谦,夏保成,刘德林.自然灾害脆弱性研究综述[J].*华北地震科学*,2015,33(1):11-18.
- [3] Wilhelmi O V, Wilhite D A. Assessing vulnerability to agricultural drought: A Nebraska case study[J]. *Natural Hazards*, 2002, 25(1): 37-58.
- [4] 武建军,耿广坡,周洪奎,等.全球农业旱灾脆弱性及其空间分布特征[J].*中国科学:地球科学*,2017,47(6):733-744.
- [5] 谢家智,车四方,林涌.农业旱灾风险管理脆弱性评价及驱动因素分析[J].*西南大学学报(社会科学版)*,2017,43(3): 43-53.
- [6] 金菊良,张浩宇,陈梦璐,等.基于灰色关联度和联系数耦合的农业旱灾脆弱性评价和诊断研究[J].*灾害学*,2019,34(1):1-7.
- [7] 陈启亮,谢家智,张明.农业自然灾害社会脆弱性及其测度[J].*农业技术经济*,2016(8):94-105.
- [8] 阮鑫鑫,付小林,侯俊东,等.湖北省自然灾害社会脆弱性综合测度及时空演变特征[J].*安全与环境工程*,2019,26(2): 52-61.
- [9] 徐玉霞,许小明,方锋,等.县域尺度下的宝鸡市农业洪水灾害脆弱性评价及区划[J].*干旱区地理*,2020,43(3):652-660.
- [10] 刘兰芳,邹君,刘湘南.农业洪涝灾害脆弱性成因分析及评估——以湖南省衡阳市为例[J].*长江流域资源与环境*,2002(3):291-295.
- [11] 马雅丽,郭建平,栾青,等.晋北农牧交错带农业旱灾脆弱性评价[J].*灾害学*,2020,35(3):75-81.
- [12] 胡启洲,张卫华.区间数理论的研究及其应用[M].北京:科学出版社,2010:15-17.
- [13] 龚日朝,潘芬萍.非均匀分布下区间数排序可能度计算模型及其应用[J].*中国管理科学*,2020,28(12):220-230.
- [14] 肖峻,张跃,付川.基于可能度的区间数排序方法比较[J].*天津大学学报(自然科学与工程技术版)*,2011,44(8):705-711.
- [15] 高峰记.可能度及区间数综合排序[J].*系统工程理论与实践*,2013,33(8):2033-2040.
- [16] Cutter S L. The vulnerability of science and the science of vulnerability[J]. *Annals of the Association of American Geographers*, 2003, 93(1): 1-12.
- [17] Goh C H, Tung Y C A, Cheng C H. A revised weighted sum decision model for robot selection[J]. *Computers and Industrial Engineering*, 1996, 30(2): 193-199.