

汉江上游汉中市洪水灾害风险评价研究*

张国芳, 查小春, 石晓静, 刘嘉慧, 姬霖, 王光朋
(陕西师范大学旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 以县级行政单元为基本评价单元, 对汉江上游的陕西省汉中市洪水灾害进行了综合风险评价。在洪水灾害危险性评价中, 综合考虑了降水量、降水变率、地形高程、坡度、河网分布等自然因素; 在洪水灾害易损性方面, 综合考虑了人口密度、单位面积年粮食产量和 GDP 密度等社会经济因素, 运用层次分析方法并结合 GIS 技术, 分别得到洪灾危险性和易损性评价等级图。在此基础上利用 GIS 方法进行叠加分析, 得到汉中市洪灾综合风险评价结果。研究表明: 汉中市洪水灾害风险主要集中在汉中盆地, 且以河流干流为中心向两边递减, 汉中市南部、城固县中部、南郑县的东北部等的洪水灾害风险等级最高; 勉县、洋县、西乡县洪灾风险等级次之; 留坝县的洪水灾害风险等级最低。洪灾风险评价结果与 2012 年汉中市发生的洪灾情况能较好的吻合。此研究结果可为汉中市制定合理的防洪减灾规划提供科学依据。

关键词: 洪水灾害; 风险评价; 汉江上游; 汉中市; 陕西省

中图分类号: P426.616 **文献标志码:** A **文章编号:** 0529-6579(2016)06-0028-07

Flood hazard risk assessment of Hanzhong city at the upper reaches of Hanjiang River

ZHANG Guofang, ZHA Xiaochun, SHI Xiaojing, LIU Jiahui, JI Lin, WANG Guangpeng

(College of Tourism and Environmental Sciences, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: Based on GIS technology, the integrated assessment on flood risk in Hanzhong city in Shaanxi Province was carried out by using administrative county as basic assessment unit. Natural factors including precipitation, precipitation variability, terrain elevation, slope and water system distribution were comprehensively considered in the flood hazard assessment. Socio-economic indicators including population density, annual grain output per unit area and GDP density were analyzed for the flood vulnerability assessment. A map of flood hazard assessment and a map of flood vulnerability assessment are constructed by combining with AHP and GIS technology. Then, superposition analysis method for flood hazard and vulnerability assessment was performed based on GIS technology, and the flood integrated risk assessment of Hanzhong city was obtained. The flood hazard risk of Hanzhong city was concentrated mainly in the Hanzhong basin and declined gradually from basin center to two sides around the main stream. The flood risk level is the highest in the southern part of Hanzhong, in the middle part of Chenggu county and in the northeastern part of Nanzheng county. The low level areas of flood disaster risk were Mian, Xixiang and Yang counties. Liuba county was the lowest in flood hazard risk. The assessment results are corresponding with the flood hazard occurrence in Hanzhong city in 2012, which can provide a scientific basis for

* 收稿日期: 2016-02-24

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(14BZS070); 国家自然科学基金资助项目(71471071); 中央高校基本科研业务费专项基金资助项目(GK201601006)

作者简介: 张国芳(1991年生), 女; 研究方向: 土地资源开发与环境演变; **通讯作者:** 查小春; E-mail: zhaxch@snnu.edu.cn

making reasonable flood control and mitigation planning in Hanzhong city.

Key words: flood hazard; risk assessment; the upper reaches of Hanjiang River; Hanzhong City; Shaanxi Province

洪水灾害是最严重的自然灾害之一，全球每年因洪水灾害造成的损失也十分严重^[1]。我国是世界上洪水灾害频繁而严重的国家之一，有10%的国土面积、5亿人口、5亿亩耕地、100多座大中城市、全国70%的工农业总产值受到洪灾的威胁^[2]。汉江是长江最大的支流，由于特殊的自然地理环境，汉江上游也是洪灾频发地。据统计^[3]，清后期至今汉江上游共发生洪水灾害59次，平均每3~4 a发生一次，所造成的社会经济损失也十分巨大。汉中市是汉江上游非常重要的城市，自清光绪二十八年（1902）起，汉中境内发生的水灾有70余次，几乎每年或大或小都有水灾发生，而且灾害面较大，凡较大的水灾，受灾面在五六个县以上的居多。因此，为了实现有效的抗洪救灾，减轻灾害损失，对汉江上游洪水灾害进行快速、全面、合理的风险评价是十分必要的。洪水灾害风险评价可以全面掌握区域洪灾状况，对于提高民众风险意识、规范土地合理利用、促进工程措施与非工程措施的科学制定等具有重要意义。本文以汉中市为研究区，以各县的行政边界为单位，依据洪水灾害系统理论，运用层次分析法和因子叠加法，结合GIS技术，对汉中市的洪水灾害进行风险评价^[4-6]。

1 研究区域概况

汉中市位于陕西省西南部，全市下辖1区10县，分别为汉台区、略阳县、留坝县、宁强县、勉县、南郑县、城固县、洋县、西乡县、佛坪县和镇巴县，总面积大约为 $2.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ （图1）。汉中市地处秦巴山区西段，北靠秦岭，南倚巴山，中部为汉中盆地，地势南北高，中间低，形成了“两山夹一川”的地貌骨架^[7]。地貌类型多样，但以山地为主，占总土地面积的75.2%，丘陵占14.6%，平坝占10.2%。境内最低处位于西乡县茶镇南沟口，海拔约为371.2 m，最高处位于洋县活人坪梁顶，海拔约为3 071 m，汉中盆地海拔在500 m，东西长约116 km，南北宽约5~30 km。汉中市气候具有由暖温带向亚热带过渡的特点，在境内以秦岭、巴山海拔800 m为界，分为亚热带和暖温带两大气候类型，温暖湿润，降水量时空分布不均且多暴雨，多年平均降水量在700~1 700 mm之间^[7-8]。汉中市的河流均属长江流域，汉江东西横贯，嘉陵江南北纵穿，汉江水系主要有褒河、牧马河、沮水河、酉水河、冷水河、漾家河、子午河等，河流密布，每平方公里平均河流长度为1.4~2 km。境内河网密布、降水多且集中以及复杂的地

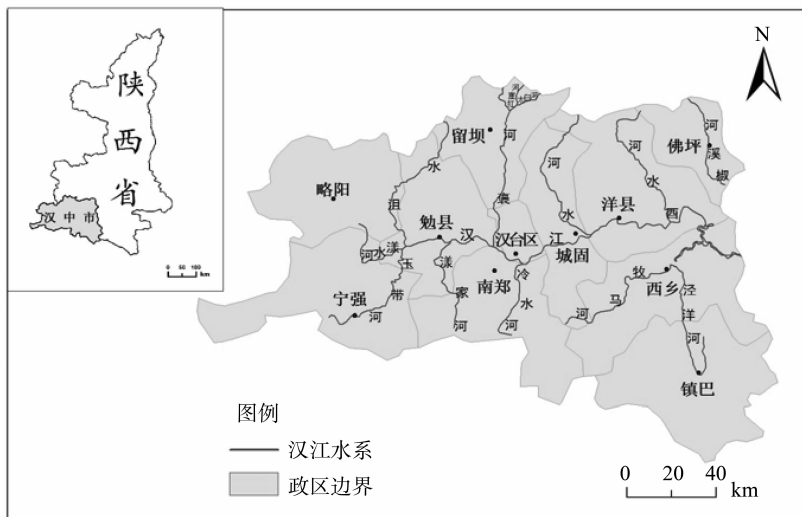


图1 研究区位置图

Fig. 1 Location of Hanzhong city in Shaanxi Province

形地貌,是汉中市发生洪水灾害的重要原因。以“2012年汉中洪灾”为例,据统计,暴雨洪涝灾害造成全市11个县区普遍受灾,受灾人口18.6万人,紧急转移安置7 911人;农作物受灾12 187 hm²,绝收2 825.5 hm²;倒塌房屋1 146户2 546间,严重损坏房屋1 279户3 482间;初步统计直接经济损失5亿元^[9]。

2 研究方法和数据来源

2.1 理论基础

从系统论的角度看,洪水灾害系统是由致灾因子、孕灾环境和承灾体相互作用后形成的一个具有一定结构、功能及特征的复杂体系^[10-13]。其中反映洪水灾害自然属性的是致灾因子和孕灾环境,反映洪水灾害社会属性的是承灾体。本文在此理论基础上,以汉中市为研究区,以各地行政区为单位,结合传统的洪水灾害风险评价方法和现代技术手段(GIS),把洪水灾害风险评价分为两部分:洪水灾害危险性评价和洪水灾害易损性评价^[14]。首先,通过对洪水灾害危险性和易损性的评价,可以分别得到洪水灾害危险性和易损性影响度分布图,其次,对研究区洪水灾害风险的综合评价评价运用如下公式:

$$R = HV \quad (1)$$

式(1)中, R 表示洪灾风险评价, H 表示洪灾危险性影响度评价, V 表示洪灾易损性影响度评价。

2.2 评价指标

洪水灾害危险性评价主要考虑洪水形成的自然因素,即考虑致灾因子和孕灾环境,主要取决于天气因素和下垫面因素^[5]。汉中市降水主要集中在夏季,主要的洪水类型是暴雨洪水,因此天气因素

中主要考虑降水量和降水变率。在汉中市境内,地形起伏较大,而且汉江贯穿全市,支流密布,因此下垫面因素中主要考虑地形高程、变化及河流的分布。

洪水灾害易损性评价主要考虑洪水形成的社会因素,即考虑承灾体的社会经济发展情况^[5]。汉中市人口众多,人口密度大,耕地面积所占比重较大,GDP产值也较高,这些因素可以直接反映该地洪灾造成的社会经济损失。因此,承灾体主要考虑人口密度、GDP密度和单位面积粮食产量。

基于上述分析,综合考虑研究的可取性,最终确定了汉中市洪水灾害综合风险评价的指标体系(图2)。

2.3 数据来源

本文所使用的降水数据源自陕西省气象局,高程和坡度数据来自SRTM-3-DEM,人口密度、GDP密度、粮食产量、耕地面积等数据来自《陕西省2013年区域统计年鉴》^[15]。

3 洪水灾害风险评价

3.1 洪水灾害危险性评价

3.1.1 降水对洪水灾害危险性的影响 洪灾的发生与降水量和降水变率都有着密切的关系。汉中市位于暖温带向亚热带过渡的气候区,四季分明,温暖湿润,平均气温13.5℃,平均降水量915.22 mm。降水集中在夏秋季,特别是7-9月份,多大雨,甚至暴雨,降水量占全年60%左右^[7,16]。降雨的南北差异较大,降雨区主要集中在秦巴山区,而且山区大于平坝,巴山多于秦岭,东南部大于西北部。降水的时空分布不均,是造成汉中市容易发生洪水灾害的主要原因。根据降水量越大、降水变

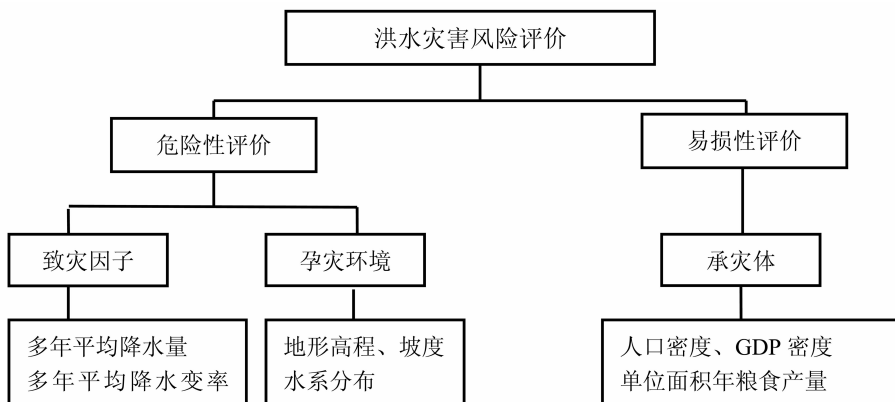


图2 汉中市洪水灾害综合风险评价指标体系

Fig. 2 Indexes system of comprehensive flood risk assessment in Hanzhong city, Shaanxi Province

率越大，洪水危险性越高的原则，从而确定了综合降水因子对洪水灾害形成的影响度标准（表 1）。据此综合汉中市境内 11 个站点的近 50 年平均降水

量和降水变率两个图层，并赋予其所属级别不同的影响因子，利用 ArcGIS 软件叠加得到降水影响因子图（图 3）。

表 1 汉中市综合降水因子的影响度划分标准

Table 1 Dividing standard about the integrated precipitation factors in Hanzhong city, Shaanxi Province

降水变率/%	降水量/mm				
	<876	876 ~ 938	938 ~ 1 026	1 026 ~ 1 137	>1 137
<0.173 1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
0.173 1 ~ 0.182 2	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
>0.182 2	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9

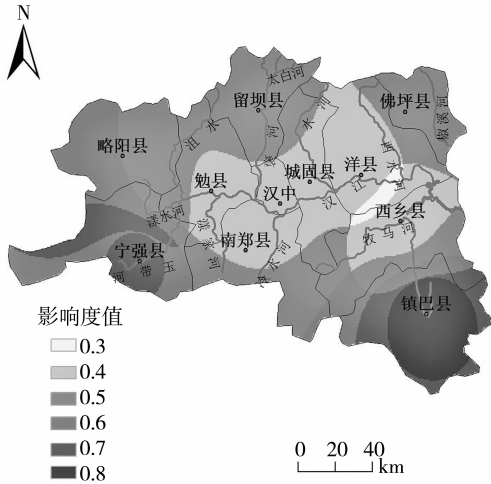


图 3 汉中市综合降水影响因子图

Fig. 3 The map of integrated influence factor of precipitation in Hanzhong city

由图 3 知，降水因子影响度的最高值出现在镇巴县和宁强县，原因是受西南季风的影响较大，降水量多且降水变率大；其低值出现在汉中盆地，由于地形对水汽的阻挡，降水量较少，降水变率小。

3.1.2 地形对洪水危险性的影响 洪灾的发生与地形有着密切的关系，主要表现在地形高程及地形变化程度上。汉中地区北靠秦岭，南跨巴山，中间是汉中盆地，地貌类型多样，但以山地为主，占总面积的 75.2%（其中低山占 18.2%，中高山占 57.0%），丘陵占 14.6%，平坝占 10.2%。境内最低处位于西乡县茶镇南沟口，海拔 371.2 m；最高处位于洋县活人坪梁顶，海拔 3 071 m，相差 2 699.8 m，地势起伏较大。该地地形高程采用美国

SRTM-3 DEM 数据，并进行分类，地形变化程度即坡度利用 ArcMap 中的 Spatial Analyst 模块中的邻域分析计算获得高程相对标准差来表示，并将其分为三级。根据绝对高程越低，相对高程标准差越小，洪水危险程度越高的原则，确定综合地形因子对洪水灾害形成的影响度标准（表 2）。利用 ArcMap 软件，综合地形绝对高程和高程相对标准差两个图层，从而得到汉中市综合地形影响因子图（图 4）。

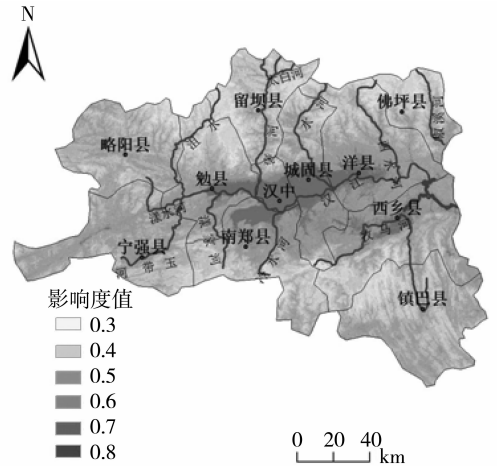


图 4 汉中市综合地形影响因子图

Fig. 4 The map of integrated influence factor of terrain in Hanzhong city

由图 4 知，地形因子影响度的最高值分布在汉中盆地，即汉江上游勉县至洋县间的河谷盆地，地形平坦且地势起伏度小。

表 2 汉中市综合地形因子影响度关系表

Table 2 Dividing standard about the integrated terrain factors in Hanzhong city, Shaanxi Province

高程标准差/m	绝对高程/m				
	<580	580 ~ 1 007	1 007 ~ 1 526	1 526 ~ 2 067	>2 067
一级 (<7)	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5
二级 (7-15)	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4
三级 (>15)	0.7	0.6	0.5	0.4	0.3

3.1.3 水系对洪水危险性的影响 洪灾的发生与水系也有着密切的关系,在一定程度上决定了研究区遭受洪水侵袭的难易程度。不同级别的河流,对形成洪水的影响度也不同,同时,距离河道的远近,决定着洪水的危险程度^[13]。汉中市河流均属长江流域,其中汉江水系自西向东贯穿汉中市。汉江干流横贯汉中盆地,是汉中水系网络的骨架,其支流主要包括沮水河、褒河、水河、酉水河、漾家河、冷水河、泾洋河、牧马河等,流域面积为 19 692 km²。在降水多的季节,发生洪水的几率较大。根据河流等级越高,影响范围越广的原则,综合考虑河流级别及其所处的地形,对河流建立了两级缓冲区,确定了不同缓冲区对应的宽度(表 3)。利用 ArcGIS 的 Buffer 功能对河流矢量图建立不同级别的缓冲区,同时依据距离河流越近,洪灾的危险性越高的原则,确定各级缓冲区对洪水灾害形成的影响度,即非缓冲区为 0.5,二级缓冲区为 0.8,

一级缓冲区为 0.9,从而得到汉中市综合水系影响因子图(图 5)。

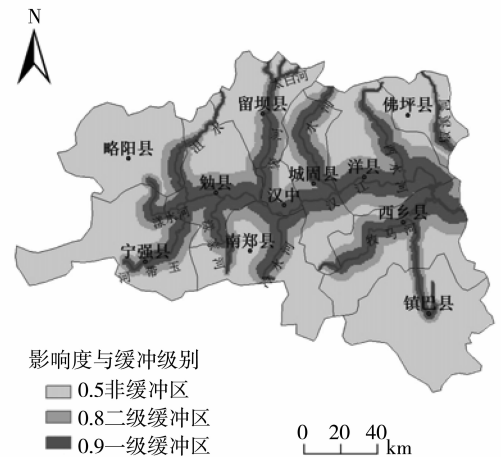


图 5 汉中市综合水系影响因子图

Fig. 5 The map of integrated influence factor of water system in Hanzhong city

表 3 汉中市河流缓冲区等级和宽度值的划分标准

Table 3 Dividing standard about the ranks and widths of buffer zones of rivers in Hanzhong city, Shaanxi Province

河流级别	绝对高程/m				
	<764	764~1 076	1 076~1 401	1 401~1 785	>1 785
一级干流	6	4	2	1	0.75
缓冲一级支流	4	2	1	0.75	0.5
区二级及其他支流	2	1	0.75	0.5	0.25
二级干流	12	8	4	2	1.5
缓冲一级支流	8	4	2	1.5	1
区二级及其他支流	4	2	1.5	1	0.5

由图 5 可知,地形高程越低,河流级别越高,缓冲区的宽度就越大,其所对应的影响度也越大。汉江干流的缓冲区最宽,依次向两边递减,所对应的影响度值也按此方向发生变化。

3.1.4 洪水灾害危险性影响综合 降水、地形和河网共同确定洪水的危险性,将这 3 个因子对洪水灾害危险性的影响进行叠加,即可得到洪水灾害危险性影响的综合评价分析结果。其叠加模型如下:

$$H = P \times W_1 + T \times W_2 + S_w \times W_3 \quad (2)$$

式(2)中, H 表示洪灾危险性影响度, P 表示降水影响度, T 表示地形影响度, S_w 表示水系影响度, W_i 表示各因子代表的权重^[4]。 W_1 代表降水因子权重值,用近 50 a 的降水数据对汉中市洪水灾害进行风险评价,所以 W_1 为定量值; W_2 和 W_3 分别代表地形和水系因子权重值,由于这两个因子对汉中市洪水灾害的影响是稳定的,所以 W_2 和 W_3 也为定量值。关于各权重值的确定主要是采用层次

分析方法,构造判断矩阵,综合给出判断矩阵的数值,通过求解该判断矩阵的最大特征值和对应的特征向量,再进行一致性检验,得到各因子的权重值为: $W_1 = 0.122 0$, $W_2 = 0.558 4$, $W_3 = 0.319 6$ 。利用 ArcGIS 的 Grid 模块进行栅格叠加运算并分级后得到洪水灾害危险性影响分级图(图 6)。

由图 6 可知,从整体上看,地形对该地洪水灾害的影响度较高,以海拔低且地势起伏小的地方向两边递减。其中位于汉中盆地的县域即汉台区、南郑县、城固县危险性等级最高,留坝县降水量较多,但其属于山区,地形高且地势起伏大,因此,该地洪水灾害危险性最低。

3.2 洪水灾害易损性评价

对于洪灾易损性分析,通常通过承灾体来反映。承灾体是指包括人类本身在内的物质文化环境,它可以定性的反映研究区易损性的高低。考虑到汉中市的特点及资料的可取性,本文选取 2013 年

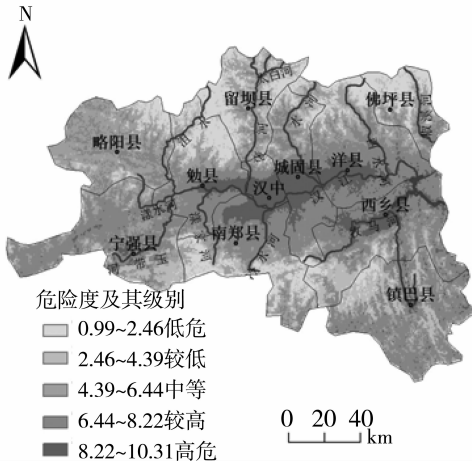


图 6 汉中市洪灾危险性影响综合分级图

Fig. 6 The map of integrated classification of water flood hazard influence in Hanzhong city

围分为 5 类，并赋予相应的影响度（表 4）。对各指标进行等权重叠加运算，从而得到洪水灾害易损性综合影响度空间分布图（图 7）。

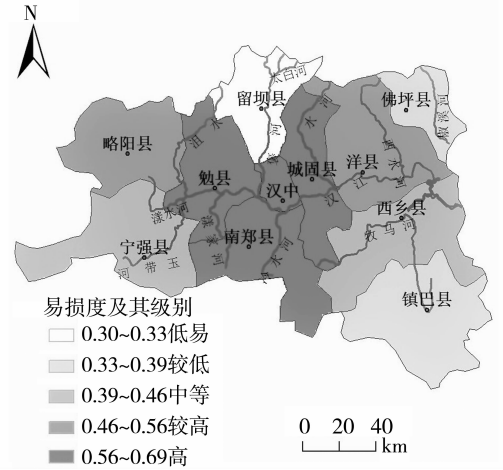


图 7 汉中市洪灾易损性影响度分布图

Fig. 7 The map of classification of flood vulnerability influence in Hanzhong city

各县的人口密度，GDP 密度和单位面积年粮食产量作为社会经济易损性的评价指标。在 ArcGIS 中应用 Join 功能，得到 3 个指标的空间分布图。然后参考各指标的平均值和标准差，分别把各指标范

表 4 2013 年汉中市人口密度、GDP 密度、单位面积年粮食产量分类影响度
Table 4 The affecting degree about classification of population density, GDP density and annual grain output per unit area in Hanzhong city, Shaanxi Province

分类号	人口密度/ (人 · km ⁻²)	GDP/ (万元 · km ⁻²)	粮食产量/ (t · km ⁻²)	影响度
1	0 ~ 23	0 ~ 23	0 ~ 438	0.3
2	23 ~ 72	23 ~ 91	438 ~ 481	0.4
3	72 ~ 119	91 ~ 125	481 ~ 536	0.5
4	119 ~ 205	125 ~ 272	536 ~ 621	0.6
5	≥205	≥272	≥621	0.7

由图 7 可知，汉台区、南郑县、勉县和城固县的洪水灾害易损性较大，留坝县的较小，其余介于中间。

3.3 洪水风险综合评价

洪水灾害中致灾因子和孕灾环境的自然属性主要是通过洪灾危险性影响度反映，而洪水灾害承灾体的社会经济属性主要是通过洪灾易损性影响度反映，将二者叠加起来即可得到洪水灾害的综合评价^[17-20]。利用 ArcGIS 中的 Grid 模块中的地图代数功能，采用公式（1）对二者进行叠加运算，得到汉中市洪水灾害风险评价等级图（图 8）。

由图 8 可知，汉中市洪水灾害风险等级较高的地区主要集中在汉中盆地，该地区虽然降水量影响度低，但是由于地形高程和地势起伏都较小，汉江干流贯穿境内，支流汇聚，洪水的危险性影响度

较高，且人口密度较大，可耕地面积较广，承灾体的易损性较强。其中以汉中市南部、城固县中部、南郑县的北部以及冷水河附近的牟家坝镇等的洪水灾害风险等级最高；勉县、洋县、西乡县等因有河流经过，且地势较平坦，洪灾风险等级次之；留坝县、佛坪县因地形较高，地势起伏较大，且承灾体的易损性较低，洪水灾害风险等级最低。

从 2012 年汉中市洪水灾害受灾情况看，洪水重灾区主要在汉台区、城固县和南郑县，此次暴雨使冷水河的水位暴涨，使牟家坝镇造成重创；从汉中市 2015 年“6·28”洪灾受灾情况看，受灾最严重的地区主要集中在汉中市、城固县、南郑县的牟家坝镇和法镇等以及西乡县。这与本文对汉中市洪水风险综合评价得出的结论是一致的。

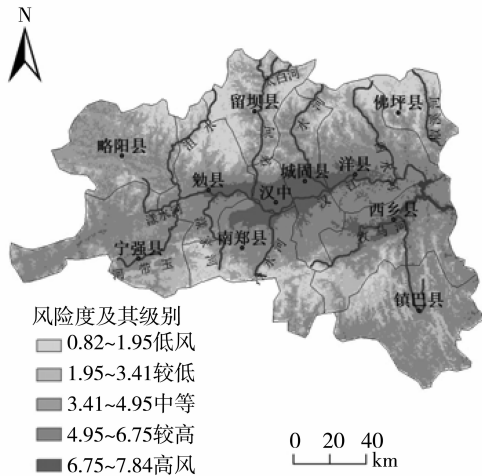


图8 汉中市洪灾风险综合评价等级图

Fig. 8 Map of classification of integrated flood risk assessment in Hanzhong city

4 结论

1) 洪水灾害高风险区主要分布在汉台区南部、城固县中部, 同时还包括南郑县北部的大河坎镇以及冷水河附近地势较低的村镇, 如牟家坝镇。这些地方降水量约在 938 ~ 1 137 mm 之间, 降水变率大于 17.31%, 影响度大于 0.5, 降水量较多且集中; 地形高程小于 1 007 m, 高程标准差小于 15 m, 影响度大于 0.7, 地势相对比较平坦; 高程低于 1 076 m 且属于汉江干流和一级支流, 河流缓冲区较宽; 农作物种植面积大, 人口密度较大, 社会经济财富较集中, 影响度位于 0.56 ~ 0.69 之间。综合这些影响因子, 这些地方的洪水灾害风险等级较高, 属于高风险区。

2) 洪水灾害低风险、较低风险地区主要分布在留坝县、勉县北部以及镇巴县西北部。这些地方降水量大于 1 026 mm, 降水变率小于 18.22%, 影响度大于 0.6, 降水量较多且分布较均匀; 地形高程大于 1 526 m, 高程标准差大于 15 m, 影响度小于 0.6, 地势起伏较大; 河流缓冲区较窄; 人口密度相对较低, 农作物种植面积较小, 社会经济发展水平也相对较低, 影响度位于 0.30 ~ 0.39 之间。综合这些影响因子, 这些地方的洪水灾害风险等级与其他地方相比相对较低, 属于低风险区。

3) 洪水灾害中等风险地区分布在略阳县、西乡县以及勉县等。这些地区洪水灾害危险性和易损性都处于均等水平。

此结论与“2012年汉中洪灾”和汉中市2015年“6·28”洪灾情况基本相符, 因此, 评价结果具有一定的实际应用价值, 可为汉中市防洪救灾部

门提供相关依据。

参考文献:

- [1] 方建, 李梦婕, 王静爱, 等. 全球暴雨洪水灾害风险评估与制图[J]. 自然灾害学报, 2015(1): 1-8.
- [2] 林木生, 陈兴伟. 晋江西溪流域洪水与暴雨时空分布特征的相关分析[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2226-2231.
- [3] 孟婵, 殷淑燕. 清末以来陕西省汉江上游暴雨洪水灾害研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(5): 46-51.
- [4] 魏一鸣, 杨存键, 金菊良. 洪水灾害分析与评估的综合集成方法[J]. 水科学进展, 1999, 10(1): 25-30.
- [5] 廖丹霞, 杨波, 王慧彦. 基于GIS的河北省滦县洪水灾害风险评价[J]. 自然灾害学报, 2014(3): 93-100.
- [6] 杜鹃, 何飞, 史培军. 湘江流域洪水灾害综合风险评价[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 38-44.
- [7] 刘阳, 延军平. 1960-2009年汉中市气候变化特征及未来趋势[J]. 气象与环境学报, 2011, 27(3): 45-50.
- [8] 杨利霞, 王楚, 冉小忠. 汉中盆地大暴雨气候特征分析及预报着眼点[C]//第27届中国气象学会年会灾害天气研究与预报分会场论文集. 中国气象学会, 2010: 4.
- [9] 闫淑春. 2012年全国洪涝灾害情况[J]. 中国防汛抗旱, 2013, 23(1): 17-18.
- [10] 蒋卫国, 李京. 区域洪水灾害风险评估体系(I)——原理与方法[J]. 自然灾害学报, 2008, 17(6): 53-59.
- [11] 路明浩, 程先富. 洪水灾害风险评价研究综述[J]. 四川环境, 2010, 29(6): 127-132.
- [12] WANG C, LI W T. GIS-based risk zone of flood hazard in Anhui Province[J]. Meteorological and Environmental Research, 2011, 6(2): 67-70.
- [13] WEI G J, LEI D, LU Y C. Risk assessment and validation of flood disaster based on fuzzy mathematics[J]. Progress in Natural Science, 2009, 19(10): 1419-1425.
- [14] 李谢辉, 王磊, 谭灵芝. 渭河下游河流沿线区域洪水灾害风险评价[J]. 地理科学, 2009, 29(5): 733-739.
- [15] 陕西省统计局. 陕西省区域统计年鉴2013[Z]. 北京: 中国统计出版社, 2014.
- [16] 查小春, 黄春长, 庞奖励, 等. 汉江上游郧西段全新世古洪水事件研究[J]. 地理学报, 2012, 67(5): 671-680.
- [17] 李继清, 张玉山, 王丽萍, 等. 洪灾综合风险的结构特征分析[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(6): 805-809.
- [18] 徐镇凯, 黄海鹏, 魏博文. 基于系统多层次灰色模型的洪灾风险综合评价方法——以鄱阳湖流域为例[J]. 南水北调与水利科技, 2015, 13(1): 20-23.
- [19] 陈华丽, 陈刚, 丁国平. 基于GIS的区域洪水灾害风险评价[J]. 人民长江, 2003, 34(6): 49-51.
- [20] 刘国庆, 徐刚. 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.