

# 贵州省凝冻灾害风险评估模型

谷晓平<sup>1</sup>, 于飞<sup>1,2</sup>, 汤泌<sup>3</sup>, 罗宇翔<sup>4</sup> (1. 贵州省山地环境气候研究所, 贵州贵阳 550002; 2. 贵州大学林学院, 贵州贵阳 550025; 3. 贵州省气象局科技减灾处, 贵州贵阳 550002; 4. 贵州省气候中心, 贵州贵阳 550002)

**摘要** 探讨了基于信息扩散的模糊数学理论模型气象灾害风险评估方法, 为了更完全地描述气象灾害风险, 在超越概率计算的基础上, 分析其分布曲线规律, 并定义了超越概率信息熵来衡量风险的不确定性, 为气象灾害风险管理提供更详细的参考。利用贵州省凝冻灾害指数资料, 对贵州省凝冻灾害风险评估进行实例分析, 并得出凝冻灾害风险区划图。

**关键词** 风险评估; 信息扩散; 信息熵; 凝冻灾害; 贵州

**中图分类号** S425 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2009)14-06498-03

## Risk Assessment Model of Frozen Disaster in Guizhou Province

GU Xiao-ping et al (Guizhou Institute of Mountain Environment Climate, Guiyang, Guizhou 550002)

**Abstract** The method of the meteorological disaster risk assessment based on the fuzzy mathematics theory model of diffused information is discussed in this study. In order to describe the risk of meteorological disaster, based on surpassing transcendental probability calculation, it analyses the law of the distribution curve, and defines the transcendental probability information entropy which is used to measure the uncertainty of risk, and provides more detailed reference for meteorological disaster risk management. Using the frozen disaster index data of Guizhou Province, it carries out an example analysis on frozen disaster risk assessment and gets the zoning map of frozen disaster risk.

**Key words** Risk assessment; Information diffusion; Message entropy; Frozen disaster; Guizhou

与其他自然灾害相比, 气象灾害的波及面最广, 世界上任何国家的任何地区都会遭受到某些气象灾害的威胁, 气象灾害引起的经济损失也最大。据估计, 在所有的灾害经济损失中, 由气象灾害引起的损失占 70% 以上<sup>[1]</sup>。灾害风险分析定量方法的理论基础有概率论、数理统计、层次分析、综合评价方法、决策分析、灰色系统理论、模糊数学、集对分析、动态仿真模拟、人工智能以及基于 3S 系统的集成应用等。黄崇福在论述自然灾害风险评价基本理论的基础上, 着重介绍了不完备信息条件下自然灾害风险评价的理论和模型并展示其相关实例<sup>[2]</sup>; 张俊香等采用基于信息扩散原理的模糊风险计算模型, 对中国沿海特大风暴潮灾害进行了风险评估<sup>[3]</sup>; 刘新立对不完备样本风险分析方法作了改进, 应用于湖南省农村种植业水灾的风险分析<sup>[4]</sup>; 张继权等利用信息扩散理论对吉林省草原火灾风险进行了评价, 利用信息矩阵对草原火灾损失进行了风险研究, 定量地评价了吉林省草原火灾风险<sup>[5-6]</sup>; 史培军在四论灾害系统时指出当时间序列不完备时, 采用信息扩散方法进行评价, 当空间序列不完备时, 采用 GIS 方法进行修订, 并提出了广义上的灾害的定义<sup>[7-8]</sup>。

在传统上由于气象灾害序列是小样本事件, 气象灾害发生概率计算主要用发生频率来代替, 而信息扩散方法是利用信息分配法把每一个知识样本点变成模糊集, 并把其携带的信息分配给样本中每一个点的一种优化处理样本资料方法, 它为优化处理气象灾害风险提供了一个重要途径。在灾害的风险定量分析中, 一般将灾害风险定义为概率 (或频率) 乘以强度, 而并未考虑其概率的分布规律及不确定性。为此, 笔者拟基于信息扩散理论的风险分析方法与概率、信息论理论及风险矩阵理论建立气象灾害风险评估及区划模型, 并以贵州省凝冻灾害风险评估为例进行说明。

## 1 材料与方法

**1.1 材料** 采用的气温与降水资料来源于贵州省气候中心, 时间序列为从建站起至 2007 年, 空间分布为贵州省 84 个气象台站点。利用该数据可以对贵州省每个县的气象灾害指数进行计算与等级划分。

### 1.2 方法

**1.2.1 气象灾害指数计算方法。** 气象灾害指数计算公式及等级划分标准均参照《贵州短期气候预测技术》<sup>[9]</sup>。

**1.2.2 基于信息扩散理论气象灾害风险评估。** 利用气象台站从建站起至 2007 年历年气象资料, 分别计算贵州省 84 个气象台站各年的气象灾害指数。由于气象台站资料的时间序列仅仅有 50 年左右, 部分站点资料年限更少, 存在统计信息不足的缺点, 利用概率分布统计分析, 结果可能会受到局限。信息扩散是为了弥补信息不足而考虑优化利用样本模糊信息的一种对样本进行集值化的模糊数学处理方法, 该方法可以将一个有观测值的样本变成一个模糊集, 即将单值样本变成集值样本<sup>[2]</sup>。利用模糊数学中有关信息扩散的理论, 可以将某种气象灾害样本的资料从一个单值信息扩散到所设定的指标论域中所有的点, 从而获得较好的风险分析效果。

设计算所得到的  $m$  年的气象灾害指数样本集合为:

$$R = \{r_1, r_2, \dots, r_m\} \quad (1)$$

根据某种气象灾害指数的范围可以设定灾害风险因素指标论域为:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\} \quad (2)$$

其中,  $u_1$  为气象灾害指数的最小值,  $u_n$  为最大值, 利用信息扩散对样本进行集值化的模糊数学处理方法, 一个单值观测样本  $r_i$  可以将其所携带的信息扩散给  $U$  中的所有点, 常采用的模型是正态扩散模型、三角扩散函数、二次扩散函数。陈志芬通过 C 语言编程, 利用仿真数据进行检验, 结果显示基于正态扩散的模型已经非常稳定<sup>[10]</sup>。

由信息扩散方法可以求得每种气象灾害对应灾害风险因素指标论域的概率值  $p(u_i)$  及超越某一指标论域的概率值总和  $P(u_i)$ 。

**基金项目** 国家自然科学基金 (NSFC40765004); 贵州省社会发展攻关项目 (黔科合 SZ [2008] 3019); 贵州气象创新项目 (2008-IPO2)。

**作者简介** 谷晓平 (1968-), 女, 贵州贵阳人, 研究员, 从事环境与气候方面的研究。

**收稿日期** 2009-02-19

为了更充分利用信息扩散带来的信息,令气象灾害风险估计值

$$T = p(u_i) U^T \tag{3}$$

1.2.3 气象灾害风险不确定性评价。由于在传统上只注重了灾害的狭义定义而将灾害发生风险定量为概率(或频率)乘以强度<sup>[11-12]</sup>,并未考虑其概率的分布规律及不确定性,这样并不能很全面地反映各地区的灾害风险。因为某些灾害发生不稳定不确定的地区,灾害所带来的危险性风险相对某些稳定概率发生的地区所带来的危险性风险更大,并且在灾害风险管理中稳定性概率发生的地区比不确定性大的区域相对易于管理。因此,该研究拟在信息扩散所得到的超越概率  $P(u_i)$  的基础上,分析其超越概率分布曲线,并利用信息熵来衡量其超越概率不确定性:

$$H = -SUM\{P(u_i) \log [P(u_i)]\} \tag{4}$$

1.2.4 气象灾害风险区别。笔者分别对气象灾害风险估计值  $T$  和气象灾害不确定性  $H$  评价之后,采用风险矩阵法对气象灾害风险进行评价<sup>[13]</sup>。该方法具有简单、方便、综合的特点,适用范围为 2 个指标或 2 个系统,指标或系统之间为平行或相乘关系。由于不同指标可根据各自的特性确定出等级范围,避免了 2 种评价指标之间确定权重的问题;也避免了在定量分析时,由于某种指标数据之间或指标与指标之间数值相差过大相乘后造成的数据损失问题<sup>[14]</sup>。该方法可反映气象灾害风险估计值  $T$ 、气象灾害不确定性  $H$  以及 2 者综合分布规律。

根据灾害风险分区矩阵(表 1),在此采用 5 级分类方法:“1”代表低风险;“2”代表较低风险;“3”代表中等风险;“4”代表较高风险;“5”代表高风险。当风险值域为 [1,1] 时,表示低风险;当风险值域为 [2,4] 时,表示较低风险;当风险值域为 [6,9] 时,表示中等风险;当风险值域为 [12,16] 时,表示较高风险;当风险值域为 [20,25] 时,表示高风险。

表 1 灾害风险矩阵

Table 1 Matrix of disaster risk

灾害不确定性 (H) Uncertainty of disaster	灾害风险估计值(T) Estimated value of disaster risk				
	低风险 Low risk	较低风险 Lower risk	中等风险 Medium risk	较高风险 Higher risk	高风险 High risk
低风险 Low risk	1	2	3	4	5
较低风险 Lower risk	2	4	6	8	10
中等风险 Medium risk	3	6	9	12	15
较高风险 Higher risk	4	8	12	16	20
高风险 High risk	5	10	15	20	25

2 结果与分析

2.1 气象灾害可能性风险评估 以凝冻灾害为例,首先,利用从建站起至 2007 年历年气温资料与年度冬季凝冻指数求算公式,分别计算贵州省 84 个县站每年度凝冻指数(部分站点年代不足)。从而得到各站点 57 年的凝冻气象灾害指数样本集合为  $R = \{r_1, r_1, L, r_{57}\}$ 。根据凝冻气象灾害指数的范围与强度划分标准,衡量考虑计算精度和计算复杂度的要求,以 5 为间距,设定灾害风险因素指标离散论域为  $U = \{0,$

5,10,15L 300}。分别求得到各个县站的不同指标论域概率的估计值  $p(u_i), i = 61$ ,再求得超越概率  $P(u_i)$ 。根据凝冻指数灾害等级划分标准<sup>[9]</sup>,以贵州省地级市为例,求出的不同等级(轻、中、重、特重)灾害的超越概率  $P(u_{轻})、P(u_{中})、P(u_{重})、P(u_{特重})$  见表 2。从表 2 可看出,对于选取的每一个凝冻灾害等级水平,都会有一个相应的凝冻灾害超越概率值与其相对应。以灾害等级水平为特重的列为例,这一列中的每个数据分别表示其相对应区域今后发生特重凝冻灾害以上的概率。贵阳市发生特重凝冻灾害以上的概率为 9.8%,也就是大约 10 年左右一遇(重现率 = 1/概率)。而灾害等级在特重以上的凝冻灾害在铜仁市出现的概率最低,为 3.5%。可以解释为,在铜仁市这样的特重以上凝冻灾害基本上约为 30 年左右一遇。

表 2 贵州省各地级市凝冻灾害超越概率值

Table 2 Transcendental probability value of frozen disaster in some cities of Guizhou Province

站点 Station	$P(u_{轻})$	$P(u_{中})$	$P(u_{重})$	$P(u_{特重})$
贵阳 Guiyang	50.1	40.7	17.5	9.8
遵义 Zunyi	47.5	34.2	14.7	7.9
安顺 Anshun	67.8	58.0	35.3	21.5
凯里 Kaili	58.6	43.1	26.6	15.2
铜仁 Tongren	26.7	19.9	5.4	3.5
水城 Shuicheng	93.4	86.4	68.9	55.4
都匀 Douyun	52.5	42.3	22.6	12.4
毕节 Bijie	94.1	90.0	65.4	49.6

2.2 灾害不确定性风险评估 在传统的灾害风险定量分析中,一般定义为概率(或频率)乘以强度,但是那样并不能完整地反映出灾害发生的规律。因此,对于风险评估除了需要考虑风险发生的可能性,同时还需要考虑风险的概率(或超越概率)曲线图以及风险的不确定性。因此,可以根据冬季凝冻指数灾害等级划分标准,统计灾害发生的超越概率  $P(u_i)$  曲线图,并选取各风险等级的典型站点作为研究样点(图 1)。

由概率与数理统计理论可知凹形式的超越概率分布对应着左偏的概率密度形式,而凸形式的超越概率分布则对应着右偏的概率密度形式,超越概率曲线的凹凸程度也分别对应着概率密度曲线的偏态程度。超越概率曲线具有拐点意味着其对应的概率密度曲线具有波动性。超越概率曲线在拐点处由凸转向凹,意味着其对应的概率密度曲线在拐点所对应的横坐标处有一个极大值;反之,由凹转向凸则意味着概率密度曲线在拐点所对应的横坐标处有一个极小值<sup>[15]</sup>。从图 1 看出,平塘有一个明显的从凹到凸的趋势,由此可知在拐点处将会对应一个概率的极小点。

在信息论中,熵可用作某事件不确定度的量度。信息量越大,体系结构越规则,功能越完善,熵就越小。信息扩散所得到的超越概率  $P(u_i)$  的基础上,利用公式(4)分别求得各县的灾害熵值(H)。

经比较可以得到狭义风险值(T)高的地区灾害熵值(H)不一定大,如德江与平塘都属于低风险区域,其中平塘的狭义风险值(T)与德江相近,但是德江的熵值却相对大于平塘,说明德江灾害离散性强,不确定性高,因此德江灾害风险性

以及灾害风险的管理难度应该相对大于平塘。瓮安与纳雍都属于高风险区域,但是纳雍的风险概率大都确定在重、特重灾害,而瓮安的灾害离散性强,不确定性高,同理,瓮安灾害风险危险性以及灾害风险的管理难度应该相对大于纳雍。

由此可见利用信息熵来衡量超越概率的不确定性,综合分析灾害狭义风险估计值( $T$ )与灾害超越概率熵值( $H$ ),对全面了解气象灾害风险具有重要的意义,可对科学制定气象灾害风险管理措施提供理论参考。

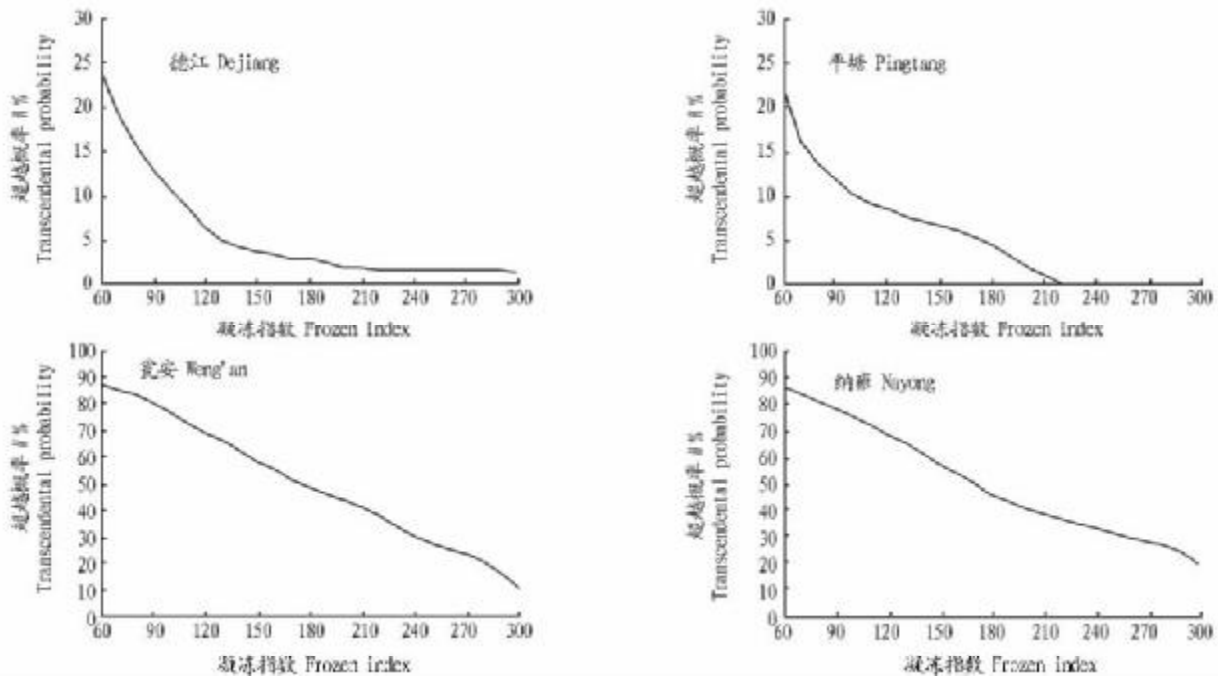


图1 贵州部分县凝冻指数超越概率曲线

Fig. 1 Transcendental probability curve of frozen index in some counties of Guizhou Province

2.3 气象灾害风险区划 以凝冻灾害为例,利用气象灾害风险估计值( $T$ )、气象灾害不确定性( $H$ )进行气象灾害风险区划,并且采用风险矩阵法可以对气象灾害风险进行区划所得区划图见图2。贵州地处中低纬度,省内地形起伏大,贵州省凝冻灾害高风险区主要分布在毕节、六盘水、贵州中部部分地区以及习水、三穗、万山地势较高地区,低风险区主要分布在铜仁、黔南以及黔东南部分地区。经与实际气象观测比较,较好地揭示了贵州省凝冻灾害风险的区域性和地带性规律,并对灾害的风险实现了定量表达。

性,应用传统的统计方法确定概率分布无法保证很高的精度,而信息扩散是一种有效处理小样本的模糊数学方法,因此发展小样本集的风险分析方法是有重要应用价值的。该文在信息扩散理论的基础上,建立了气象灾害风险评估模型,利用该模型可以计算气象灾害风险估计值,获得较好的风险分析效果。

(2) 狭义的风险估计值一般不能完全描述风险的性质。该文在此基础上进一步分析了灾害风险超越概率的分布曲线规律与灾害风险的极值点以及定量分析了风险概率的不确定性,定义了超越概率的熵值( $H$ ),更加全面地反映了气象灾害风险的性质,对于研究气象灾害对农业与生态的影响,指导科学防灾减灾具有重要的意义。

(3) 将以上两种风险分析理论结合风险矩阵法具体应用在贵州凝冻灾害风险分析上,对贵州省凝冻灾害风险进行了定量风险评估与风险区划。结果表明,贵州省凝冻灾害高风险区主要分布在毕节、六盘水等地势较高地区,低风险区主要分布在铜仁、黔南以及黔东南等部分地区,评价结果与实际气象观测相符。但是,凝冻灾害的风险除受凝冻灾害的程度和频率的影响以外,还有诸多因素影响如地形地貌、海拔高度等因素有关,在风险区划方面还需更深入地研究。

(4) 气象灾害风险分析与管理是一个系统的工程,灾害风险分析面对的是十分复杂的自然和社会复合系统,其致灾因素与当地气候变化有关,灾害损失风险更与人类活动、人口密度、种植结构、种植面积、自然背景等密切相关。该文的理论是气象灾害风险分析中致灾因子风险评估的基础,也是

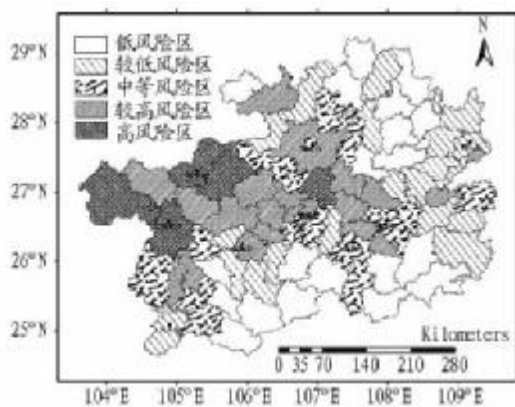


图2 贵州省凝冻灾害风险区划示意

Fig. 2 Division schematic diagram of frozen risk in Guizhou Province

3 结论与讨论

(1) 气象灾害风险分析的最大困难往往在于数据的不足,尤其在行政区、县和小流域,风险分析的核心是对某一指数进行概率密度估计,由于目前所能获得的数据的不完备

所以柠檬酸加入可能促使 Pb 在植株体的茎叶内的输送。

在根的 Pb、Cd 复合处理时,柠檬酸、酒石酸处理含 Pb 量较不加有机酸处理低,分别为不加有机酸处理的 82.4%、95.7%。在不加有机酸、加柠檬酸、加酒石酸 3 种处理下,复合处理都使茎叶对 Pb 的吸收量降低,这说明 Cd 的存在抑制水稻对 Pb 的吸收。

由表 4 中数据可以看出,酒石酸处理的根、茎叶中 Cd 含量比不加有机酸的大为降低,说明酒石酸对 Cd 有较好的解

毒作用。Cd、Pb 复合处理使茎叶、根中的 Cd 浓度都有所增加,说明 Pb 的存在明显促进植株对 Cd 的吸收和输送,但无论是单元素 Cd 条件下,还是 Cd、Pb 复合条件下,酒石酸处理的叶片中 Cd 含量要明显高于柠檬酸处理,说明酒石酸结合 Cd 有利于从根向叶片的输送。复合处理中,不加有机酸时根、茎叶中 Cd 的含量是 Cd 单独处理时的 1.90 倍和 1.77 倍,这也证实了 Pb 的存在能促进水稻对 Cd 的吸收。

表 3 不同处理水稻植株 Pb 的含量分布

Table 3 Pb content distribution in rice with different treatments

mg/kg (DW)

处理 Treatments	根 Root			茎叶 Stem and leaf		
	不加有机酸	加柠檬酸	加酒石酸	不加有机酸	加柠檬酸	加酒石酸
	Not adding organic acid	Adding citric acid	Adding tartaric acid	Not adding organic acid	Adding citric acid	Adding tartaric acid
Pb	948.652 3	606.770 5	376.743 4	378.910 3	474.203 1	269.699 4
Pb + Cd	289.024 4	238.321 5	276.629 4	1 678.523 0	2 169.996 0	504.124 1

表 4 不同处理水稻植株 Cd 的含量分布

Table 4 Cd content distribution in rice with different treatments

mg/kg (DW)

处理 Treatments	根 Root			茎叶 Stem and leaf		
	不加有机酸	加柠檬酸	加酒石酸	不加有机酸	加柠檬酸	加酒石酸
	Not adding organic acid	Adding citric acid	Adding tartaric acid	Not adding organic acid	Adding citric acid	Adding tartaric acid
Cd	2.079 4	2.691 1	2.028 11	3.132 3	1.650 1	1.834 3
Pb + Cd	3.688 5	4.200 6	2.980 4	5.941 6	1.766 6	2.384 3

### 3 结论

试验结果表明,当  $Cd \leq 2$  mg/L,  $Pb \leq 10$  mg/L 时,有机酸对水稻种子的发芽率影响不大。

有机酸对 Pb、Cd 的植株效应有显著影响,Pb 对水稻植株的毒害作用大于 Cd 对水稻植株的毒害作用。柠檬酸可以减轻 Pb 对水稻的毒害,并能促使 Pb 从根部向地上部转移。而酒石酸可以减轻 Cd 对水稻的毒害,并有利于 Cd 从根向叶片输送。

Pb、Cd 复合处理条件下,Pb 的存在促进水稻植株对 Cd 吸收及运输,而 Cd 的存在可能抑制植株对 Pb 的吸收。

### 参考文献

[1] 曹仁林. 不同改良剂抑制水稻吸收镉的研究[J]. 农业环境保护, 1992,

11 (5): 195 - 198.

[2] 张敬锁,李花粉,衣纯真. 有机酸对水稻镉吸收的影响[J]. 农业环境保护, 1999, 18 (6): 278 - 280.

[3] 张敬锁,李花粉,衣纯真. 有机酸对活化土壤中的镉和小麦吸收镉的影响[J]. 土壤学报, 1999, 36 (1): 61 - 66.

[4] 陈英旭,林琦,陆芳,等. 有机酸对铅、镉植株危害的解毒作用研究[J]. 环境科学学报, 2000, 20 (4): 467 - 472.

[5] 林琦,陈英旭,陈怀满等. 有机酸对 Pb、Cd 的土壤化学行为和植株效应的影响[J]. 应用生态学报, 2001, 12 (4): 619 - 622.

[6] CHEN H M, LIN Q, ZHENG C R. Interaction of Pb and Cd in soil-water plant system and its mechanism: Pb and Cd. interaction in rhizosphere [J]. Pedosphere, 1998, 8: 237 - 244.

[7] 林琦. 铅、镉在根际环境中的化学行为及植物效应[D]. 南京: 中科院南京土壤研究所, 1996.

[8] 秦普丰,铁柏清. 铅和镉对水稻和棉花萌发及生长的影响[J]. 湖南大学学报, 2006, 12 (3): 205 - 207.

(上接第 6500 页)

进行贵州气象灾害风险区划及对生态与农业影响风险分析与管理的基础。

### 参考文献

[1] 梁鸿光. 减灾必读[M]. 北京: 地震出版社, 1990: 1 - 25.

[2] 黄崇福. 自然灾害风险评估: 理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 212 - 245.

[3] 张俊香,李平日,黄光庆,等. 基于信息扩散理论的中国沿海特大台风暴潮灾害风险分析[J]. 热带地理, 2007, 27 (1): 11 - 14.

[4] 刘新立. 区域水灾风险的相关分析与因子分析——以湖南省为例[J]. 经济科学, 2004 (2): 94 - 101.

[5] 张继权,刘兴朋. 基于信息扩散理论的吉林省草原火灾风险评价[J]. 干旱区地理, 2007, 30 (4): 590 - 594.

[6] 张继权,刘兴朋,周道玮,等. 基于信息矩阵的草原火灾损失风险研究[J]. 东北师范大学学报: 自然科学版, 2006, 38 (4): 129 - 133.

[7] 史培军. 四论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2005, 14 (6): 1

- 7.

[8] 史培军. 三论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 2002, 11 (3): 1 - 9.

[9] 李玉柱,许丙南. 贵州短期气候预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 1 - 43.

[10] 陈志芬. 基于扩散函数的内集-外集模型[J]. 模糊系统与数学, 2006, 20 (1): 42 - 48.

[11] KAPLAN S, GARRICK B J. On the quantitative definition of risk [J]. Risk Analysis, 1981, 1 (1): 1 - 9.

[12] 罗培. 基于 GIS 的重庆市干旱灾害风险评估与区划[J]. 中国农业气象, 2007, 28 (1): 100 - 104.

[13] PAUL R, GARVEY P R, LANSDOWNE Z F. Risk matrix: An approach for identifying, assessing, and ranking program risks [J]. Air Force Journal of Logistics, 1998, 25: 16 - 19.

[14] 朱启超,匡兴华,沈永平. 风险矩阵方法与应用述评[J]. 中国工程科学, 2003, 5 (1): 89 - 94.

[15] 张双林. 概率论与数理统计[M]. 北京: 科学出版社, 2007: 21 - 55.