

黄路梅,梁虹,焦树林,等.基于可变模糊和灰色理论的贵州省农业旱灾脆弱性评价[J].江苏农业科学,2017,45(4):239-243.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.04.070

基于可变模糊和灰色理论的贵州省农业旱灾脆弱性评价

黄路梅,梁虹,焦树林,贺中华

(贵州师范大学地理与环境科学学院,贵州贵阳 550025)

摘要:从自然因素、社会因素、生态因素等 3 个层面选取 12 个指标,构建基于模糊灰色系统理论评价模型,对贵州省农业旱灾脆弱性进行初步探讨。结果表明:贵州省生态环境脆弱,易诱发旱灾且恢复力差,9 个脆弱性分区中,有 6 个严重分区,3 个中度分区;用 4 个典型指标与综合评价结果进行灰色关联度分析,得出喀斯特地区农业旱灾脆弱性与这 4 种因素都有关联性,其关联程度大小顺序为:地表水资源量 > GDP > 人口 > 喀斯特面积。喀斯特分布面积对贵州省农业旱灾脆弱性具有一定程度的影响,但是,经济的发展、科技的进步以及人文因素的作用,正逐渐弱化着喀斯特对农业旱灾脆弱性的影响力。

关键词:可变模糊;旱灾脆弱性;贵州省;灰色关联度

中图分类号: S423 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)04-0239-05

干旱是全球性普遍发生的一种威胁着人类生命及财产安全的自然灾害^[1-2]。在灾害学领域,已有学者研究指出,旱灾危害力和风险性与承灾体脆弱性成正相关关系,后者对灾情有增大或减小作用,当致灾强度一致时,脆弱性愈严重灾情愈严重^[3]。以农业为主的贵州省是典型的锥状喀斯特分布区,喀斯特面积广布,很多地方常年缺水,干旱严重,生态环境脆弱。干旱是威胁贵州省人类生命和财产安全,制约其经济发展的最严重的自然灾害。因此,从脆弱性的角度量化研究农业干旱的分布特征并分析其成因,是发展贵州省经济亟待解决的问题。

国内外关于农业旱灾脆弱性的研究主要包括:(1)农业旱灾脆弱性成因机制分析认为:从农户视角来看,土壤类型、土地管理和农民类型决定脆弱性强弱^[4];农业旱灾脆弱性的生成机制往往与研究的尺度(微观、中观、宏观)有关^[5];而对于广西大石山区的干旱脆弱度大小与旱灾风险指数的大小呈正相关关系^[6]。(2)农业旱灾脆弱性评价指标体系的构建方面,选取样区指标的层面是可再生资本、经济能力、人口资源和经济基础,构建了一个新的综合性干旱脆弱性指标(DVI)^[7],如衡阳盆地农业旱灾脆弱性评价时使用了水田密度、蒸发量、人口密度等 7 项指标对地区差异性进行评估^[8]。(3)对农业旱灾脆弱性的评价国内外使用了 WINISAREG 模型和 SPI2 指数分析法^[9]、德尔菲-主成分分析法^[10-11]、情景模拟-产量分析法^[12]、熵值法-AHP 法^[13]、投影寻踪法^[14]等。

收稿日期:2016-07-22

基金项目:国家自然科学基金(编号:41263011);贵州省水利厅自然科学基金(编号:KT201402)。

作者简介:黄路梅(1990—),女,江西南康人,硕士研究生,研究方向为水文水资源与 GIS。E-mail:1029105692@qq.com。

通信作者:焦树林,博士,教授,主要从事流域地表过程和环境变化研究。E-mail:jiaoshulin@gznu.edu.cn。

这些方法存在的主要缺陷是方法太过主观,指标选取各成体系,指标权重难以确定,难以反映出各因子两两间的相互关系,难以吻合旱灾脆弱性模糊动态多变的特性,本研究采用陈守煜的可变模糊理论^[15],将高维变量系统做最佳综合和简单化,利用熵值法确定权重,采用灰色系统理论综合分析贵州省农业旱灾脆弱性内部动态变化的联系,较之上述方法更具科学性,能够为贵州省做好防旱抗旱工作提供理论指导。

1 研究区概况

贵州省位于 103°36'~109°35'E,24°37'~29°13'N,总面积 17.62 万 km²。区内地形多变,结构复杂,地势陡峭,以山地、丘陵为主,占 92.5%;喀斯特面积占贵州省国土面积的 61.9%,为典型的喀斯特省份^[16]。水土流失面积比重为 31.37%,石漠化面积比重为 20.70%,具有多相多层复杂界面体系、环境界面变异敏感度高、环境容量低、稳定性差等特征^[16]。该喀斯特地区生态环境极为脆弱^[17],石漠化导致生态系统退化,水土流失严重^[18-19],土地涵养水源能力差,农业旱灾脆弱性对于以农业为基础产业的贵州省已是经济发展的一大核心制约因素。

2 数据来源与分析方法

2.1 数据计算与分析方法

可变模糊分析法是应用辩证唯物论关于差异、共维、中介、两级的概念以及客观事物矛盾运动变化的自然辩证法原理,构建相对隶属函数模型的一种分析方法^[20]。农业旱灾脆弱性是一个特定时空条件下涉及自然环境和社会经济的复杂事物,具有相对性或动态性,影响因子又具有模糊性^[21],本研究从自然、社会、经济等 3 个层面选取因素指标,同时采用不同参数组合的模糊分析法和灰色关联法构建评价模型。根据陈守煜的方法^[15],建立了贵州省农业旱灾脆弱性综合评价模型,具体操作步骤如下:

(1) 预处理原始资料, 得到样本集矩阵

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \cdots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \cdots & k_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ k_{m1} & k_{m2} & \cdots & k_{mn} \end{bmatrix} = (k_{ij})_{mn} \quad (1)$$

式中: k_{ij} 表示第 j 个评价因子第 i 个指标的特征值, 其中, $i = 1, 2, 3, \dots, m; j = 1, 2, 3, \dots, n$ 。

(2) 假设评价因子有 m 个指标, 各指标划分 c 个等级标准区间, 得到矩阵

$$Y_{ab} = [a_{ih}, b_{ih}], h = 1, 2, 3, \dots, c. \quad (2)$$

式中: $i = 1, 2, 3, \dots, m$, 代表旱灾脆弱性评价因子的各个指标; $h = 1, 2, 3, \dots, c$, 代表极度、严重等 c 个评价等级。在实际研究领域, 农业旱灾脆弱性指标等级标准区间 $[a_{ih}, b_{ih}]$ 有 2 种情况: 当 $a_{ih} > b_{ih}$ 时, 特征值越大越优, 脆弱性越严重; 反之当 $a_{ih} < b_{ih}$ 时, 特征值越小越优。

(3) 根据矩阵 Y , 基于贵州省实际情况确定级别 h 指标 i 相对隶属度等于 1, 即 $U_A(k_{ij}) = 1$ 的点值矩阵 $M_{ih}^{[22]}$, 其中:

$$M_{ih} = \frac{c-h}{c-1}a_{ih} + \frac{h-1}{c-1}b_{ih}. \quad (3)$$

(4) 将待评价旱灾脆弱性指标特征值 (k_{ij}) 和点值数值 (M_{ih}) 进行比较, 当 k_{ij} 在 M_{ih} 左侧时, 相对差异度函数为

$$\begin{cases} B_A(k_{ij})_h = \frac{k_{ij} - a_{ih}}{M_{ih} - a_{ih}}, k_{ij} \in [a_{ih}, M_{ih}] \\ B_A(k_{ij})_h = \frac{k_{ij} - a_{ih}}{M_{i(h-1)} - a_{ih}}, k_{ij} \in [M_{i(h-1)}, a_{ih}] \end{cases} \quad (4)$$

当 k_{ij} 在 M_{ih} 右侧时, 相对差异度函数为

$$\begin{cases} B_A(k_{ij})_h = \frac{k_{ij} - b_{ih}}{M_{ih} - b_{ih}}, k_{ij} \in [M_{ih}, b_{ih}] \\ B_A(k_{ij})_h = \frac{k_{ij} - b_{ih}}{M_{i(h+1)} - b_{ih}}, k_{ij} \in [b_{ih}, M_{i(h+1)}] \end{cases} \quad (5)$$

因子 j 指标 i 对级别 h 的相对隶属函数公式为

$$\begin{cases} U_A(k_{ij})_h = \frac{1}{2} [1 + B_A(k_{ij})_h]^\theta, k_{ij} \in [a_{ih}, M_{ih}] \cup [M_{ih}, b_{ih}] \\ U_A(k_{ij})_h = \frac{1}{2} [1 - B_A(k_{ij})_h]^\theta, k_{ij} \in [M_{i(h-1)}, a_{ih}] \cup [b_{ih}, M_{i(h+1)}] \end{cases} \quad (6)$$

式中: θ 为负指数, 通常可取 $\theta = 1$ 。

(5) 计算样本 (区域) 对各级别的综合相对隶属度为

$$u'_{hj} = \frac{1}{1 + \left\{ \frac{\sum_{i=1}^m [\omega_j (1 - U_A(k_{ij})_h)]^p}{\sum_{i=1}^m (\omega_j U_A(k_{ij})_h)^p} \right\}^{a/p}} \quad (7)$$

式中: a 为模型参数, $a = 1$ 为最小一乘方准则, $a = 2$ 为最小二乘方准则; p 为距离参数, $p = 1$ 为海明距离, $p = 2$ 为欧式距离^[23]。 ω_j 为指标权重, 且 $\sum_{j=1}^n \omega_j = 1$ 。

将所得结果无量纲化处理得到综合相对隶属度 U , 其中

$$U = f(u'_{hj}). \quad (8)$$

式中: 函数关系式:

$$f = u'_{hj} / \sum_{h=1}^c u'_{hj}. \quad (9)$$

(6) 计算样本 (地区) 旱灾脆弱性的级别特征值为

$$H = (1, 2, 3, \dots, c) \cdot U. \quad (10)$$

农业旱灾脆弱性级别特征值突显了脆弱性的 大小, 脆弱

性和级别特征值呈正相关关系, 特征值越大, 农业旱灾脆弱性越大, 据此对样本 (地区) 农业旱灾脆弱性大小进行排序。

(7) 权重的确定 权重可以较好地反映参评因子占目标对象的物理量, 熵值法是一种较客观的求权重的方法。

a. 无量纲化矩阵 假设矩阵 $A = (a_{ij})_{nm}$ 表示由 n 个评价对象, 每个评价对象由 m 个评价指标组成的评价指标体系原始数据矩阵, 无量纲化得到 $R = (r_{ij})_{nm}$, 归一化公式为

$$r_{ij} = \frac{\max_j \{a_{ij}\} - a_{ij}}{\max_j \{a_{ij}\} - \min_j \{a_{ij}\}}. \quad (11)$$

b. 求熵值 对于无量纲化之后的矩阵 $R = (r_{ij})_{nm}$, 第 j 个指标的熵值为

$$H_j = -(\sum_{i=1}^n f_{ij} \ln f_{ij}) / \ln n. \quad (12)$$

式中: $f_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^n r_{ij} = 1 / \ln n$, 当 $f_{ij} = 0$ 时, 令 $f_{ij} \cdot \ln f_{ij} = 0$ 。

c. 定义熵权 用以下公式根据熵值求熵权 ω_j :

$$\omega_j = (1 - H_j) / (m - \sum_{j=1}^m H_j), (0 \leq \omega_j \leq 1, \sum_{j=1}^m \omega_j = 1). \quad (13)$$

(8) 灰色关联分析法 以 $X_0(k)$ 表示第 k 个地区的综合评价级别特征值的平均值, $X_i(k)$ 表示第 i 个地区的第 k 个指标, 计算得出两者之间的灰色关联度 R_{ij} 。计算灰色关联系数 $\xi_i(k)$ 为

$$\xi_i(k) = \frac{\Delta(\min) + \rho \Delta(\max)}{|X_0(k) - X_i(k)| + \rho \Delta(\max)}, \rho \in [0, 1]. \quad (14)$$

式中: $\Delta(\min)$ 为 $X_0(k)$ 和 $X_i(k)$ 差的绝对值的最小值; $\Delta(\max)$ 为 $X_0(k)$ 和 $X_i(k)$ 差的绝对值的最大值; 取 $\rho = 0.05$;

$$R_{ij} = \sum_{k=1}^n \xi_i(k). \quad (15)$$

2.2 数据来源和指标的选取

农业旱灾脆弱性强调孕灾环境的易变性和承灾体的易损性, 受到生态环境因素和社会经济因素的共同影响^[23]。基于贵州省实际情况, 遵循完整性、简明性、独立性、可评价性等原则^[13]和资料的详实程度、可靠性, 本研究从自然、社会、经济等层面选取了 12 个典型指标, 构建评价指标体系 (图 1), 并根据相关数据 (表 1) 计算贵州省农业旱灾脆弱性的大小。

2.3 贵州省农业旱灾脆弱性可变模糊评价

2.3.1 评估指标的分级 目前对农业旱灾脆弱性影响因子评价等级的划分没有统一的标准, 本研究在根据喀斯特实际情况基础上, 采用内插等分法确定农业旱灾脆弱性评价因子等级标准 (表 2)。

2.3.2 相对隶属度计算 根据表 1 和表 2 中的数据, 通过公式 (3) 计算出点值矩阵 M 为

$$M = \begin{bmatrix} 500 & 1\ 375 & 2\ 750 & 3\ 375 & 5\ 000 \\ 500 & 875 & 1\ 250 & 1\ 550 & 1\ 880 \\ 780 & 600 & 550 & 500 & 450 \\ 90 & 65 & 40 & 15 & 0 \\ 40 & 28.75 & 22.5 & 16.25 & 10 \\ 1\ 800 & 1\ 462.5 & 1\ 275 & 1\ 087.5 & 900 \\ 80 & 67.5 & 55 & 42.5 & 30 \\ 650 & 512.5 & 325 & 137.5 & 0 \\ 0 & 13.75 & 27.5 & 41.25 & 60 \\ 12 & 8.5 & 3.25 & 1.375 & 0 \\ 1\ 000 & 3\ 250 & 5\ 000 & 7\ 500 & 10\ 000 \\ 0.05 & 0.162\ 5 & 0.225 & 0.287\ 5 & 0.4 \end{bmatrix}.$$

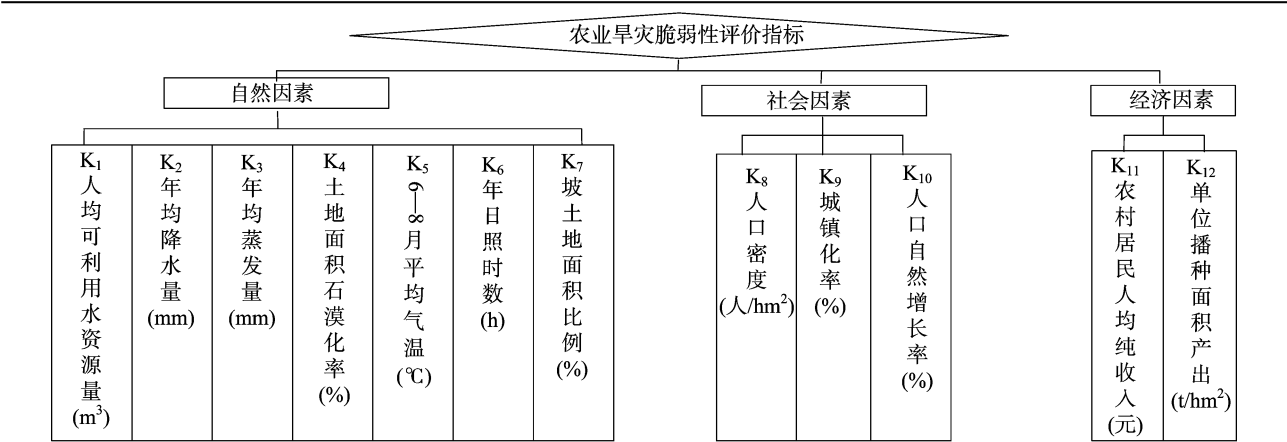


表 1 贵州省农业旱灾脆弱性评价指标特征值

评价地区	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄	K ₅	K ₆	K ₇	K ₈	K ₉	K ₁₀	K ₁₁	K ₁₂
贵阳市	743	1 095.7	533.8	85.02	23.18	1 230.7	51.04	563	41.45	5.79	9 592	0.153 3
遵义市	1 966	1 077.0	516.6	65.78	27.11	1 373.6	68.70	200	21.38	4.99	6 849	0.203 9
安顺市	1 093	1 275.0	604.1	71.52	22.07	1 406.8	60.59	248	18.16	5.71	5 801	0.231 2
黔南州	3 755	1 235.3	614.8	81.53	24.02	995.1	65.98	124	17.46	7.32	6 208	0.210 5
黔东南州	4 970	1 235.8	602.7	23.19	25.84	1 313.2	73.62	115	16.39	5.57	5 345	0.191 4
铜仁地区	3 013	1 228.6	530.8	60.63	28.78	1 223.3	70.00	173	17.36	5.90	5 397	0.193 5
毕节地区	1 572	1 023.3	522.8	73.34	22.74	1 338.6	62.18	244	9.91	6.16	5 645	0.198 5
六盘水市	1 002	1 315.8	772.9	63.18	20.54	1 466.7	77.32	290	25.59	5.42	5 934	0.319 9
黔西南州	2 134	1 273.3	596.1	60.28	22.60	1 712.6	72.11	168	12.68	6.16	5 360	0.220 2

注:表中数据根据《贵州统计年鉴》(2013)和《贵州省水资源公报》(2013)中数据整理得到。

表 2 农业旱灾脆弱性程度指标等级分级标准

评价指标	1 级 (极度)	2 级 (严重)	3 级 (中度)	4 级 (轻度)	5 级 (微度)
人均可利用水资源量(K ₁)	500~1 000	>1 000~2 500	>2 500~3 000	>3 000~3 500	>3 500~5 000
年均降水量(K ₂)	500~800	>800~1 100	>1 100~1 400	>1 400~1 600	>1 600~1 800
年均蒸发量(K ₃)	780~610	<610~570	<570~530	<530~490	<490~450
土地面积石漠化率(K ₄)	90~70	<70~50	<50~30	<30~10	<10~0
6—8 月平均气温(K ₅)	40~30	<30~25	<25~20	<20~15	<15~10
年日照时数(K ₆)	1 800~1 500	<1 500~1 350	<1 350~1 200	<1 200~1 050	<1 050~900
坡土地面积比例(K ₇)	80~70	<70~60	<60~50	<50~40	<40~30
人口密度(K ₈)	650~550	<550~400	<400~250	<250~100	<100~0
城镇化率(K ₉)	0~10	>10~25	>25~30	>30~45	>45~60
人口自然增长率(K ₁₀)	12~10	<10~4	<4~2.5	<2.5~1	<1~0
农村居民人均纯收入(K ₁₁)	1 000~3 000	>3 000~4 000	>4 000~6 000	>6 000~8 000	>8 000~10 000
单位播种面积产出(K ₁₂)	0.05~0.15	>0.15~0.20	>0.20~0.25	>0.25~0.30	>0.30~0.40

利用 SPSS 或 Matlab 软件,根据矩阵 Y_{ab} 和矩阵 M ,判断评价区域特征值 k_{ij} 在点值 M_{ih} 的左侧或右侧,计算出各指标对各级别的相对隶属度,利用公式(4)~(6)计算出贵阳市各指标对各级别的相对隶属度 $U_A(k_{ij})_h$ 。

2.3.3 确定指标的权重 由熵值法确定各指标的权重,根据公式(11)~(13)可依次求得各指标的无量纲化权重值为 $\omega = (0.075\ 4\ 0.149\ 4\ 0.058\ 7\ 0.149\ 4\ 0.085\ 0\ 0.072\ 3\ 0.121\ 6\ 0.056\ 2\ 0.058\ 5\ 0.061\ 6\ 0.054\ 4\ 0.057\ 7) = (\omega_j)$ 。

2.3.4 综合相对隶属度计算 以 $U_A(k_{ij})_h$ 和 ω 权重为基础,利用模型(7)可计算出各个样本对各级别 $h(h=1、2、3、4、5)$ 的综合相对隶属度,并进行无量纲化处理(表3)。

$$U_A(k_{ij})_h = \begin{bmatrix} 0.757 & 0.243 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.510 & 0.490 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.595 & 0.405 & 0.000 \\ 0.876 & 0.125 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.136 & 0.864 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.705 & 0.295 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.604 & 0.396 & 0.000 \\ 0.565 & 0.435 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.973 & 0.027 \\ 0.000 & 0.699 & 0.301 & 0.000 & 0.000 \\ 0.000 & 0.000 & 0.000 & 0.102 & 0.898 \\ 0.368 & 0.632 & 0.000 & 0.000 & 0.000 \end{bmatrix}。$$

表 3 不同模型参数组合的综合相对隶属度

样本区域	$\alpha = 1, p = 1$					$\alpha = 1, p = 2$					$\alpha = 2, p = 1$					$\alpha = 2, p = 2$				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
贵阳市	0.24	0.23	0.33	0.16	0.05	0.26	0.21	0.28	0.16	0.10	0.23	0.20	0.47	0.08	0.01	0.32	0.18	0.36	0.10	0.03
遵义市	0.04	0.58	0.26	0.13	0.00	0.08	0.52	0.23	0.17	0.00	0.00	0.84	0.13	0.03	0.00	0.01	0.79	0.14	0.06	0.00
安顺市	0.12	0.37	0.43	0.08	0.00	0.20	0.32	0.38	0.10	0.00	0.03	0.40	0.56	0.01	0.00	0.11	0.35	0.52	0.02	0.00
黔南州	0.15	0.32	0.30	0.13	0.10	0.21	0.26	0.28	0.13	0.13	0.07	0.46	0.38	0.06	0.03	0.20	0.31	0.37	0.06	0.06
黔东南州	0.09	0.30	0.36	0.16	0.09	0.15	0.21	0.30	0.20	0.14	0.02	0.33	0.55	0.08	0.02	0.09	0.20	0.45	0.19	0.07
铜仁地区	0.06	0.41	0.38	0.15	0.00	0.14	0.37	0.34	0.16	0.00	0.01	0.52	0.43	0.05	0.00	0.05	0.48	0.41	0.07	0.00
毕节地区	0.12	0.45	0.35	0.08	0.00	0.20	0.40	0.29	0.12	0.00	0.03	0.61	0.35	0.01	0.00	0.12	0.57	0.28	0.03	0.00
六盘水市	0.20	0.33	0.31	0.13	0.04	0.23	0.30	0.27	0.13	0.07	0.14	0.44	0.37	0.05	0.00	0.21	0.40	0.32	0.05	0.02
黔西南州	0.14	0.39	0.39	0.07	0.00	0.20	0.34	0.35	0.11	0.00	0.04	0.47	0.48	0.01	0.00	0.12	0.41	0.44	0.03	0.00

3 结果与分析

根据公式(10),计算出农业旱灾脆弱性的级别特征值,得到贵州省各地区的农业旱灾脆弱性的综合评价结果(表4)。由表4可知,各地区的级别特征平均值在2.322~2.882之间,旱灾脆弱性等级为严重或中度,9个脆弱性分区中,有6个严重区,3个中度区,说明贵州省整体上农业旱灾脆弱性严重,旱灾现象频发,损失严重,但各地区间农业旱灾脆弱性差

异明显,其级别特征平均值从小到大的顺序为:毕节地区<遵义市<六盘水市<黔西南州<安顺市<贵阳市<铜仁地区<黔南州<黔东南州。毕节地区旱灾脆弱性最严重,主要原因是其气候蒸发旺盛,光照时数多,土地石漠化严重,坡土地面积比重大,不适宜耕种,单位播种面积产出低而经济发展水平的御旱能力相对较弱等;黔东南州脆弱度小,与该地区降水多、人口密度小、可利用水资源量充沛等息息相关。

表 4 可变模糊理论综合分析法评价结果

评价区域	$\alpha = 1, p = 1$		$\alpha = 1, p = 2$		$\alpha = 2, p = 1$		$\alpha = 2, p = 2$		综合评价	
	级别特征值	等级	级别特征值	等级	级别特征值	等级	级别特征值	等级	平均值	等级
贵阳市	2.546	中度	2.627	中度	2.431	严重	2.335	严重	2.485	严重
遵义市	2.465	严重	2.484	严重	2.185	严重	2.248	严重	2.346	严重
安顺市	2.464	严重	2.380	严重	2.552	中度	2.453	严重	2.462	严重
黔南州	2.721	中度	2.703	中度	2.514	中度	2.467	严重	2.601	中度
黔东南州	2.864	中度	2.968	中度	2.743	中度	2.954	中度	2.882	中度
铜仁地区	2.617	中度	2.522	中度	2.518	中度	2.495	严重	2.538	中度
毕节地区	2.401	严重	2.316	严重	2.347	严重	2.223	严重	2.322	严重
六盘水市	2.462	严重	2.517	中度	2.337	严重	2.260	严重	2.394	严重
黔西南州	2.391	严重	2.376	严重	2.450	严重	2.385	严重	2.401	严重

注:极度, $h < 1.67$;严重, $1.67 \leq h < 2.5$;中度, $2.5 \leq h < 3.5$;轻度, $3.5 \leq h < 4.5$;微度, $h \geq 4.5$ ^[22]。

贵州省农业旱灾脆弱性的差异性主要是由人口、社会经济的发展、地表水资源量的盈缺、喀斯特生态环境的脆弱性程度等决定的。本研究根据《贵州统计年鉴(2013)》《贵州省水资源公报(2013)》《贵州省地理信息集》整理出4个层面的相关典型数据(表5)。

以表4和表5为基础,根据公式(14)、(15)计算表5中4个因素指标和表4中综合评价级别特征值平均值之间的灰色关联系数和灰色关联度,结果如表6所示。

从单个因素来看,人口、GDP、地表水资源量、喀斯特生态环境都对贵州省农业旱灾脆弱性具有一定的影响,但其影响力大小(关联度)有所差异,从大到小依次为地表水资源>GDP>人口>喀斯特生态环境。

这4种因素在不同的地区具有不同的组合方式,关联度从大到小依次为安顺市>六盘水市>黔西南州>铜仁地区>贵阳市>黔东南州>黔南州>毕节地区>遵义市,说明这4种因素在不同地区取主要作用的因素有主次之分,主次因素不同,表现为对贵州省农业旱灾脆弱性的影响程度不同。

表 5 贵州省人口、GDP 和喀斯特面积统计 %

区域	人口占全省百分比	GDP 占全省百分比	地表水资源占全省百分比	喀斯特面积占各区百分比
贵阳市	9.012	25.475	4.421	85.023
遵义市	18.810	22.087	15.901	65.812
安顺市	6.732	5.531	3.312	71.542
黔南州	10.037	9.184	15.997	81.545
黔东南州	11.252	7.156	22.798	23.233
铜仁地区	10.047	5.792	12.313	60.605
毕节地区	18.449	11.194	13.535	73.323
六盘水市	7.710	7.805	3.792	63.245
黔西南州	7.951	5.758	7.929	60.323

从地区来看,遵义市、毕节地区、六盘水市农业旱灾脆弱性与其人口、GDP、地表水资源量关联系数较大,导致其农业旱灾脆弱性排在前3位,这正是由于地表水资源供给量不足,喀斯特面积广布,人口、社会经济发展水平御旱能力较弱所致;而黔南州、黔东南州和铜仁地区农业旱灾脆弱性与其人口、GDP、地表水资源量关联系数也较大,而其农业旱灾脆弱

表 6 4 个层面指标与综合评价结果的灰色关联度

区域	关联系数				灰色关联度
	人口占 全省百 分比	GDP 占 全省百 分比	地表水 资源占全 省百分比	喀斯特 面积占各 区百分比	
贵阳市	0.467	0.184	0.821	0.057	0.382
遵义市	0.242	0.209	0.281	0.074	0.201
安顺市	0.593	0.692	1.000	0.068	0.588
黔南州	0.430	0.465	0.284	0.060	0.310
黔东南州	0.398	0.592	0.207	0.203	0.350
铜仁地区	0.428	0.674	0.358	0.080	0.385
毕节地区	0.246	0.383	0.324	0.066	0.255
六盘水市	0.527	0.522	0.901	0.077	0.507
黔西南州	0.514	0.665	0.515	0.080	0.444
灰色关联度	0.427	0.487	0.521	0.085	

性程度较轻,主要是与该地区地表水资源量盈余、喀斯特面积分布比重相对偏小有关。

从人口、GDP 和地表水资源量的视角分析,除遵义市以外,贵州省其他各个地区的农业旱灾脆弱性与这 3 种因素的关联系数很大,说明这 3 种因素对贵州农业旱灾脆弱性具有主导作用,经济的发达程度,直接决定了水库、大坝等水利建设修复工程的减灾投入;人口数量表现为对地表水资源的需求量;地表水资源量是最主要自然因素,地表水资源量盈余或亏损直接决定了旱灾发生与否及生态环境对干旱的适应、调整和恢复能力,3 种因素将决定贵州省农业旱灾脆弱性的大小。

从喀斯特分布面积来看,贵州省农业旱灾脆弱性与喀斯特分布面积关联系数非常小,关联度也小,除黔东南州外均小于 0.1,这与表 5 中除黔东南州外,各地区喀斯特分布面积均大于 60% 形成强烈的对比,说明喀斯特分布面积对贵州省农业旱灾脆弱性的影响较小。喀斯特地区地下水和暗河伏流交替出的双重介质结构对农业旱灾脆弱性有一定的影响,但是,随着经济的发展、科技的进步以及人文因素的作用,正逐渐弱化着喀斯特对农业旱灾脆弱性的影响。

4 结论

贵州省农业旱灾脆弱性基本上处于严重或中度等级层次,易于遭受旱灾的侵害,农业旱灾已成为制约贵州省农业经济发展最主要的农业灾害。贵州省农业旱灾脆弱性的影响因素主要有人口、GDP、地表水资源量和喀斯特分布面积,其影响力从大到小的顺序为地表水资源 > GDP > 人口 > 喀斯特分布面积。随着经济的发展、科技的进步以及人文因素的作用,喀斯特生态环境对农业旱灾脆弱性的影响将逐渐减少。

参考文献:

- [1] 史本林,朱新玉,胡云川,等. 基于 SPEI 指数的近 53 年河南省干旱时空变化特征[J]. 地理研究,2015,34(8):1547-1558.
- [2] Lobell D B, Roberts M J, Schlenker W, et al. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the US Midwest[J].

Science,2014,344(6183):516-519.

- [3] 康永辉,解建仓,黄伟军,等. 广西大石山区农业干旱成因分析及脆弱性评价[J]. 自然灾害学报,2014,23(3):24-32.
- [4] Slegers M F W. "If only it would rain": Farmers' perceptions of rain-fall and drought in semi-arid central Tanzania[J]. Journal of Arid Environments,2008,72(11):2106-2123.
- [5] 程静,王群. 农业旱灾脆弱性的特殊生成机制与化解路径[J]. 改革与战略,2012,28(1):99-101.
- [6] 周游游,蒋忠诚,韦珍莲. 广西中部喀斯特干旱农业区的干旱程度及干旱成因分析[J]. 中国岩溶,2003,22(2):144-149.
- [7] Naumann G, Barbosa P, Garrote L, et al. Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems[J]. Hydrology and Earth System Sciences,2014,18(5):1591-1604.
- [8] 刘兰芳. 衡阳盆地农业旱灾脆弱性研究[J]. 热带地理,2002,22(1):19-23.
- [9] Popova Z, Pereira L S, Ivanova M, et al. Assessing drought vulnerability of bulgarian agriculture through model simulations[J]. Journal of Environmental and Engineering B,2012,1(8):1017-1036.
- [10] 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.
- [11] 孙芳,杨修. 农业气候变化脆弱性评估研究进展[J]. 中国农业气象,2005,26(3):170-173.
- [12] 段兴武,谢云,刘刚,等. 黑龙江省粮食生产对气候变化影响的脆弱性分析[J]. 中国农业气象,2008,29(1):6-11.
- [13] 倪深海,顾颖,王会容. 中国农业干旱脆弱性分区研究[J]. 水科学进展,2005,16(5):705-709.
- [14] 曹永强,伊吉美,游海林,等. 投影寻踪技术在农业旱灾脆弱性评价中的应用[J]. 人民黄河,2010,32(2):12-13.
- [15] 陈守煜. 工程模糊集理论与应用[M]. 北京:国防工业出版社,1998.
- [16] 杨明德. 论喀斯特环境的脆弱性[J]. 云南地理环境研究,1990(1):21-29.
- [17] 李雪冬,杨广斌,张旭亚,等. 基于 RS 和 GIS 的喀斯特山区生态系统构成与格局及转化分析——以贵州毕节地区为例[J]. 中国岩溶,2014,33(1):82-90.
- [18] 余霜,李光. 基于 Logistic-ISM 模型的喀斯特地区农户石漠化治理行为影响因素及调控研究[J]. 中国岩溶,2014,33(3):338-346.
- [19] 陈圣子,周忠发,闫利会. 基于网格 GIS 的喀斯特石漠化治理过程中生态系统健康变化诊断——以贵州花江示范区为例[J]. 中国岩溶,2015,34(3):266-273.
- [20] 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.
- [21] 刘兰芳,刘盛和,刘沛林,等. 湖南省农业旱灾脆弱性综合分析与定量评价[J]. 自然灾害学报,2002,11(4):78-83.
- [22] 谷洪波,刘新意,刘芷好. 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[J]. 干旱地区农业研究,2014,32(5):174-180.
- [23] 赵菲菲,何斌,李小涵,等. 区域农业干旱脆弱性评价及影响因素识别——以河南、河北省为例[J]. 北京师范大学学报(自然科学版),2012,48(3):282-286.