

湖北省旱灾脆弱性的综合评价

毛竹君, 冯利华

(浙江师范大学 地理与环境科学学院, 浙江 金华 321004)

摘要: 中国是一个水旱灾害频发的国家,但历来相对于对洪水灾害的重视,旱灾在一定程度上得到的关注并不多。本文运用综合模糊评价方法对湖北省旱灾脆弱性进行综合评价,得到与事实相符的评价结果,并对影响因素进行分析、提出相应的对策,为旱灾的防治提供重要依据。

关键词: 模糊综合评价; 旱灾; 脆弱性; 湖北省

中图分类号: P426 文献标识码: A 文章编号: 1672-643X(2014)05-0098-04

Comprehensive evaluation of drought vulnerability in Hubei Province

MAO Zhujun, FENG Lihua

(College of Geography and Environment Sciences, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: China is a country with frequent disasters of flood and drought. However, the drought damage is paid less attention with respect to the flood disaster in a certain extent. The paper comprehensively evaluated the drought vulnerability of Hubei Province by using fuzzy comprehensive evaluation method and got the results that is consistent with the fact. Then it analyzed the influence factors and proposed the appropriate measures which can provide an important basis for the prevention and control of drought disaster.

Key words: fuzzy comprehensive evaluation; drought; drought vulnerability; Hubei Province

1 研究背景

灾害是一个复杂、多变的系统,存在许多的不确定性因素,很难给予准确的界定,二级综合模糊评价方法能有效地解决评价边界模糊和检测误差对评价结果的影响,能够较为客观地反应区域的灾害防治能力,为防灾、减灾、治灾提供依据^[1]。

下荆江河段地处湖北省境内具有代表性的蜿蜒性河道,长度为240 km,但只有80 km的直线距离,江水在这里绕了16个大弯,有“九曲回肠”之称。长江中游尤其是湖北省区域是我国最为严重的洪灾区。有学者统计了过去1000 a中荆州地区的水旱灾害次数,其中旱灾131次,水灾132次。旱涝灾害发生的频数相近,而且旱涝灾害的频率渐渐增大,洪灾等级愈来愈高^[2]。因此,除了洪灾之外,旱灾的脆弱性也应该得到相应的重视。

2 研究区概况

湖北省,又称“千湖之省”,地处长江中游以及中国的中心地带。介于北纬29°05′至33°20′,东经108°21′至116°07′,是典型的亚热带季风气候,四季分明。东、西、北三面环山,中部为汉江自西北向东南于长江交汇而冲积形成的江汉平原,地势低平。在全省有1 193条中小河流,总长度多达3.5万km。此外,通过全省的径流量约有6 338亿m³。至2011年末,全省常住人口5 758万人,完成生产总值19 594.19亿元,粮食种植面积412.21万hm²,完成工业增加值8 565.56亿元。湖北省是国家“中部崛起”战略的支点、中心,全国交通枢纽。不仅科教文化实力位居全国前列,湖北还具有承东启西的战略地位,位于东部技术密集工业区和西部资源富集区的结合部,具有重要的战略地位。

收稿日期:2014-05-06; 修回日期:2014-07-09

基金项目:国家自然科学基金项目(41171430)

作者简介:毛竹君(1990-),女,湖北潜江人,硕士研究生,研究方向为水文学与水资源。

通讯作者:冯利华(1955-),男,浙江建德人,教授,主要从事水文学与水资源的教学与研究工作。

3 综合模糊评判法

3.1 建立因素集和因素子集

承灾体的脆弱性是由多种因素决定的,评判因素选择的合适与否将对最终评判结果的确立起着关键的作用。结合各要素进行综合分析,将影响旱灾的有关因素按照不同的属性进行分类,确定各因素之间的关系,建立因素集和因素子集以及各因素子集包含的因素^[3]。因素集有社会和自然两个子集,即 $A = \{M, N\}$, 每个子集都有 n 个因素。

在旱灾脆弱性的评价问题上, $M = \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6\} = \{\text{生产总值, 人口, 粮食种植面积, 粮食产量, 工业增加值, 水库座数}\}$; $N = \{X_7, X_8, X_9, X_{10}\} = \{\text{森林覆盖率, 年降水量, 地表水资源量, 亩均水资源量}\}$ 。

3.2 建立评价标准和权重集

对各评价因素,要用评判集来衡量旱灾脆弱性的程度,为反应一个区域旱灾承受能力的强弱。依据实际的情况,将其分为 4 个等级,这里用 $Y = \{\text{低度脆弱性, 较低度脆弱性, 中度脆弱性, 高度脆弱性}\}$ 。

这里利用成对比较法来确定权数集,即根据专家咨询意见,对 n 个指标中任意两个指标之间的重要性进行两两比较,给出比值 $C_{ij}(i, j = 1, 2, \dots, n)$, 得到判断矩阵:

$$C = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} & \cdots & c_{1n} \\ c_{21} & c_{22} & \cdots & c_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ c_{n1} & c_{n2} & \cdots & c_{nn} \end{bmatrix} \tag{1}$$

对矩阵 C 的每一行元素先相乘,再求 n 次方根,得一向量 $\beta = (\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n)^T$, 其中 $\beta_i = (\prod_{j=1}^n c_{ij})^{1/n} (i = 1, 2, \dots, n)$ 。作无量纲化处理,即

令 $a_i = \beta_i / \sum_{i=1}^n \beta_i$, 从而得到权数集 $A = (a_1, a_2, \dots, a_n)^T$, 并且满足 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$ 。

3.3 建立隶属度

由于模糊性的产生有主观因素,也有客观因素,因此,建立反映模糊性隶属函数,也必然受主观因素的影响。在建立隶属函数时,根据受灾区域脆弱性综合评价特点,参考一些典型的函数构造所需要的隶属函数,这里选用均匀分布作为隶属函数:

$$U_1(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i \geq x_{ij} \\ 0, & x_i < x_{il} \end{cases} \tag{2}$$

$$U_j(x_i) = \begin{cases} 1, & x_{i,j+1} \leq x_i \leq x_{ij} \\ 0, & x_i < x_{i,j+l}, x_i \geq x_{ij} \end{cases} \tag{3}$$

$$U_m(x_i) = \begin{cases} 1, & x_i < x_{i,m-1} \\ 0, & x_i \geq x_{i,m-1} \end{cases} \tag{4}$$

式中: $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ij}, \dots, x_{i,m-1}$ 分别为第 i 种指标第 j 等级的分级标准($i = 1, 2, \dots, n; j = 1, 2, \dots, m$); x_i 为某一地区第 i 种指标的基础数据; $U_j(x_i)$ 为某一指标对第 j 等级的隶属度。

3.4 模糊综合评判

(1) 一级综合评判,创建从指标体系 X 到 Y (旱灾脆弱性的四个等级)的模糊映射,得出指标子系统的模糊关系 $R_k(k = 1, 2, \dots, s)$, 即评判矩阵:

$$R_k = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & r_{n2} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

式中: r_{nm} 为 n 指标对 m 等级的隶属度。对指标子系统权数集 A_k 和相应的评判矩阵 R_k 进行模糊合成运算,得到指标子系统的一级综合评判 B_k :

$$B_k = A_k \times R_k \tag{6}$$

(2) 二级综合评判,一级模糊综合评判仅是对一类中的各个影响因素进行综合分析,而二级模糊综合评判是要考虑各类因素的综合影响,必须把不同的类别进行综合。如果把 X_k 视为一个元素,而把 B_k 视为它的单指标评判向量,那么可得指标系统 X 的评判矩阵: $R = (B_1, B_2, \dots, B_s)^T$ 。对指标系统权数集 A 和评判矩阵 R 再次进行模糊合成运算,最后得到各地区易损程度的二级综合评判 B ^[4]:

$$B = A \times R \tag{7}$$

4 湖北省旱灾脆弱性评价

以湖北省 13 个地区的指标为例,根据湖北省区域结构特点及布局,选择 GDP、人口数、粮食种植面积等 10 个指标^[5](见表 1)作为评价因子集。数据来源为《2011 年湖北省水资源公报》、《2011 年湖北省统计年鉴》以及 13 个地区 2011 年的统计年鉴。

参考国内其他灾害等级划分方法以及湖北省现实情况,将衡量旱灾脆弱性程度的评判标准划分为四个等级, $Y = \{1 \text{ 低度脆弱性, } 2 \text{ 较低度脆弱性, } 3 \text{ 中度脆弱性, } 4 \text{ 高度脆弱性}\}$ (见表 2)。

表 1 旱灾脆弱性模糊评价数据^[6-7] 亿元, 万人, 10³ hm², 万 t, 座, %, 亿 m³, m³

地区	生产 总值	人口	粮食种 植面积	粮食 产量	工业 增加值	水库 座数	森林 覆盖率	年降 水量	地表水 资源量	亩均 水资源量
武汉	6756.20	1002.00	221.02	120.86	2458.75	9	26.80	82.42	23.48	877
黄石	925.96	243.46	133.78	61.01	522.36	8	28.34	54.97	27.42	2108
十堰	851.30	334.80	272.13	107.60	386.50	25	53.00	220.75	85.97	2716
荆州	1043.12	570.40	547.10	363.05	407.14	7	15.20	133.46	50.00	833
宜昌	2140.69	406.85	321.15	156.35	1100.46	30	58.00	222.20	85.97	2558
襄阳	2132.20	552.72	694.60	475.05	1034.60	74	42.62	160.45	41.61	689
鄂州	490.89	109.43	40.55	32.88	272.04	1	19.37	17.85	8.32	1581
荆门	942.59	301.90	348.27	255.72	480.77	35	37.60	89.17	24.41	655
孝感	958.16	528.91	525.66	214.39	408.69	17	24.30	67.33	14.19	397
黄冈	1045.11	746.25	771.17	301.14	324.00	49	43.00	170.18	62.46	1291
咸宁	652.10	246.79	207.43	100.67	279.34	22	47.58	127.45	62.78	2863
随州	517.99	216.99	226.98	155.86	199.88	29	50.45	62.28	10.26	497
恩施	418.19	329.74	433.93	153.15	81.80	21	67.00	317.89	182.75	4714

表 2 旱灾脆弱性模糊评价等级及标准

亿元, 万人, 10³ hm², 万 t, 座, 亿 m³

子系统	评价指标	1	2	3	4
生产	生产总值	≥2000	950 - 2000	600 - 950	<600
	人口	≤300	300 - 400	400 - 570	>570
社会	粮食种植面积	≤220	220 - 340	340 - 540	>540
	粮食产量	≥300	300 - 156	105 - 156	<105
工业	工业增加值	≥1000	400 - 1000	275 - 400	<275
	水库座数	≥35	25 - 35	9 - 25	<9
自然	森林覆盖率	≥52	43 - 52	25 - 43	<25
	年降水量	≥200	130 - 200	65 - 130	<65
子系统	地表水资源量	≥80	50 - 80	20 - 50	<20
	亩均水资源量	≥2700	1500 - 2700	680 - 1500	<680

由于不同因子对同一灾度的贡献程度不同(或者说同一灾度对不同因子的重要程度不同),因此对不同的因子用不同的权重加以区别。根据专家咨询意见和(1)式,自然子集系统的权数集 $M = (0.2, 0.17, 0.16, 0.14, 0.19, 0.14)$;社会子集系统的权数集 $N = (0.28, 0.28, 0.23, 0.21)$,因素系统的权数集 $A = (0.5, 0.5)$ 。

现以武汉市为例进行分析,基于武汉市的评价数据以及旱灾脆弱性的评判等级标准,并根据公式(2)~(4),得到两个子集的模糊关系矩阵 R_1, R_2 :

$$R_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$R_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

计算一级模糊综合评价集:

$$B_1 = M \times R_1 = (0.39, 0.16, 0.28, 0.17);$$

$$B_2 = N \times R_2 = (0, 0, 1, 0)$$

计算二级模糊综合评价集:

$$\begin{aligned} B &= A \times R = A \times \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix} \\ &= (0.5, 0.5) \times \begin{bmatrix} 0.39 & 0.16 & 0.28 & 0.17 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \\ &= (0.195, 0.08, 0.64, 0.085) \end{aligned}$$

由最大隶属度原则分析该矩阵,武汉市是第三等级,属于中度脆弱性。同理,求得其他 12 个地区脆弱性等级和隶属度序列,并将它们组合起来,便得到总的因素评判矩阵以及最终结果(见表 3)。湖北省东、西、北三面环山,中间低平,由表 3 可知,山地、丘陵地区,如恩施、黄冈、十堰、宜昌等地旱灾脆弱性程度低,主要是因为其自然条件优越,植被覆盖率高,水资源充足,而且受山地所限制,单位面积居住人口较少。而位于江汉平原的鄂州、随州等地,由于森林覆盖率低,水资源条件有限,加之经济水平的限制,在预防和治理灾害方面的能力较弱。对于位于江汉平原的其他地区,如武汉、襄阳、荆州等地经济水平较高,森林覆盖率的程度也较高,在防灾、治灾方面的能力相对较高。综上所述,模糊模式识别的结果与实际情况相符。因此,可以认为模糊综合方法的评判

结果是可信的。

$$B = \begin{bmatrix} 0.195 & 0.08 & 0.64 & 0.085 \\ 0.165 & 0.20 & 0.355 & 0.28 \\ 0.50 & 0.235 & 0.265 & 0 \\ 0.21 & 0.415 & 0.14 & 0.235 \\ 0.59 & 0.325 & 0.085 & 0 \\ 0.335 & 0.14 & 0.445 & 0.08 \\ 0.165 & 0.105 & 0 & 0.73 \\ 0.07 & 0.25 & 0.575 & 0.105 \\ 0 & 0.265 & 0.375 & 0.36 \\ 0.14 & 0.495 & 0.2 & 0.165 \\ 0.27 & 0.255 & 0.405 & 0.07 \\ 0.085 & 0.29 & 0.07 & 0.555 \\ 0.50 & 0.085 & 0.2 & 0.195 \end{bmatrix}$$

由上述分析可知,影响旱灾脆弱性的因素错综复杂,它是区域自然因素和人为因素的共同作用的结果,是自然驱动力和人为驱动力在特定时空条件下耦合的产物^[8]。从表 3 中可以看到,湖北省东部地区脆弱性程度偏高,中部江汉平原地区次之,而西部山地地区则相对较好,其影响因子除了受地形等自然因素影响的温度、降水条件差异之外,不同地区的经济水平等人为因素差异也产生了很大的影响。干旱具有发展缓慢,其起始和终止不易察觉的特点^[9],20 世纪末期以来,在这些驱动因素的相互作用之下,旱灾发生的频率有逐渐增加之势,其影响再攀新高^[10]。此外,采用模糊综合评判法在最大隶属度原则的基础上,根据隶属度的大小来最终确定旱灾脆弱性的等级归属。定性和定量相结合,在一定

表 3 旱灾脆弱性等级表

地区	武汉	黄石	十堰	荆州	宜昌	襄阳	鄂州	荆门	孝感	黄冈	咸宁	随州	恩施
隶属度	0.64	0.355	0.5	0.415	0.59	0.445	0.73	0.575	0.375	0.495	0.405	0.555	0.5
等级	中度	中度	低度	较低	低度	中度	高度	中度	中度	较低	中度	高度	低度

程度上可以避免划分结果的绝对性。因此,运用模糊数学的方法,并结合旱灾的特点,可以为经济的可持续发展尤其是第一产业发展方针的制定提供合理的依据。

5 结 语

湖北省作为中部地区的“支点”,具有举足轻重的地位,通过本文的分析得出如下结论:

(1)湖北省在防洪的基础上务必重视旱灾的防治,水利建设需要防洪防旱两者并举。首先,转变观念,历史上,由于水灾来势较快、灾情明显的特征,人们都很重视水灾而忽视了旱灾。其次,从历史上长江中游的水旱灾害演化的情况可以看到,两者几乎都是交替出现,因而要做好大水之后防大旱的准备。

(2)修建水库,扩大湖泊、河流的蓄水能力,河流干枯的时候可以增加径流量,保障沿岸地区生产生活需要;汛期的时候可以增加蓄水,减少下游的防洪的压力。

(3)加强湿地的保护和修复工作,增加森林覆盖率,提高湿地和林地涵养水源、调节气候的能力,补充水利工程无法顾及的地方,这对长江中游的防

洪防旱是至关重要的。

参考文献:

[1] 张戈,于大涛,郭丽丽,等. 大连市区空气质量模糊综合评判[J]. 环境保护与循环经济,2009,29(6):24-25.

[2] 梅惠,李长安,徐宏林. 长江中游水旱灾害特点与水旱兼治对策——以“两湖”地区为例[J]. 华中师范大学学报(自然科学版),2006,40(2):287-290.

[3] 孙蕾,石纯. 沿海城市自然灾害脆弱性评估研究进展[J]. 灾害学,2007,22(1):102-105.

[4] 冯利华,吴樟荣. 区域易损性的模糊综合评判[J]. 地理学与国土研究,2001,17(2):63-66.

[5] 刘兰芳. 衡阳市农业水旱灾害风险评价与风险管理研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2007.

[6] 湖北省水资源局. 2011 年湖北省水资源公报[Z].

[7] 湖北省统计局. 2011 年湖北省统计年鉴[Z].

[8] 刘加龙,吕希奎,刘贵应,等. 模糊综合评判法在泥石流灾度评价中的应用[J]. 地质科技情报,2001,20(4):86-88.

[9] 程晓陶,向立云,喻朝庆. 水旱灾害管理学科发展[C]//. 水利学科发展报告:(2007-2008);2008.

[10] 陈报章,仲崇庆. 自然灾害风险损失等级评估的初步研究[J]. 灾害学,2010,25(3):1-5.