

文章编号: 2096-1618(2022)02-0186-08

四川省暴雨洪涝灾害风险评估

潘昱杉, 李谢辉

(成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225)

摘要:为对四川省暴雨洪涝灾害防御体系的构建提供科学的参考依据,进一步完善暴雨洪涝灾害风险评估工作,利用四川省均匀分布的 34 个国家气象观测站 1961–2017 年逐日降水为致灾因子参考数据,选取地形、河网分布为孕灾环境敏感性区划因子,以各州市的经济发展和人口密度等数据为承灾能力易损性判断标准,通过熵权法和层次分析等权重分析法从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性 3 个方面通过构建评估模型,并利用 ArcGIS 进行分析计算,完成对四川省暴雨洪涝灾害的风险评估。结果表明:(1)四川省降水频次高、降水量大,致灾因子风险高的地区主要集中在中部、中南部和东南部分地区;(2)四川东部地区相对地势平坦,河网分布密集,受河流分布的影响大,西部相对地势起伏,中东部较西部孕灾敏感性高;(3)雅安及川东北地区人口密度大、耕地面积比重多且人均 GDP 较低,抗灾能力较弱,承灾易损性能力弱;(4)综合各地区致灾风险、敏感性及承灾能力,川中部雅安和东部部分地区为暴雨洪涝的高风险区,成都地区、川南部的攀枝花、甘孜的西部和德阳等地区为暴雨洪涝的较低和低风险区。

关键词:应用气象;气象灾害;暴雨洪涝;风险评估;层次分析法;熵权法;四川省

中图分类号:P426.616

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2022.02.012

0 引言

暴雨洪涝是常见的自然灾害之一。据统计,全球各种自然灾害造成的损失中,由暴雨洪涝造成的损失约占总体的 40%^[1-2]。在全球变暖背景下,极端气候事件日趋频繁,所造成的损失比重日益增加^[3]。受气候、地理位置等自然因素及社会经济发展等社会因素的共同影响,暴雨洪涝灾害的成因极为复杂,其发生具有很强的随机性和不确定性。为了分析评估各地区暴雨洪涝灾害发生的可能性及可能造成的损失,暴雨洪涝灾害风险评估与区划研究工作日益受到重视。

目前已开展了许多关于暴雨洪涝灾害风险研究的工作^[4-7]。李军玲等^[8]利用降水、区域经济发展易损性等相关数据,结合 ArcGIS 软件建立了河南省洪灾风险评估模型;徐海亮^[9]基于多年实测气温、降水资料和 NCEP/NCAR 再分析数据,得出了西南地区气候变化的趋势和各种气象灾害的风险变化;严志涛等^[10]通过分析对比气候变暖前后西南四省市暴雨洪涝灾害的相对灾情指数,通过建立暴雨洪涝灾害危险性模型得出了西南四省市暴雨洪涝灾害风险的变化。赵伟等^[11-12]通过对重庆汛期降水资料、地形及城市经济发展资料进行分析,并运用 ArcGIS 软件研究了重庆洪灾风险评估模型;罗培等^[13]通过建立洪涝孕灾背景、灾

害危险性、承灾体易损度等数学模型,得到了重庆市洪涝灾害风险评估及区划结果;陈丁等^[14]基于层次分析评估模型、模糊评估模型、可拓理论评估模型,结合 GIS 与 DSS 技术,构建和开发了四川省暴雨灾害的气象灾害监测、预报预警和风险评估决策支持系统;甘薇薇等^[15]利用降水数据,通过分析降水强度、持续时间及降水范围等参考因子,采用欧式距离函数建立了四川暴雨过程强度评估模型;鲜铁军^[16]利用南充市降水数据,通过计算南充市致灾临界降水量,并采用农业人口密度等相关农业数据综合构建了南充市农业气象灾害风险评估模型,进行了风险区划分析^[16]。

关于四川省暴雨洪涝灾害风险区划的模型目前相对较少。在全球变暖背景下,自 21 世纪以来,西南地区的温度和降水发生了较大变化,极端气候事件呈现增加趋势^[17]。因此,在当前发展水平下,从致灾因子危险性、承载体易损性等方面重新考虑影响因子建立四川省暴雨洪涝灾害区划模型,对四川省的暴雨洪涝灾害风险评估有着重要作用,其研究能为科学应对全球变暖下的洪涝灾害防御,以及保护人民群众生命财产安全提供有价值的理论意义。

1 资料与方法

1.1 资料来源

选取由国家气候信息中心提供的 1961–2017 年

收稿日期:2021-07-05

基金项目:科技部第二次青藏高原综合科学考察研究资助项目(2019QZKK0105);四川省科技计划资助项目(2021YJ0025)

34 个气象站点的逐日降水量数据,通过时间一致性和均一化检验,对该数据进行严格的数据质量控制,所选 34 个气象站点的地理位置分布和高程如图 1 所示。

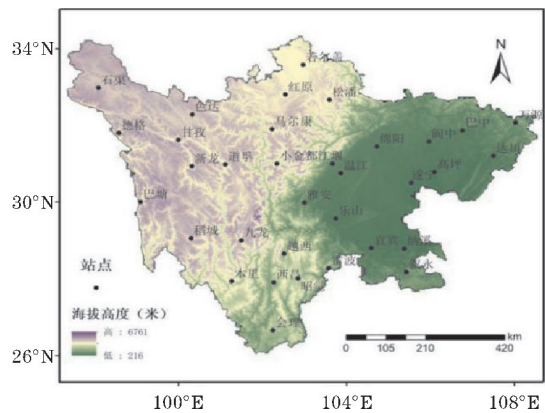


图1 四川省气象站点和高程分布

对四川省暴雨的定义为:若 1 个降水过程中至少有 1 天的降水量 $\geq 50\text{ mm}$ (川西高原地区,如甘孜州、阿坝州 $\geq 30\text{ mm}$),就将其视为 1 次暴雨过程并统计其连续降水日数,而当降水中断时即该降水过程结束,并计算过程降水量。研究通过统计各站点累计降水天数及最大降水量等降水数据进行综合分析,为与实际结合,还选取了地形数据、人口密度、人均 GDP 等相关数据来构建评估模型。对四川省暴雨洪涝灾害的风险评估模型,主要从致灾、孕灾、承灾 3 个方面综合选取有效因子,并基于可拓理论,确认暴雨强度、暴雨频次在暴雨洪涝灾害风险性评估中所占的最大比例^[18]。在确立各项参考因子在区划模型中的比例时,将致灾因子作为最重要的考虑因素,并结合地形、人口、经济等相关要素,选取的指标体系及因子如表 1 所示。

表 1 四川暴雨洪涝灾害风险评估模型指标因子

指标体系	指标因子
致灾因子危险性	累计强降水天数
	最长持续降水天数
	最大连续降雨量
孕灾环境敏感性	河网密度
	海拔
	坡度
	坡向
承灾体易损性	州市人均 GDP
	地均人口密度
	地均耕地面积比

1.2 研究方法

由于选取指标参数多,各参考因子实际量化值与

其在各评价层级中所占比例存在大小差异,因此需对各指标因子根据重要性进行权重分配。常见确认指标权重的方法有:层次分析法、因子分析法、主成分分析法、综合集成赋权法、熵权法等。本文主要采用层次分析法、熵权法、加权综合评价等多种方法,同时参考专家打分法确定各指标在各自评价层的权重。

1.2.1 熵权法

对于某项指标,利用熵值来判断其离散程度,信息熵值越小,指标的离散程度越大,该指标权重就越大。因此利用信息熵计算出各个指标的权重,为多指标综合评价提供依据。

1.2.2 层次分析法

层次分析法(AHP)是将拥有复杂决策目标的问题视做系统,并将其分解为多个准则进而分解为若干层次,通过对不同层次、不同目标进行重要度排序,利用求解判断矩阵特征向量得到各层次各元素分别对应的权重。层次分析法近年来已广泛应用于各类风险评估分析中^[19]。

1.2.3 加权综合评价法

加权综合评价法即运用多个指标综合考虑各个具体指标作用大小对系统影响的一种方法,其计算公式如下:

$$RD=\sum \omega_i \cdot D_i$$
(1)

式中, ω_i 为第 i 项评价层的权重, D_i 为第 i 项指标的规范值。

1.2.4 指标标准化法

对所选取的各项指标参数,其计量单位与取值范围各不相同,无法直接进行建模。运用式(2)将各类数据进行标准化处理,得到其建模所需要的规范标准值。

$$D_{ij}=0.5+0.5\times\frac{A_{ij}-i_{\min}}{i_{\max}-i_{\min}}$$
(2)

其中, D_{ij} 是 j 区第 i 个指标的规范化值, A_{ij} 是 j 区第 i 个指标值, i_{\min} 和 i_{\max} 分别是第 i 个指标值中的最小值和最大值。

根据以上方法综合确立各参考层中各指标在模型中的权重占比,得到的权重占比数据如表 2 所示。

1.2.5 四川暴雨洪涝灾害综合风险评估模型

四川省暴雨洪涝灾害综合风险评估模型的构建综合考虑了评估区域内致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性的风险值之和,由于 3 个风险评价层的权重不同,根据实际情况构建的综合风险值(risk value, RV)评估模型表达式为

$$RV=0.5\times\text{致灾}+0.3\times\text{孕灾}+0.2\times\text{承灾}$$
(3)

表 2 四川暴雨洪涝灾害风险评估体系指标权重

目标层	评价准则层	权重	指标层	权重	组合权重
洪灾风险 评估体系	致灾因子危险性	0.5	累计强降水天数	0.38	0.19
			最长持续降水天数	0.26	0.13
			最大连续降雨量	0.36	0.18
	孕灾环境敏感性	0.3	河网密度	0.5	0.15
			海拔	0.2	0.06
			坡向	0.15	0.045
			坡度	0.15	0.045
	承灾体易损性	0.2	州市人均 GDP	0.3	0.06
			地均人口密度	0.4	0.08
			地均耕地面积比	0.3	0.06

利用 ArcGIS 技术,通过对各指标进行计算,对综合风险值统计各栅格数据层直方图的均值和标准差,采用均值-标准差方法,将综合暴雨洪涝灾害风险区划结果主要划分为低风险区、较低风险区、中等风险区、较高风险区和高风险区 5 个等级进行分析。

2 四川暴雨洪涝灾害风险评估

2.1 致灾因子风险区划分析

致灾因子的危险性分析即是对某地区灾害异常程度的评价。暴雨洪涝灾害中,降水持续的时长、降水量的多少对降雨带来的影响起着至关重要的作用。连续

的降水或强降水不仅影响人民的日常生活出行,同时也可能造成农村地区农田摧毁,山洪和山体滑坡、城市交通堵塞、河坝决堤等危及人民生命财产安全的重大灾难。结合降水的致灾特征,选取最大持续降水天数、最大降雨量、总降水天数数据为主要指标因子对四川省暴雨致灾因子进行区划分析。一般情况下,最大持续降水天数越长,最大降雨量越大,总降水天数越多,该地区降水对生活造成的损失影响就越大,其致灾因子的危险性也就越大。图 2 为利用气象站点降水数据,并采用反距离权重插值法后获得的累计降水天数,最大连续降雨量和最大降水天数风险区划图。在将上述 3 个因子按各自权重叠加后可得综合降水致灾因子风险区划图,如图 3 所示。

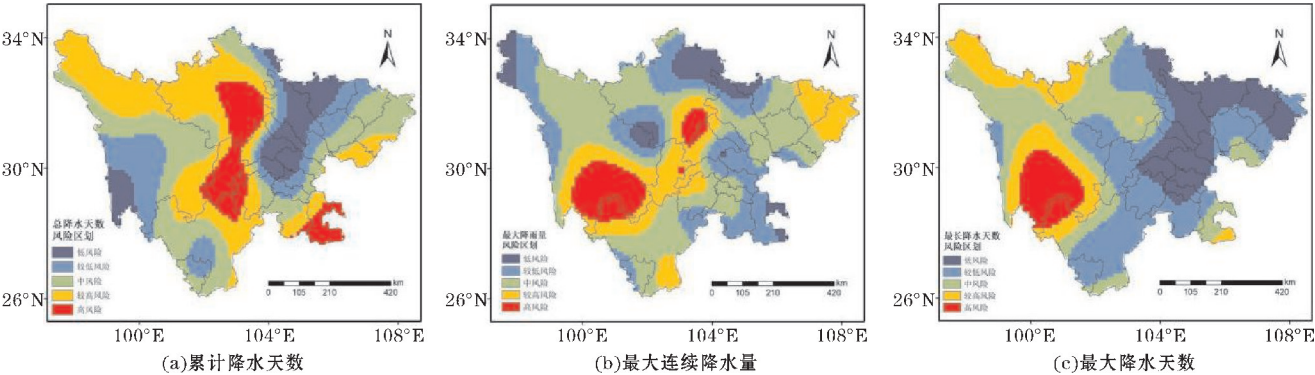


图 2 3 个致灾因子风险区划图

由图 2(a) 的累计降水天数风险区划来看,总降水天数的高风险区主要位于四川省的中部及东南部地区,较高风险区主要位于四川北部、南部和川东北少数地区;中风险区主要位于四川省西北部、东部达州等部分地区;低风险区主要位于四川省西南部和中部少数地区,而四川盆地部分地区及四川省中北部、西南部的阿坝州部分地区则为低风险区。图 2(b) 的最大连续降雨量与图 2(c) 的最大降水天数区划结果较一致,其中高和较高风险区主要集中在川西南部及中北部部分地区,低和较低风险区主要位于四川省北部、东南部分地区及西部少数地区。

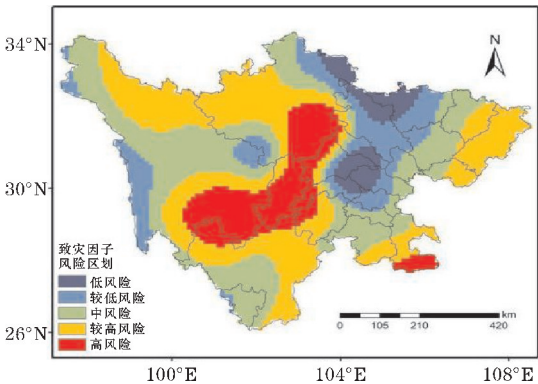


图 3 四川省暴雨洪涝灾害综合降水致灾因子风险区划图

图 3 综合结果表明,由累计降水天数、最大连续降水量和最大降水天数反映出的降水致灾因子风险分布很受各项因子在致灾因子风险模型中所占比例的影响。在 3 项因子中,累计总降水天数所占比例最大,在其影响下四川省中北部与偏南部风险较高,同时最大降雨量与最大降水天数虽占比较少,但两者的高风险地区都集中在四川的西南地区,因此四川地区中部、中南部与东南部分地区为降水易发且受降水影响最大的高风险区,要注意排洪和引流,地势海拔高、坡度大的山地区要注意监测防范山洪、泥石流等次生灾害,地势较平缓地区则要注意监测雨量与河水高度,减少暴雨洪涝灾害损失。四川省东部及西北甘孜阿坝州部分地区受降水影响次之,为较高风险地区,主要分布在川西高原山地及四川盆地周围的丘陵地带,需注意监测次生灾害和洪涝两种灾害的发生。其次,四川省中东部地区及川西阿坝州大部分地区为中风险地区;盆地及四川省北部地区为低风险和较低风险地区,暴雨频次相对较少,受暴雨直接影响较小。

2.2 孕灾环境敏感性风险区划分析

孕灾环境的敏感性分析即分析区域环境对灾害的反应敏感程度。选取海拔、坡度和坡向数据作为衡量四川地区地形环境要素的基础指标因子。地形因子对地区降水洪灾的影响主要可分为由暴雨直接导致的地势较平坦地区或低洼地区积水,河水侵袭或坡度较大、地势较高地区由暴雨引发的如泥石流、山洪等次生灾害两类。由于判定暴雨洪涝引发此次生灾害的条件及其影响因子较复杂,本文着重选取在地形因子影响下,暴雨直接引发的洪涝灾害这种类型进行讨论,图 4 为由地形因子获得的风险区划图。结果表明,四川西部地区地势复杂、坡度大、地势高,受降水影响引发如泥石流、塌方、山洪等次生灾难的可能性高;四川东部地

区地势较平坦,因地形因素发生暴雨引起的次生灾害的可能性较小,但受河网、积水直接影响较大,易发生暴雨洪涝灾害。

河道的分布及地理位置同样对洪涝灾害的影响起着不可忽视的作用。当雨水汇集到河中,极易造成河堤溃坝、河道蔓延等洪涝灾害,时刻都可能对人们的生命财产安全造成不可挽回的损失。不同级别的河网造成的影响不同,通常河网级别越高,其造成暴雨洪灾的影响力也就越大,而同一级别的河网,因地理位置的差异,对周边地区造成的影响也会存在不同。四川是一个水资源相对充足的地区,是黄河长江都共同流经的省份。本文选取四川境内对暴雨洪涝影响大的 4、5 级河网,综合考虑河网级别、分布及河网周围地形地貌的影响,利用 ArcGIS 缓冲区分析建立河流影响缓冲区,依据离河道越近的地方,危险性越高,同时相同距离处地势越高,坡度越大则危险性越小的原则进行风险判别。由于四川省东西地势差异大,西部地区为高原,河道海拔高度高,川东地区为盆地,河道海拔低,因此选取河道两侧一定宽度处分别建立不同级别缓冲区,综合相关地理要素获得的不同等级河流缓冲区宽度与危险性等级如表 3 所示。

表 3 河网级别、宽度与危险性对照表

河网等级	缓冲区宽度/m	河网危险性等级
4 级	200	1 级
	1000	2 级
	2000	3 级
5 级	50	1 级
	200	2 级
	1000	3 级

表 3 中,河网危险等级越高即该地区受河网直接影响程度就越大。将不同等级河网数据利用 ArcGIS 缓冲区分析功能可得到河网危险性分布见图 5。可以看出,四川省河流众多,河道纵横交错且东部较西部地区水系更为丰富、河网缓冲区相互重合,因此东部较西部受暴雨洪涝影响的风险更高。将地形与河网分布相结合,得到孕灾环境敏感性的风险区划,见图 6。可以看出,暴雨洪涝易造成直接影响的高风险区主要集中于四川省中部、东部如成都市、达州市、泸州市、南充市等地区。这些地区受地理因素的影响,地势较四川省西部阿坝州、甘孜州更为平坦,同时河网分布却更为密集,不同等级河网、缓冲区相互交叠使这些地区受洪水影响度风险更大,对洪涝灾害的敏感性更高。

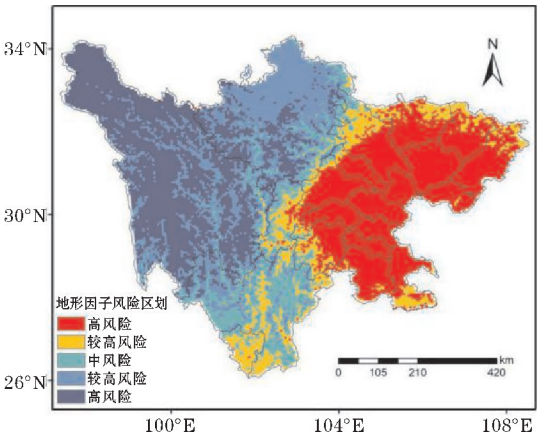


图 4 四川省地形因子风险区划

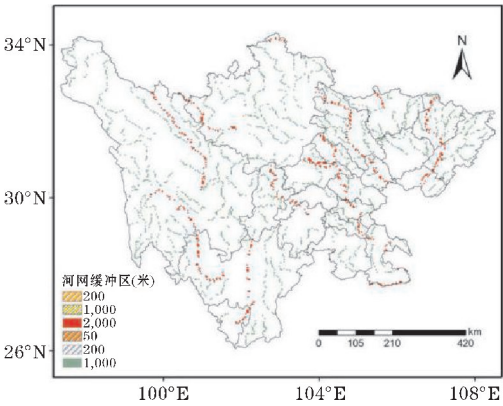


图 5 河网密度因子影响度分布图

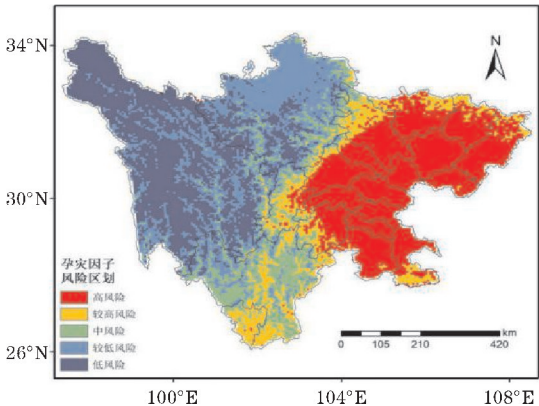


图 6 暴雨洪涝灾害孕灾环境敏感性区划图

2.3 承灾体易损性风险区划分析

四川省各市州人口密度、地形地貌、土地的利用率各不相同,在此基础上的社会发展也存在着较大差异。地区的经济收入展现了地区政府能够支出防灾减灾费用的能力,人口的分布与密度,展现了当灾害来临时,地区可能的受灾程度。同时,各地不同的土地利用,影响了洪涝灾害造成的影响范围和类型。建立了完整排洪体系的城市地区与栽种短期粮食的耕地地区在面临同等级的洪涝灾害时,城市路面的受灾程度比耕地更低。生产总值、人口分布、土地利用的差异造成了不一

样的承灾能力。综合社会发展的客观环境,本文主要选取地区人均生产总量、各州市人口密度、州市耕地面积比为参考指标因子,建立四川省承灾体易损性的风险区划模型。一般来说,地均生产总值越高,能进行防灾减灾建设的能力也就相对更高,地区受灾程度也随之降低;地区人口密度越大,受灾害的影响程度也就越大,即更易受损;地区耕地面积比越大,洪灾灾害的风险性越大。研究利用 2018 年四川统计年鉴中 2017 年的州市人均 GDP、州市地均人口密度、耕地面积数据,通过进行数据处理得到 3 个承灾体因子的空间分布见图 7 和承灾体易损性风险区划见图 8。

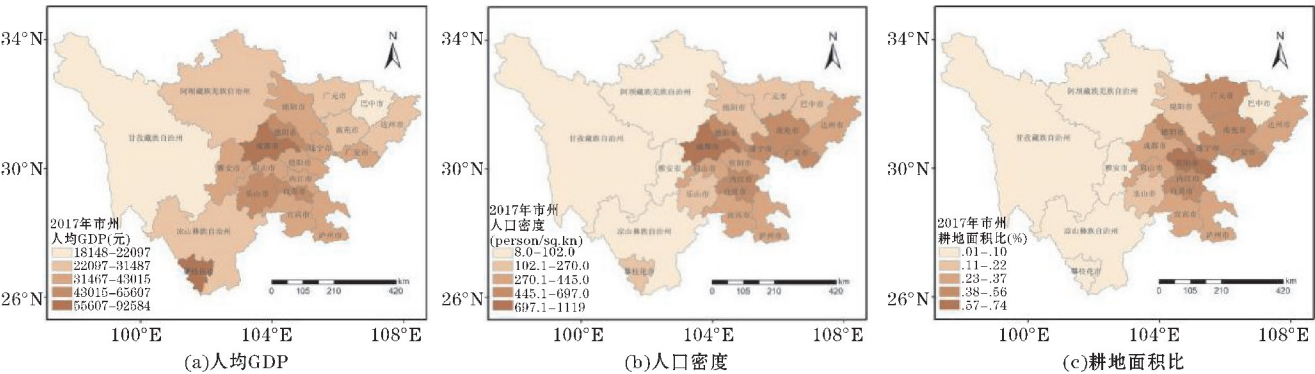


图 7 3 个承灾体因子空间分布图

图 7 可以看出,受地形和城市发展影响,省各市州人均 GDP(图 7a)较高地区主要集中在成都且向四周依次降低,除攀枝花市外,四川省西部地区的抗灾救灾财政能力较东部地区普遍偏弱。人口密度(图 7b)和耕地面积比(图 7c)受地形和城市经济发展的影响,东西部地区存在明显差异,地势相对平坦且经济相对发展更好的四川盆地和东部地区人口密度较西部更大,同时耕地面积占比更高,即人民生命财产安全受暴雨洪涝灾害东部比西部影响更大。

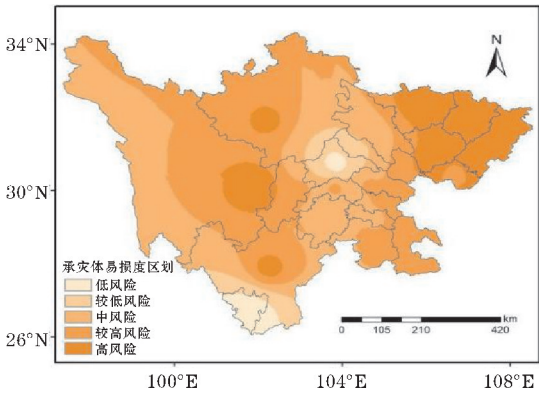


图 8 承灾体易损性风险区划图

由图8分析结果可知,在综合考虑经济发展建设、土地利用类型和人口密度的影响下,承灾体易损度高风险区主要集中在广元、巴中、达州、南充等四川东北地区。此外,雅安市东部及凉山州东部部分地区也为高风险地区,成都市及以北部分地区虽人口密度较大,但政府经济收入状态良好、城市化比例较高,因此为低风险区,成都平原周边到川东北,即雅安两大高风险区间依次由较低风险区、中风险区向较高和高风险区过渡。

2.4 暴雨洪涝灾害风险综合区划分析

以上分别讨论了致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损度的风险区划,现将各因子按0.5、0.3、0.2的权重比例叠加可得到四川省暴雨洪涝灾害风险综合区划见图9。

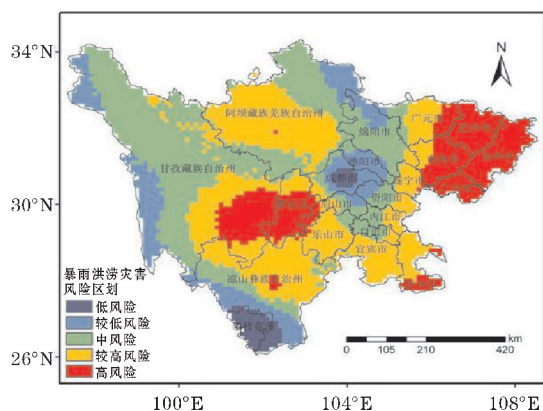


图9 四川暴雨洪涝灾害综合风险区划图

综合分析可知,受致灾因子所占比重影响,四川省中南部的雅安市部分地区为暴雨洪涝灾害高风险区。此类地区降水频次高、降水量大、降水天数长,受降水直接影响大,同时地势较高、地形坡度大,易发生由暴雨引起的直接和次生灾害,应注意植被保护、实时监测暴雨和山洪、泥石流等灾害的发生。此外川东大部分地区、川东南地区,如达州、巴中、南充大部分区域、广安、泸州部分地区也为高风险区,此类地区虽降水频次较少,但最大降雨量多,受降水影响较大,且地势较平坦,河网分布密集,易受河网直接影响导致洪涝灾害发生;另外,耕地面积比重大、人口密度大,洪涝灾害影响范围更广、受灾更严重,同时当地GDP不足,抗灾能力较弱,因此为高风险区。四川省中部及川东南大部分地区为较高风险区。此类地区同时受降水频次、降雨量及地形与当地经济的影响(川西地区受地形与降水影响,发生次生灾害的风险更高;川东地区受地形、河网及土地利用的影响,直接发生暴雨洪涝灾害的风

险更高),但影响度又不及高风险地区大,即为较高风险地区。四川省北部地区,如绵阳、资阳、自贡、眉山等地区虽同时受降水与地形影响,但本地经济发展较好、人口密度较低,风险度相对较低,为中风险区。四川盆地中心如成都中心地区降水频次少、降水量少、持续降水天数也少,因此四川盆地受降水影响的致灾风险较低;同时四川盆地中心人口密度虽大,但耕地面积比相对较小,地区城市化比例高且人均收入较高,地区承灾能力强,抗灾减灾能力水平高,因此为低风险地区。德阳大部分地区、成都大部分地区、眉山、资阳部分地区,灾害风险稍次之,为较低风险地区。

3 结论与讨论

暴雨洪涝是四川省的主要气象灾害之一。从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性和承灾体易损性三个方面通过构建评估模型,对四川省暴雨洪涝灾害进行了风险评估,主要得到以下一些结论:(1)致灾因子危险性区划表明,四川地区中部、中南部与东南部分地区为降水易发且受降水影响最大的高风险区,盆地及四川省北部地区暴雨频次相对较少,受暴雨直接影响较小为低和较低风险区;(2)孕灾环境敏感性风险区划表明其高风险区主要集中于四川省中部、东部如成都、达州、泸州、南充等地区;(3)承灾体易损性风险区划表明,高风险区主要集中在广元、巴中、达州、南充等四川东北地区。此外,雅安市东部及凉山州东部部分地区也为高风险区,成都及以北部分地区虽人口密度较大,但政府经济收入状态良好、城市化比例较高为低风险区;(4)四川省暴雨洪涝灾害风险综合区划结果表明,高风险区主要分布在川中部雅安市和东部地区的巴中、达州、南充和广安,较低和低风险区主要位于四川省南部的攀枝花、成都地区、甘孜的西部和德阳等地区。

目前对四川省暴雨洪涝灾害风险评估的相关研究较少,将本文的研究结果与类似研究张菡等^[20]的相关成果进行对比后发现,二者在研究方法上存在以下3个不同:(1)所选取参考因子不同。张菡等建立的模型从致灾因子、孕灾环境、承灾体易损性、抗灾能力4个方面进行了讨论,本文则将前者归为抗灾能力的参考指标因子,将地区承灾体易损性与抗灾能力合并讨论,并选取了与前人不相同的各参考因子进行建模讨论,相对更全面;(2)所采用数据处理方式不同。本

文与张菡等建立的模型共同使用了层次分析法对所选参考指标因子进行权重的初步判定,但对于各项指标因子的处理方式有着较大区别。对于降水的影响,前人使用百分位法判定临界致灾降雨量,而本文使用熵权法,选取累计降水天数、最大降水量、最大降水天数对降水因子进行分析,相对指标更全面。同时,本文利用指标标准化法将各参考指标因子的数值进行统一,更便于建模讨论;(3)所构建模型各项指标因子所占权重比例不同。由于所选参考因子和对数据的处理方法不同,最终结合实际情况所确定各参考指标因子的权重也与张菡等的不同。虽然在研究方法和研究时间尺度(张菡等的研究尺度为1961–2010年)上存在不同,但二者获得的关于四川省暴雨洪灾灾害综合风险的区划结果除了在部分地区存在风险等级的区划差异外,基本大致相同,具有一定的可信度。

总之,区域暴雨洪涝灾害风险区划涉及一个复杂且综合的模型构建,其影响因素不仅涉及自然因子,还与社会发展的产业方向形式、社会环境演化进程和社会经济发展结构等息息相关。人类经济生活影响着自然环境与栖息地,两者相互依存、缺一不可,当下对应灾害风险区划的研究即是对人类与自然更和谐共处的探讨。本文所建立的模型仅是对四川省暴雨洪涝灾害风险评估研究的一次尝试,后续有待对影响因子做更细致和全面的调查研究。

参考文献:

- [1] 葛全胜,邹铭,郑景云,等.中国自然灾害风险综合评估初步研究[M].北京:科学出版社,2008:6–8.
- [2] 韩平,程先富.洪水灾害损失评估研究综述[J].环境科学与管理,2012,37(4):61–64.
- [3] 杨金虎,李耀辉,王鹏祥.中国极端强降水事件年内非均匀性特征分析[J].自然资源学报,2007,22(4):623–633.
- [4] 高庆华,马宗晋,张业成.自然灾害评估[M].北京:气象出版社,2007:75–83.
- [5] Fohringer D, Dransch H K. Social media as an information source for rapid inundation mapping[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2015, 15(12):2725–2738.
- [6] Albuquerque J P D, Herfort B, Brenning A, et al. A geographic approach for combining social media and authoritative data towards identifying useful information for disaster management[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2015, 29(4):667–689.
- [7] Wiecek G F. Evaluating Danger Landslide Catalogue map[J]. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 1984, 1(1):337–342.
- [8] 李军玲,刘忠阳,邹春辉,等.基于GIS的河南省洪涝灾害风险评估与区划研究[J].气象,2010,36(2):87–92.
- [9] 徐海亮.六十年来西南地区气象干旱及气候环境变化综述——西南旱涝形势变化的物理机制探讨[J].玉溪师范学院学报,2020,36(6):65–78.
- [10] 严志涛,李谢辉,刘子堂,等.气候变暖背景下西南四省市暴雨洪涝灾害风险变化[J].灾害学,2021,36(2):200–207.
- [11] 赵伟,黄婧,张智红.基于GIS的重庆市洪灾综合风险评估研究[J].西南师范大学学报(自然科学版),2017,42(2):34–42.
- [12] 梅勇,唐云辉,况星.基于GIS技术的重庆市暴雨洪涝灾害风险区划研究[J].中国农学通报,2011,27(32):287–293.
- [13] 罗培,张天儒,杜军.基于GIS和模糊评价法的重庆洪涝灾害风险区划[J].西华师范大学学报(自然科学版),2007(2):165–171.
- [14] 陈丁,肖天贵,敬枫蓉,等.四川区域性暴雨灾害预警与风险评估系统构建研究[A].中国气象学会.第32届中国气象学会年会S7水文气象预报最新理论方法及应用研究[C].中国气象学会,2015:2.
- [15] 甘薇薇,范江琳,肖天贵,等.四川省暴雨过程综合评估模型的研究及建立[J].冰川冻土,2017,39(6):1336–1344.
- [16] 鲜铁军.基于GIS的南充市暴雨洪涝农业气象灾害风险区划与评估[J].现代农业科技,2018(23):199–202.
- [17] 徐海亮.六十年来西南地区气象干旱及气候环境变化综述——西南旱涝形势变化的物理机制探讨[J].玉溪师范学院学报,2020,36(6):65–78.
- [18] 朱雅文,肖天贵,房玉洁.基于可拓理论的四川暴雨灾害风险评估模型[J].成都信息工程大学学报,2016,31(5):500–507.

- [19] 郭金玉,张忠彬,孙庆云. 层次分析法的研究与应用[J]. 中国安全科学学报,2008,189(5): 149–153.
- [20] 张菡,郭翔,王锐婷,等. 四川省暴雨洪涝灾害风险区划研究[J]. 中国农学通报,2013,29(26):165–171.

Risk Assessment of Rainstorm and Flood Disasters in Sichuan Province

PAN Yushan, LI Xiehui

(Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province, College of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China)

Abstract: In order to provide a scientific reference basis for construction of the rainstorm and flood disaster defense system in Sichuan Province and further improve the risk assessment of storm and flood disasters, the paper used the daily precipitation data based on 34 national meteorological observation stations evenly distributed in Sichuan Province from 1961 to 2017, as well as the economic and population data of each state and city. Precipitation and topography, which have obvious influence on rainstorm and flood, were selected as zoning factors, and the three major evaluation factors of disaster risk were analyzed and calculated by weight analysis methods, such as entropy weight and hierarchical analysis method, and the zoning models were established separately by ArcGIS to complete the risk assessment of rainstorm and flood disaster in Sichuan Province. The assessment model was from three aspects, including hazard of disaster-causing factors, sensitivity of disaster-inducing environment and vulnerability of disaster-bearing bodies. The results showed that: (1) High frequency of precipitation and high precipitation in Sichuan Province, the areas with high risk of disaster-causing factors were mainly concentrated in the central, south-central and southeastern parts of the region; (2) The eastern part of Sichuan is relatively flat, with a dense distribution of river networks and influenced by the distribution of rivers; the western part is relatively undulating, and the central-eastern part was more sensitive to flood disasters than the western part; (3) Ya'an city and northeastern Sichuan had high population density, high proportion of arable land and low per capita GDP, which made them less disaster resistant and less vulnerable to disasters; (4) Integrating the disaster-causing risk, sensitivity and disaster-bearing capacity of each region, Ya'an city in central Sichuan and some areas in the east were high-risk areas for heavy rainfall and flood disaster, while Panzhihua, Chengdu area, western Ganzi and Deyang in southern Sichuan were low and lower risk areas for heavy rainfall and flood disaster.

Keywords: applied meteorology; meteorological disasters; rainstorm and flood; risk assessment; AHP method; entropy weight method; Sichuan Province