

2018年度重庆市出版专项基金资助项目

DOI:10.11721/cqnuj20190206

三峡地区资源环境生态研究

基于权重合成-TOPSIS法的重庆公路洪灾危险性评价研究^{*}

伍仁杰¹, 陈洪凯²

(1. 重庆交通大学 土木工程学院, 重庆 400074; 2. 枣庄学院 城市与建筑工程学院, 山东 枣庄 277160)

摘要:【目的】针对重庆市公路洪灾特点,对重庆市公路洪灾危险性进行评价研究。【方法】选取重庆市38个区、县城市年均降雨量、公路沿线人口密度、洪水重现期、淹没面积和淹没天数共5个致灾因子作为评价指标建立危险性评价指标体系,构建了基于熵权法和复相关系数法的权重合成模型,得到了各评价指标的合成权重,并运用TOPSIS法对致灾因子进行了评价。【结果】极高、高、中、低和微度危险5个危险区面积比重分别为22.53%,28.6%,7.24%,18.09%和23.54%。【结论】研究结果与公路洪灾实际情况一致,可为重庆市公路洪灾防灾减灾工程提供科学依据。

关键词:公路洪灾;致灾因子;危险性;权重合成法;TOPSIS法;面积比重

中图分类号:U411;X4

文献标志码:A

文章编号:1672-6693(2019)02-0044-08

中国幅员辽阔,地形复杂多变,地势起伏不定,从而导致各类地质灾害频发。当前在公路交通得到大力发展的同时,公路也不可避免的受到各种自然灾害的破坏,其中洪水带来的灾害损失尤为严重,近些年来,随着公路洪灾爆发的加剧,公路洪灾的危险性评价也越来越被重视,如刘昌容等人^[1]采用多元线性回归方法建立公路沿线地灾危险性评价模型;曾蓉等人^[2]构建了基于熵权法的公路洪灾模糊综合评价模型;马保成等人^[3]采用关联度确定公路洪灾各危险指标的权重;孙义等人^[4]通过优化复相关系数法得到属性权重;邵维懿等人^[5]采用改进TOPSIS法划分了滑坡灾害易发等级;齐洪亮等人^[6]运用“信息熵”划分了山区沿河公路水毁危险性等级。然而单一的指标权重确定方法和危险性评价方法始终不能满足评价结果客观性、可靠性的要求。因此,本研究通过合成熵权法与复相关系数法构建指标权重模型,进而运用TOPSIS法对重庆公路洪灾危险性进行评价。研究成果对公路洪灾防灾减灾工程具有重要的指导作用。

1 研究区概况

重庆市位于北纬 $28^{\circ}10' \sim 32^{\circ}13'$,东经 $105^{\circ}11' \sim 110^{\circ}11'$ 之间,地处经济较发达的东部与物产资源丰富的西部的结合部,东连湖北、湖南,南邻贵州,西靠四川,北接陕西,是长江上游最大的经济、商贸中心和交通枢纽^[7-8]。重庆是中国最大的直辖市,面积 $82\,370\text{ km}^2$,是其他3个直辖市面积之和的2.4倍,南北长450 km,东西宽470 km。重庆地形地势主要以低山、丘陵为主,总体地形为东北、东南区域高,中部、西北、西南区域低。海拔高度差达到2 724 m,最高处位于巫溪境内的界梁山,海拔高度为2 798.8 m,最低处位于巫山长江江面,海拔高度仅为73.1 m。重庆市内主要河流有长江、嘉陵江、乌江、涪江、綦江、大宁河等。重庆属于亚热带季风性湿润气候,具有冬暖夏热、无霜期长、雨量充沛等气候特征。年平均降雨量丰富,大部分区域降雨量在1 000~1 350 mm,降雨时间主要集中在5—9月,占全年总降水量的70%左右。重庆市年平均相对湿度多在70%~80%,在全国属高湿区。2016年平均气温 18.5°C ,年总降雨量1 345.8 mm。

2 公路洪水灾害致灾因子分析

公路洪灾致灾因子数量多且复杂,在对这些因子的危险性进行分析的过程中,指标体系应尽量系统地反映

* 收稿日期:2018-05-25 修回日期:2018-12-07 网络出版时间:2019-03-15 07:00

资助项目:国家自然科学基金(No. 51678097; No. 51378521; No. 11272185);重庆市首席专家工作室专项经费(No. 201605);2016年重庆高
校创新团队建设计划资助项目(No. CXTDG201602012);重庆市研究生科研创新项目(No. CYB15110)

第一作者简介:伍仁杰,男,博士研究生,研究方向为道路防灾理论与维护技术,E-mail:albert.wurenjie@163.com

网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/50.1165.N.20190315.0057.030.html

公路洪水灾害的发育情况,同时要考虑到公路洪灾得以形成的主要致灾因素以及评价指标体系的代表性。指标因子应具有简单性、明确性以及获取便捷性。公路洪水灾害是自然因素(降雨、洪水)和社会因素(人类活动)相互作用的结果,诱发因子众多,如降雨、洪水、台风、水库溃堤、地震、火山爆发、海啸、人为活动不当等^[9-11]。在上述各因素中,单一的因子难以导致公路洪灾的发生,致灾是多因子共同作用的结果。运用多属性决策理论^[12]获得主要因子:降雨(通常考虑一个地区的年均降雨量,为产生洪灾的主要原因)、洪水(包括洪水淹没面积、淹没天数以及洪水重现期,为形成洪水灾害的直接原因)以及人类工程活动(主要体现在公路沿线人口密度方面,对公路洪灾的产生有间接影响^[13-14])。再利用级别优先关系法筛选出年均降雨量、洪水重现期、洪水淹没面积、洪水淹没天数及公路沿线人口密度 5 个指标对公路洪灾危险性进行评价。

2.1 年均降雨量

降雨特别是暴雨、大暴雨,是导致洪水灾害发生的关键因素,也是公路洪灾得以形成的动力条件。在降雨量较大时,易导致公路边坡发生坡面泥石流、引发土体滑坡、致使坡面失稳^[15]。重庆市年降雨量空间分布不均、区域差异较大,在整体上呈现由西、西南、东北向东、东南增多的分布走向。因受地形地势、山脉分布的局限,导致整个重庆形成区域雨量不均、多雨量和少雨量交错分布的特性。此外,研究区降雨量有着明显的季节差异,冬季少,夏季多。大部分地区的夏季降雨量达到全年降雨总量的 1/2 甚至更多。根据中国气象数据网及历年重庆市统计年鉴资料,对重庆市 1951—2016 年降雨量数据进行分析可知(图 1),重庆地区的主要降雨量集中在 5—9 月,约占全年降雨总量的 80%,重庆地区公路洪灾大部分均发生在 6—8 月(封二彩图 2)。

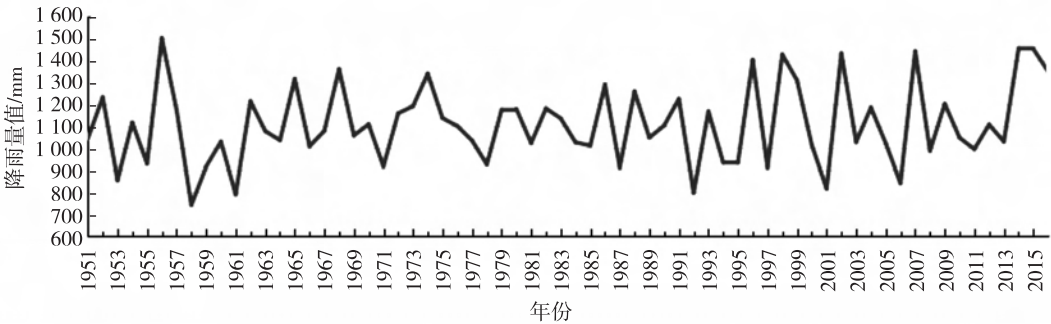


图 1 1951—2016 年重庆年均降雨量值

Fig. 1 Annual average rainfall of Chongqing from 1951 to 2016

2.2 洪水重现期、淹没面积及淹没天数

目前对洪水强度的衡量指标及评价方式较多,常用的评定指标有洪水洪峰流量、水位高度、洪水淹没面积、洪水重现期等。其中用洪水重现期来反映洪水强度的方法最为常见。洪水重现期是通过某一量级洪水的重现期来称之为多少年一遇的洪水,重现期越长意味着量级越大。反言之,重现期若越短,表示其量级也就越小^[16-18]。根据中国洪水水情和防洪能力,将洪水划分为 5 级^[19](表 1)。通过对研究区的公路洪灾进行统计分析,结合洪水淹没面积以及参考淹没时间,将公路洪水灾害划分为 5 个等级(表 2)。本研究中洪水重现期、淹没面积和淹没天数的原始数据来源为重庆市水资源公报(2004—2016 年)^[20]、2016 年重庆市水土保持公报^[21]、重庆市主城区城市防洪规划(2006—2020 年)^[22]、中国气象灾害大典(重庆卷)^[23]。

2.3 公路沿线人口密度

人口数量的增加,必定会引起人类工程活动的增大,进而引发更多的灾害,促使稳定、较稳定的地质环境转化为不稳定,使低频率灾害转化成高频率灾害。与此同时,人口总量的增大导致人口分布密度也急剧增大,从而与之对应的工程活动也增多,例如:影响公路沿线土地植被覆

表 1 重庆市洪水等级划分

Tab. 1 Classification of flood grades in Chongqing

等级	一般洪水	较大洪水	大洪水	特大洪水	罕见特大洪水
重现期/a	2~10	10~20	20~50	50~100	>100

表 2 重庆市公路洪水灾害等级划分

Tab. 2 Classification of highway flood hazard grades in Chongqing

等级	I	II	III	IV	V
淹没面积/($\times 10^4$ km ²)	<0.01	0.01~0.1	0.1~1	1~10	>10
淹没天数	<2	2~4	4~7	7~12	>12

盖、改变小桥涵及河道的行洪、破坏公路边坡稳定性等。因此,公路洪水的成灾率随之增加。一般而言,公路沿线的人口数量直接影响工程活动强度,因此在结合 2016 年重庆市统计资料^[24]的基础上,本研究采用人口密度因子来反映研究区公路沿线的人类工程活动(表 3)。根据重庆市的实际道路情况以及统计数据,将人口密度划分为 5 个等级(表 4)。

表 3 2016 年重庆市各区县公路沿线人口密度
Tab. 3 Population density along highway for counties of Chongqing in 2016

区县名称	人口密度/ (人·km ⁻²)	区县名称	人口密度/ (人·km ⁻²)	区县名称	人口密度/ (人·km ⁻²)	区县名称	人口密度/ (人·km ⁻²)
城口县	56.27	潼南区	444.86	永川区	704.70	黔江区	194.24
巫溪县	96.53	长寿区	583.53	南川区	220.06	石柱县	127.25
开州区	296.72	丰都县	202.83	江津区	422.91	秀山县	198.49
巫山县	153.99	铜梁区	535.92	綦江区	497.16	酉阳县	106.63
云阳县	251.18	涪陵区	389.75	渝中区	29 872.73	沙坪坝区	2 960.57
奉节县	181.16	璧山区	800.44	南岸区	3 189.42	合川区	583.87
万州区	469.57	大足区	560.58	江北区	3 897.74	渝北区	1 103.65
梁平区	345.82	巴南区	576.00	九龙坡区	2 781.94	北碚区	1 054.44
忠县	328.16	荣昌区	652.73	大渡口区	3 300.97		
垫江县	453.43	武隆区	120.47	彭水县	127.65		

表 4 人口密度等级划分
Tab. 4 Classification of population density grades

等级	等级描述	人口密度/(人·km ⁻²)	等级	等级描述	人口密度/(人·km ⁻²)
一级	人口密集区	>800	四级	人口较稀区	200~300
二级	人口较密区	500~800	五级	人口稀少区	<200
三级	人口中等区	300~500			

3 基于权重合成法的 TOPSIS 评价模型

TOPSIS 算法^[25]是经典的指标评价方法,于 1981 年被 Hwang 和 Yoon 首次提出。该方法是根据若干个评价对象与理想化目标的接近程度进行分析的方法,是多目标决策分析中常见的一种评价方法。TOPSIS 引入了两个基本的概念:理想解与负理想解,若计算得到的其中一个目标值最接近理想解,同时又远离负理想解,那么该目标值就是最优的。基于 2016 年重庆市 38 个区、县的年均降雨量、公路沿线人口密度、洪水重现期(频率)、淹没面积和淹没天数 5 个评价指标的历史统计数据,本研究构建了基于权重合成法的 TOPSIS 评价模型进行公路洪灾危险性评价。

3.1 评价指标的归一化处理

步骤 1,设有 $n(n=38)$ 个评价对象, $m(m=5)$ 个评价目标,见表 5。

步骤 2,由于各指标的量纲不同,因此对指标属性进行趋同化处理,可以将低优指标、中性指标全部转化为高

表 5 构建指标

Tab. 5 Established indexes

评价对象	指标 1	指标 2	...	指标 m
1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1m}
2	X_{21}	X_{22}	...	X_{2m}
...	...	...	...	...
n	X_{n1}	X_{n2}	...	x_{nm}

优指标 x'_{ij} , 即 $x'_{ij} = \begin{cases} x_{ij}, \text{高优指标} \\ \frac{1}{x_{ij}}, \text{低优指标} \\ \frac{M}{M + |x_{ij} - M|}, \text{中性指标} \end{cases}$ 。

步骤 3,进行趋同化数据的归一化处理:

$$Z_{ij} = \begin{cases} \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_{ij})^2}}, & \text{原高优指标,} \\ \frac{x'_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x'_{ij})^2}}, & \text{原低优、中性指标。} \end{cases} \tag{1}$$

由此可得归一化处理的矩阵 Z :

$$Z = \begin{bmatrix} z_{11} & z_{12} & \cdots & z_{1m} \\ z_{21} & z_{22} & \cdots & z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{n1} & z_{n2} & \cdots & z_{nm} \end{bmatrix} \circ \tag{2}$$

将 5 个评价指标的统计数据代入(1),(2)式,可得归一化处理结果(见表 6)。

表 6 归一化处理结果

Tab. 6 Unified disposal results

区县 名称	评价指标					区县 名称	评价指标				
	淹没 天数	重现 期/a	淹没 面积/ ($\times 10^4 \text{ km}^2$)	年均 降雨 量/mm	人口密 度/(人· km^{-2})		淹没 天数	重现 期/a	淹没 面积/ ($\times 10^4 \text{ km}^2$)	年均降 雨量/ mm	人口密 度/(人· km^{-2})
城口县	0.428 9	0.000 0	0.000 0	0.441 3	1.000 0	武隆区	0.824 7	0.339 6	0.092 8	0.685 6	0.997 5
巫溪县	0.632 5	0.037 7	0.000 0	0.181 0	0.997 8	永川区	0.822 7	0.754 7	0.743 5	0.000 0	0.977 6
开州区	0.246 1	0.339 6	0.148 2	0.096 4	0.988 4	南川区	0.6413	0.188 7	0.312 6	0.709 6	0.993 5
巫山县	0.051 2	0.264 2	0.000 0	0.469 7	0.995 2	江津区	0.913 7	0.339 6	0.771 4	0.000 0	0.985 9
云阳县	0.492 9	0.150 9	0.116 8	0.000 0	0.989 5	綦江区	0.927 8	0.264 2	0.368 3	0.304 0	0.986 6
奉节县	0.301 4	0.113 2	0.000 0	0.153 9	0.993 6	渝中区	0.698 6	1.000 0	1.000 0	0.000 0	0.000 0
万州区	0.323 7	0.339 6	0.393 7	0.007 4	0.984 5	南岸区	0.710 7	0.339 6	1.000 0	0.000 0	0.931 5
梁平区	0.127 4	0.528 3	0.480 8	0.000 0	0.985 5	江北区	0.660 1	0.981 1	0.956 6	0.000 0	0.921 1
忠县	0.440 3	0.339 6	0.744 0	0.047 1	0.986 4	九龙坡区	0.707 3	1.000 0	0.995 7	0.000 0	0.937 9
垫江县	0.455 2	0.264 2	0.663 1	0.000 0	0.980 8	大渡口区	0.991 2	0.962 3	0.652 3	0.000 0	0.927 6
潼南区	1.000 0	0.792 5	0.983 8	0.000 0	0.981 7	彭水县	0.523 3	0.113 2	0.036 3	0.682 1	0.996 7
长寿区	0.562 4	0.717 0	0.726 3	0.017 9	0.980 0	黔江区	0.000 0	0.415 1	0.465 2	0.661 1	0.994 9
丰都县	0.768 0	0.264 2	0.480 2	0.280 4	0.992 5	石柱县	0.496 3	0.339 6	0.153 2	0.371 1	0.996 4
铜梁区	0.830 7	0.528 3	0.720 5	0.000 0	0.980 7	秀山县	0.227 2	0.113 2	0.000 0	1.000 0	0.993 4
涪陵区	0.742 4	0.528 3	0.890 0	0.170 1	0.988 6	酉阳县	0.207 7	0.037 7	0.000 0	0.807 7	0.997 2
璧山区	0.906 9	0.717 0	0.624 8	0.000 0	0.978 0	沙坪坝区	0.761 3	0.830 2	0.999 8	0.000 0	0.932 5
大足区	0.913 7	0.792 5	0.584 5	0.000 0	0.978 2	合川区	0.709 4	0.603 8	0.771 2	0.003 5	0.979 2
巴南区	0.802 4	0.717 0	0.700 0	0.000 0	0.985 3	渝北区	0.602 2	0.754 7	0.730 5	0.003 5	0.981 1
荣昌区	0.736 3	0.867 9	0.571 5	0.000 0	0.975 0	北碚区	0.586 0	0.622 6	0.715 1	0.000 0	0.970 9

3.2 指标权重合成法模型

为了评价结果的客观性、可靠性,本研究构建了基于熵权法^[26]与复相关系数法^[27]的权重合成法模型进行指标权重的确定。

步骤 1,根据熵权法的定义,指标的信息熵 $E_j = -\ln(n)^{-1} \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{i \ j}$ 。其中, $p_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sum_{i=1}^n Z_{ij}}$ 。如果 $p_{ij} = 0$,那

么可以定义 $\lim_{p_{ij} \rightarrow 0} p_{ij} \ln p_{ij} = 0$ 。根据熵权的计算公式,分别计算每个指标的熵权值为 $E_1, E_2, E_3, \cdots, E_K$ 。再通过信息熵权计算每个指标的权重 $Y_i = \frac{1 - E_i}{k - \sum E_i}, i = 1, 2, \cdots, k$ 。

步骤 2,针对评价指标 $x_1, x_2, \cdots, x_m$,假如指标 x_k 与其他指标之间的复相关系数越大,那么 x_k 与其他指标的共线性就越强,重复的信息也就越多,因而 x_k 的权重也就越小。换言之,如果 x_k 与其他指标的复相关系数 S 越大,则该指标的权重越小。其中 $S = \frac{\sum (x - \bar{x})(\hat{x} - \bar{\hat{x}})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (\hat{x} - \bar{\hat{x}})^2}}$ 。

步骤 3,由此可得合成权重公式:

$$W_i = Y_i \cdot S_i, i = 1, 2, \cdots, m。$$

(3)

将重庆市各指标数据代入(3)式可得权重合成结果(表 7)。

表 7 权重合成结果
Tab. 7 Compounded weight results

权重值	评价指标				
	淹没天数	重现期/a	淹没面积/($\times 10^4 \text{ km}^2$)	年均降雨量/mm	人口密度/(人 $\cdot \text{km}^{-2}$)
熵值	0.966 4	0.940 0	0.916 0	0.710 2	0.992 6
复相关系数	0.565 6	0.811 1	0.838 9	0.698 5	0.392 6
熵权法权重	0.070 7	0.126 3	0.176 9	0.610 5	0.015 6
复相关系数法权重	0.216 3	0.150 9	0.145 9	0.175 2	0.311 7
合成权重	0.088 9	0.110 8	0.150 0	0.622 0	0.028 2

3. 3 权重合成-TOPSIS 评价模型

基于评价指标归一化处理模型与指标权重合成法模型,从而确定最优解和最劣解。最优解 Z^+ 由矩阵 Z 每列中的最大值构成: $Z^+ = (\max Z_{i1}, \max Z_{i2}, \cdots, \max Z_{im})$ 。最劣解 Z^- 由矩阵 Z 每列中的最小值构成: $Z^- = (\min Z_{i1}, \min Z_{i2}, \cdots, \min Z_{im})$ 。

然后求取各评价对象与 Z^+ 和 Z^- 之间的间距,分别用 B_i^+ 和 B_i^- 表示,即 $B_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\max Z_{ij} - Z_{ij})^2}$, $B_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^m (\min Z_{ij} - Z_{ij})^2}$ 。

最后求取各指标因子与 Z^+ 的贴近度,用 A_i 表示,即:

$$A_i = \frac{B_i^-}{B_i^+ + B_i^-}, 0 \leq A_i \leq 1。$$

(4)

(4)式中, A_i 的值越接近 1 表示评价指标就越优。由此可得各区县所对应的正、负理想解距离和理想解贴近度(表 8)。

3. 4 评价结果

基于重庆市公路洪灾特性以及德尔菲法,将研究区公路洪灾致灾因子危险程度划分为 5 个等级。分别为:极高度危险(0~0.16)、高度危险(0.16~0.21)、中度危险(0.21~0.3)、低度危险(0.3~0.6)、微度危险(0.6~0.8)。结合表 9 可得重庆市公路洪灾危险性评价区划结果(表 9)。结果显示:重庆市公路洪灾极高度危险区包括奉节县、垫江县、梁平区、开州区、万州区和云阳县 6 个区、县城市,占重庆市国土面积的 22.53%;高度危险区包括永川区、巴南区、渝北区、合川区、大足区、璧山区、长寿区、巫溪县、江津区、荣昌区、铜梁区、北碚区和忠县 13 个区、县城市,占重庆市国土面积的 28.6%;中度危险区包括涪陵区、九龙坡区、渝中区、潼南区、江北区、沙坪坝区、大渡口区 and 南岸区 8 个区、县城市,占重庆市国土面积的 7.24%;低度危险区包括巫山县、城口县、石柱县、綦江区和丰都县 5 个区、县城市,占重庆市国土面积的 18.09%;微度危险区包括秀山县、酉阳县、南川区、武隆区、黔江区和彭水县 6 个区、县城市,占重庆市国土面积的 23.54%。

表 8 TOPSIS 法计算结果
Tab.8 Calculation with TOPSIS method

区县名称	正理想解 距离 B_i^+	负理想解 距离 B_i^-	理想解贴 近度 A_i	区县名称	正理想解 距离 B_i^+	负理想解 距离 B_i^-	理想解贴 近度 A_i
城口县	0.397 6	0.278 6	0.412 0	武隆区	0.249 7	0.435 4	0.635 5
巫溪县	0.542 6	0.129 0	0.192 1	永川区	0.624 0	0.159 9	0.203 9
开州区	0.584 9	0.082 2	0.123 3	南川区	0.228 8	0.448 8	0.662 3
巫山县	0.380 9	0.295 0	0.436 4	江津区	0.627 3	0.149 0	0.191 9
云阳县	0.644 5	0.057 4	0.081 7	綦江区	0.450 7	0.217 4	0.325 4
奉节县	0.559 4	0.104 1	0.156 9	渝中区	0.623 2	0.196 6	0.239 8
万州区	0.631 2	0.080 8	0.113 5	南岸区	0.626 8	0.169 2	0.212 5
梁平区	0.633 8	0.097 6	0.133 5	江北区	0.622 8	0.191 2	0.234 9
忠县	0.600 5	0.130 5	0.178 6	九龙坡区	0.622 5	0.198 1	0.241 4
垫江县	0.631 2	0.114 7	0.153 8	大渡口区	0.624 2	0.171 5	0.215 5
潼南区	0.622 4	0.195 4	0.238 9	彭水县	0.267 3	0.427 9	0.615 5
长寿区	0.614 3	0.146 9	0.193 0	黔江区	0.250 9	0.420 6	0.626 3
丰都县	0.462 0	0.204 7	0.307 1	石柱县	0.420 1	0.240 8	0.364 3
铜梁区	0.625 8	0.146 1	0.189 2	秀山县	0.192 1	0.623 1	0.764 4
涪陵区	0.519 6	0.193 9	0.271 7	酉阳县	0.230 6	0.503 5	0.685 9
璧山区	0.625 4	0.149 6	0.193 0	沙坪坝区	0.622 6	0.190 4	0.234 2
大足区	0.625 6	0.150 9	0.194 3	合川区	0.622 9	0.150 4	0.194 5
巴南区	0.624 7	0.152 3	0.196 1	渝北区	0.622 7	0.150 5	0.194 6
荣昌区	0.625 9	0.147 1	0.190 3	北碚区	0.625 9	0.140 5	0.183 3

表 9 危险性评价结果
Tab.9 Hazard assessment results

等级	区域
极高度危险	奉节县、垫江县、梁平区、开州区、万州区、云阳县
高度危险	永川区、巴南区、渝北区、合川区、大足区、璧山区、长寿区、巫溪县、江津区、荣昌区、铜梁区、北碚区、忠县
中度危险	涪陵区、九龙坡区、渝中区、潼南区、江北区、沙坪坝区、大渡口区、南岸区
低度危险	巫山县、城口县、石柱县、綦江区、丰都县
微度危险	秀山县、酉阳县、南川区、武隆区、黔江区、彭水县

4 结论

本研究结合相关历史统计资料和公路洪灾危险性特性,选取重庆市 38 个区、县年均降雨量、公路沿线人口密度、洪水重现期(频率)、淹没面积和淹没天数 5 个致灾因子作为评价指标并加以分析和做归一化处理(结果见表 6)。为增强公路洪灾危险性评价指标权重的客观性、真实性和有效性,本研究在综合考虑各权重计算方法优缺点的基础上,建立了基于熵权法和复相关系数法的权重合成模型,并通过计算分别得到了各评价指标的合成权重。基于理想解 TOPSIS 法和公路洪灾综合危险度划分原则,本研究将研究区公路洪灾致灾因子危险程度划分为极高、高、中、低和微度危险 5 个等级,以极高和高度危险两个等级为主,合计占重庆市国土面积的 51.13%。本研究结果与公路洪灾实际情况相符,可为重庆公路洪灾防灾减灾工程提供科学依据。

参考文献:

[1] 刘昌容,何政伟,黄爽兵. 新疆天山公路沿线地质灾害危险性评价[J]. 四川地质学报,2008,28(1):44-47.
LIU C R, HE Z W, HUANG S B. Assessment of geological hazards along the Tianshan highway in Xinjiang[J]. Acta Geologica Sichuan,2008,28(1):44-47.

[2] 曾蓉,陈洪凯,李俊业. 熵权模糊综合评价法在公路洪灾危险性评价中的应用[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版),2010,29(4):587-591.

- ZENG R, CHEN H K, LI J Y. Fuzzy comprehensive evaluation method based on entropy in road flood risk assessment[J]. Journal of Chongqing Jiaotong University(Natural Science), 2010, 29(4): 587-591.
- [3] 马保成, 田伟平, 李家春. 山区沿河公路水毁危险性评价方法的研究[J]. 自然灾害学报, 2012, 21(3): 224-229.
- MA B C, TIAN W P, LI J C. Assessment of flood-damage hazard of highway along river in mountainous areas[J]. Journal of Natural Disasters, 2012, 21(3): 224-229.
- [4] 孙义, 黄海峰. 属性和专家权重调整的自适应算法[J]. 自动化与信息工程, 2013, 34(2): 1-5.
- SUN Y, HUANG H F. Adaptive algorithm for adjusting weights of decision-makers and attributes[J]. Automation & Information Engineering, 2013, 34(2): 1-5.
- [5] 邵维懿, 赵翠薇. 改进 AHP 和 TOPSIS 法在滑坡灾害易发性评价中的应用: 以贵州毕节地区为例[J]. 重庆师范大学学报(自然科学版), 2013, 30(3): 40-46.
- SHAO W Y, ZHAO C W. Application of combination to landslide hazard susceptibility assessment based on improved AHP and TOPSIS method: a case of Bijie, Guizhou province [J]. Journal of Chongqing Normal University (Natural Science), 2013, 30(3): 40-46.
- [6] 齐洪亮, 田伟平, 李家春. 山区沿河路基水毁灾害风险定量评价方法[J]. 自然灾害学报, 2014, 23(2): 271-277.
- QI H L, TIAN W P, LI J C. Quantitative risk assessment of subgrade flood-damage along river in mountainous areas [J]. Journal of Natural Disasters, 2014, 23(2): 271-277.
- [7] 林孝松, 陈洪凯, 王先进, 等. 重庆市涪陵区 G319 公路洪灾风险评估研究[J]. 长江流域资源与环境, 2013, 22(2): 244-250.
- LIN X S, CHEN H K, WANG X J, et al. Risk assessment of highway flooding on G319 road in Fuling district of Chongqing city[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013, 22(2): 244-250.
- [8] 曾蓉, 李俊业, 王宝亮. 基于熵权的模糊综合评价法在公路洪灾风险评价中的应用[J]. 地质灾害与环境保护, 2010, 21(3): 83-87.
- ZENG R, LI J Y, WANG B L. Fuzzy comprehensive evaluation method based on entropy in road flood risk assessment [J]. Journal of Geological Hazards and Environment Preservation, 2010, 21(3): 83-87.
- [9] 刘国庆, 徐刚, 刘颖. 基于 GIS 的区域洪水灾害风险评价方法研究[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(22): 10562-10564.
- LIU G Q, XU G, LIU Y. Study on risk evaluation of regional flood hazard based on GIS area[J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2009, 37(22): 10562-10564.
- [10] 黄大鹏, 刘闯, 彭顺风. 洪灾风险评价与区划研究进展[J]. 地理科学进展, 2007, 26(4): 11-22.
- HUANG D P, LIU C, PENG S F. Progress on assessment and regionalization of flood risk[J]. Progress in Geography, 2007, 26(4): 11-22.
- [11] IRIGARAY C, LAMAS F, HAMDOUNI R E, et al. The importance of the precipitation and the susceptibility of the slopes for the triggering of landslides along the roads [J]. Natural Hazards, 2000(21): 65-81.
- [12] 徐玖平, 吴巍. 多属性决策的理论与方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- XU J P, WU W. Multiple attribute decision making theory and methods[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2006.
- [13] GARDEN R J S, DEKENS J. Mountain hazards and the resilience of social-ecological systems: lessons learned in India and Canada[J]. Natural Hazards, 2007, 41(2): 317-336.
- [14] 齐洪亮, 田伟平, 王栋, 等. 公路洪水灾害危险性评价指标[J]. 灾害学, 2014, 29(3): 44-47.
- QI H L, TIAN W P, WANG D, et al. Risk assessment indicators of highway flood hazards in China[J]. Journal of Catastrophology, 2014, 29(3): 44-47.
- [15] 唐川, 朱静. 基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J]. 地理学报, 2005, 60(1): 87-94.
- TANG C, ZHU J. A GIS based regional torrent risk zonation[J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(1): 87-94.
- [16] KIA B M, PIRASTEH S, PRADHAN B, et al. An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia[J]. Environ Earth Sci, 2012, 67(1): 251-264.
- [17] CHANG S K, LEE D H, WU J H, et al. Rainfall-based criteria for assessing slump rate of mountainous highway slopes: a case study of slopes along highway 18 in Alishan, Taiwan[J]. Engineering Geology, 2011, 118(3/4): 63-74.
- [18] 黄崇福. 自然灾害风险评价理论与实践[M]. 北京: 科学出版社, 2005.
- HUANG C F. Risk assessment of natural disaster theory & practice[M]. Beijing: Science Press, 2005.
- [19] 李家春, 黄丽珍, 田伟平, 等. 公路自然灾害类型划分[J]. 长安大学学报(自然科学版), 2011, 31(2): 33-37.
- LI J C, HUANG L Z, TIAN W P, et al. Type classification on natural disasters of highway[J]. Journal of Chang'an University (Natural Science Edition), 2011, 31(2): 33-37.
- [20] 重庆市水利局. 重庆市水资源公报(2004—2016 年)[EB/OL]. [2018-05-25]. <http://www.cqwater.gov.cn/slsj/szygb/Pages/Default.aspx>.
- Chongqing Water Resources Bureau. Chongqing water resources bulletin (2004—2016) [EB/OL]. [2018-05-25]. <http://www.cqwater.gov.cn/slsj/szygb/Pages/Default.aspx>.
- [21] 重庆市水利局. 2016 年重庆市水土保持公报[EB/OL].

- [2018-05-25]. <http://www.cqwater.gov.cn/slsj/stbcgb/Pages/Default.aspx>.
- Chongqing Water Resources Bureau. Chongqing bulletin of soil and water conservation 2016[EB/OL]. [2018-05-25]. <http://www.cqwater.gov.cn/slsj/stbcgb/Pages/Default.aspx>.
- [22] 重庆市水利局. 重庆市主城区城市防洪规划(2006—2020)[EB/OL]. [2018-05-25]. <http://www.cqwater.gov.cn/Pages/Home.aspx>.
- Chongqing Water Resources Bureau. Chongqing Urban Flood Control Planning(2006—2020)[EB/OL]. [2018-05-25]. <http://www.cqwater.gov.cn/Pages/Home.aspx>.
- [23] 马力. 中国气象灾害大典·重庆卷[M]. 北京:气象出版社,2008.
- MA L. Chinese meteorological disaster book (Chongqing)[M]. Beijing:China Meteorological Press,2008.
- [24] 重庆市统计局,国家统计局重庆调查总队. 重庆统计年鉴 2017[M]. 北京:中国统计出版社,2017.
- Chongqing Municipal Bureau of Statistics, NBS Survey Office in Chongqing. Chongqing statistical yearbook 2017[M]. Beijing:China Statistics Press,2017.
- [25] KUO T. A modified TOPSIS with a different ranking index[J]. European J Oper Res,2017,260(1):152-160.
- [26] DELGADO A,ROMERO I. Environmental conflict analysis using an integrated grey clustering and entropy-weight method:a case study of a mining project in Peru[J]. Environmental Modelling and Software,2016,77:108-121.
- [27] SUN Y,CHEN L,HUANG B,et al. A rapid identification method for calamine using near-infrared spectroscopy based on multi-reference correlation coefficient method and back propagation artificial neural network[J]. Appl Spectrosc,2017,71(7):1447-1456.

Resources, Environment and Ecology in Three Gorges Area

Study on Highway Flood Hazard Assessment of Chongqing Based on Compounded Weight with TOPSIS Method

WU Renjie¹, CHEN Hongkai²

(1. School of Civil Engineering, Chongqing Jiaotong University, Chongqing 400074;

2. School of City and Architecture Engineering, Zaozhuang University, Zaozhuang Shandong 277160, China)

Abstract: [Purposes] Aiming at characteristics of highway flood in Chongqing, it takes evaluation research on highway flood hazard in Chongqing. [Methods] The hazard evaluation index system is established based on 5 disaster inducing factors of 38 counties in Chongqing. Those are annual average rainfall, population density along highway, flood recurrence period, submergence area and inundation time. Compounded weight model is built according to the entropy weight method(EWM) and the Multi-correlation coefficient method. Thereout, compounded weights for each evaluation indexes are gained and disaster inducing factors are evaluated by using TOPSIS method. [Findings] Evaluation result shows that 5 hazard area weights for extremely high-risk grade, high risk grade, moderate risk grade, low risk grade and micro risk grade are respectively 22.53%, 28.6%, 7.24%, 18.09%, and 23.54%. [Conclusions] The study result is consistent with the actual situation of highway flood and it provides scientific basis for the highway flood disaster prevention and mitigation projects in Chongqing City.

Keywords: highway flood; disaster inducing factors; hazard; compounded weight; TOPSIS method; area weight

(责任编辑 黄 颖)

(接正文20页)

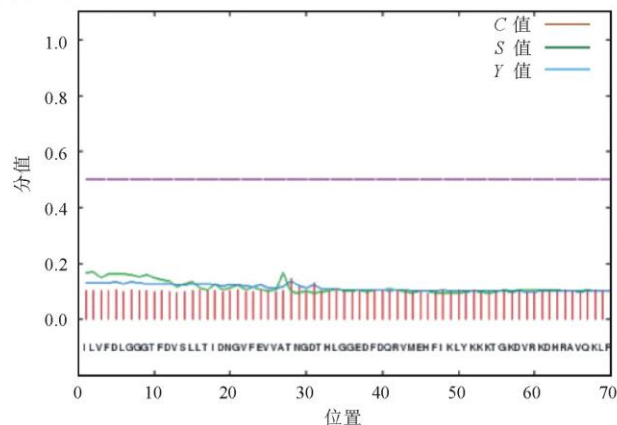
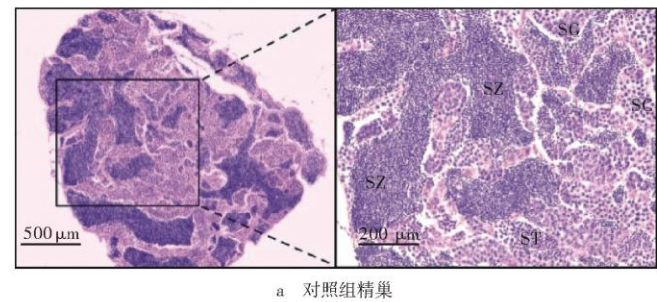


图4 鲫GRP78信号肽分析

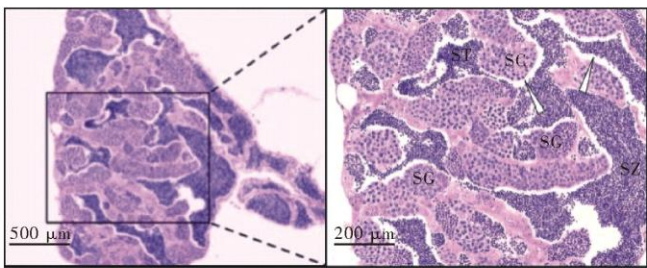
Fig. 4 The signal peptide prediction of GRP78 in *C. auratus*

(接正文26页)



a 对照组精巢

注: SG为精原细胞; SC为精母细胞; ST为精子细胞; SZ为精子; 白色三角符为空隙



b 镉暴露组精巢

图1 镉暴露对斑马鱼精巢组织学的影响

Fig. 1 Effects of cadmium exposure on the histology of zebrafish testis

(接正文45页)

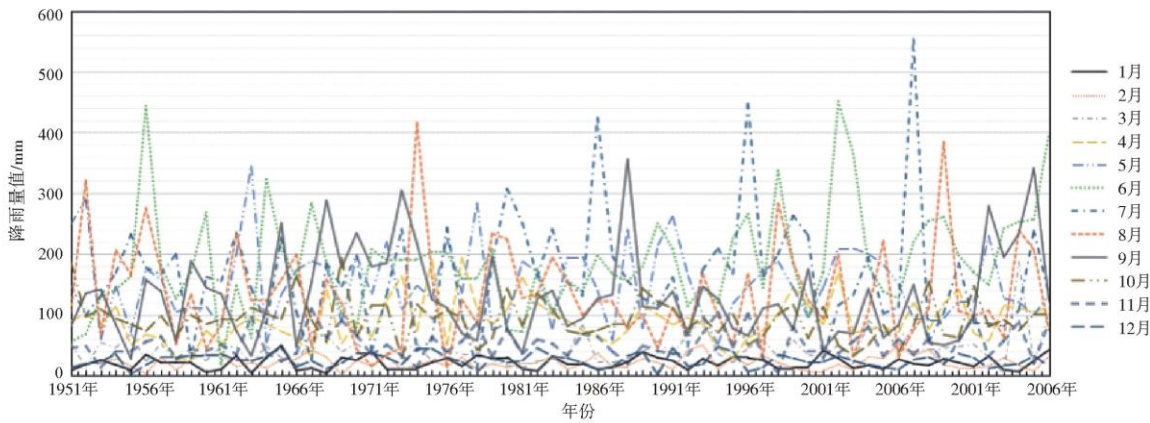


图2 1951—2016年重庆月均降雨量曲线

Fig. 2 Monthly rainfall curves of Chongqing from 1951 to 2016

(接正文135~136页)

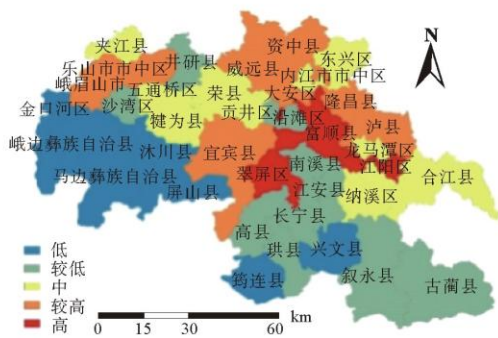


图1 川南城市群县域产业增长分享份额
Fig. 1 The share of industrial growth in the county area of southern Sichuan city

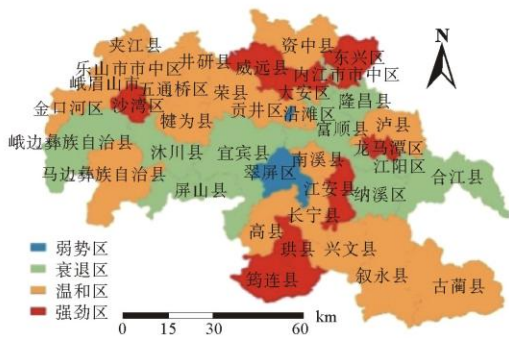


图3 川南城市群县域产业竞争力偏离份额
Fig. 3 The deviation of the industrial competitiveness of the county area in the southern Sichuan city group