

文章编号: 2096-1618(2023)05-0580-09

川西北生态示范区季节性干旱灾害风险评估

刘思雨, 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:为对川西北生态示范区季节性干旱灾害的防御体系建设提供科学的参考依据,进一步完善该区季节性旱灾风险评估工作,选取1990–2020年该区内16个气象站点的气温和降水日值数据、地理信息数据、甘孜和阿坝州内30个市县级社会经济数据等,从季节性干旱灾害的致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力4个方面选取了14个适合研究区特点的评估指标,通过计算SPEI值,利用层次分析和加权综合评价法等构建旱灾风险评估模型,基于自然灾害理论,对川西北生态示范区进行旱灾风险评估研究。结果表明:春旱灾害综合风险的高风险区主要位于东部和东北部地区,低风险区主要位于南部和北部部分地区,中部偏东地区为中等及以下风险区,西部为中等风险区;夏伏旱灾害综合风险的次高及以上风险区位于东部和东北部,北部和南部部分地区为低风险区,而西部和中部偏东地区为中等风险区;其中茂县、理县、汶川县、康定县和泸定县均为春旱和夏伏旱灾害的高风险地区,需要重点防范。

关键词:应用气象;气象灾害;SPEI指数;季节性干旱;风险区划;风险评估;川西北地区

中图分类号:P461

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcuit.2023.05.013

0 引言

干旱是许多极端天气气候灾害中影响范围最广,给人类造成经济损失最惨重,被看作是世界上最严重的自然灾害类型之一^[1]。常见的干旱类型可分为气象干旱、水文干旱、农业干旱以及社会经济干旱^[2–5],其中气象干旱是中国四大常见干旱类型的基础,其余三类干旱均是由于缺水等气象方面的因素而造成。据世界气象组织(WMO)统计,在所有自然气象灾害中,由气象引起的灾害比例达70%,其中干旱灾害约占气象灾害的50%以上^[6]。而根据四川省统计年鉴公布的受灾面积数据表明,1952–2020年四川省干旱受灾总面积达440,675 km²,占四川省总受灾面积的51.48%,表明旱灾占四川省气象灾害的一半以上,自2014年以来,四川省旱灾面积有明显减少,但干旱受灾率仍在半数以上。四川省的干旱通常不是由年降水量减少引起,大多是由于降水量的季节分配比例失调或空间分布不均而造成,主要以春旱、夏旱和伏旱为主^[7]。如2006年,由于季节性降水量的异常偏少,旱情波及全省21个市州,139个县市区,约占全省县级数的80%以上,共有53个县市区发生春旱、113个县市区发生夏旱、126个县市区发生伏旱,大部分地区伏旱期达40天以上^[8]。而据徐新创等^[9]统计的1997–2006年四川省农业干旱风险的损失

量,其中川西北地区因干旱造成的经济损失为0.34亿万元,约占全省的27.12%。

为解决干旱给人类带来的各方面问题,众多学者对于干旱灾害的风险评估、区域等级划分以及影响因子等进行研究,并取得了一定的进展。Smith^[10]认为风险是某种灾难发生的频率,可以从频率和损失着手,并在理论上提出了风险指数的计算模型;Blaikie等^[11]认为风险灾害是致灾因子危险性和承灾体暴露性两个因素相互作用的结果;姜逢清等^[12]通过统计学在理论上分析了新疆1950–1997年的洪旱灾害特征;王莺等^[13]利用灾害学理论和风险等级划分,通过选取合适的评估因子构建干旱灾害模型,评估和区划了甘肃省河东地区的干旱灾害风险等级;史培军^[14–17]和刘家福等^[18]通过对自然灾害理论的分析,提出灾害是由3个影响因素共同作用的结果;刘晓冉等^[19]利用自然灾害风险评估理论,构建了干旱灾害风险评估模型,并结合气象、社会经济和生态数据,运用ArcGIS空间分析技术完成了对重庆市不同季节的干旱灾害风险区划;蔡大鑫等^[20]、王胜等^[21]和朱晓晨等^[22]主要对自然灾害理论进行了研究和讨论,分析出风险是4个影响因子的相互作用,并通过构建干旱灾害风险评估模型,研究了其影响因素;辛高森等^[23]通过IPCC风险评估第五次报告提出的风险(risk)指数,构建了山东省潍坊市干旱灾害的风险评估模型,从而制作了其旱灾风险区划图;乌兰等^[24]以内蒙古51个牧业旗县为研究区,从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损

收稿日期:2022-06-22

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)

通信作者:李谢辉. E-mail:lixiehui@cuit.edu.cn

性和防灾减灾能力 4 个方面着手,利用自然灾害风险指数法、专家打分法、熵权系数法和层次分析法,通过构建牧业干旱灾害风险评估模型,完成了内蒙古牧区干旱灾害风险分布特征及区划;孙丽君等^[25]利用 AHP 法构建干旱灾害模型,从致灾因子危险性等 4 个方面选取合适的评估指标,再加权综合评价得到各因子权重,最后利用 ArcGIS 技术绘制出了云南省干旱灾害风险区划图;尹晗等^[1]通过西南地区降水指数和干旱频率的时空分布分析了中国西南地区干旱的发生规律以及产生机制;齐冬梅等^[26]利用 1961–2014 年四川省 115 个气象站点的逐日降水数据,通过计算各站历年各季节的 Z 干旱指数,再结合历史时期干旱灾害的灾情记录,用多种统计方法研究了四川干旱灾害致灾因子的时间变化和空间分布特征。

川西北生态示范区是四川省五大经济区之一,是四川省重要的草食畜牧业生产基地,林草地面积大,范围广,旅游资源密集丰富,但随着当前全球气候的不断变暖,极端气候事件进一步增多增强。该区所包括的阿坝州和甘孜州都位于青藏高原东南缘。其中阿坝州属于高原季风气候,境内垂直气候显著,冬春季节由于空气干燥,多阵性大风,干旱、霜、雪等各类灾害性天气频繁,夏季高山峡谷地带由于年蒸发量较高,低海拔河谷地带属于干旱半干旱区,常有夏旱发生。甘孜州是四川盆地西缘山地向青藏高原过渡的地带,所处地理纬度本属于亚热带气候区,但由于地势强烈抬升,地形复杂,深处内陆,绝大部分区域已失去亚热带气候特征,形成大陆性高原山地型季风气候,复杂多样,地域差异显著。近年来由于全球变暖,年平均气温与历年相比普遍偏高,每年春旱、夏旱和伏旱均有发生^[27–29]。本文利用川西北地区气象站点的逐日气温和降水、社会经济和地理信息数据,构建干旱灾害风险评估模型,绘制川西北地区干旱风险区划图,充分认识气候变暖背景下的川西北生态示范区干旱风险时空变化格局,从而推进该地防旱减灾体系基础设施建设,减少旱灾损失,为统筹推进川西北生态示范区为国家生态建设示范区提供科技支撑,具有重要的科学和应用价值。

1 资料和研究方法

1.1 研究区概况

川西北生态示范区位于四川省西北部,北靠青海省和甘肃省,西面与西藏自治区接壤,东边是四川盆地成都平原经济区和攀西经济区,南边与云南省相连接,主要包括阿坝藏族羌族自治州和甘孜藏族自治州,约占全

省总面积的二分之一。该区地形复杂多样,高山河谷相间分布,平均海拔在 3,500 m 以上,位于长江和黄河上游。区内人口相对稀少,且经济发展水平相对较低,人口密度不足 10 人/km²。2018 年,全区常住人口 214 万,城镇化率为 35%,低于全省平均水平,人均 GDP 为 2.8 万元/人,相当于全省平均水平的 57%^[30]。

1.2 数据资料

气象数据中的温度和降水来自于中国气象数据网 (<http://data.cma.cn/>) 所提供的逐日数据;地理信息数据包括来自于中国科学院资源环境数据云平台提供的甘孜和阿坝两大州县级行政边界、中国河网数据、2020 年土地利用遥感数据、分辨率为 90 m×90 m 的 DEM 高程数据以及 2020 年四川省的归一化植被指数 NDVI(normalized difference vegetation index)数据;2010–2021 年川西北地区各分县的耕地面积、有效灌溉面积、农林牧业总产值和财政收入等社会经济数据来自于四川省统计年鉴。图 1 是所选川西北生态示范区内 16 个气象站点和 DEM 的空间分布图。

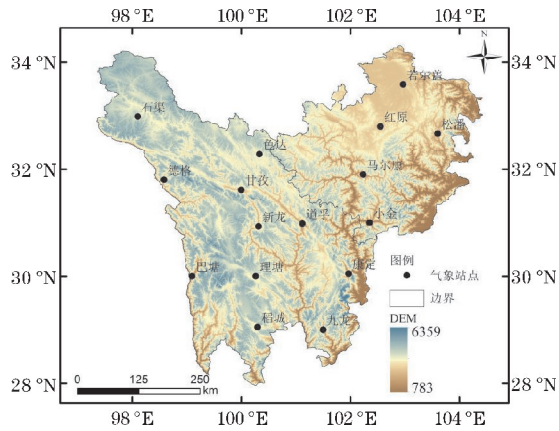


图 1 研究区气象站点和高程分布

1.3 研究方法

1.3.1 灾害风险评估模型

干旱灾害风险是致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力与干旱有关的影响因子相互作用的结果。风险指数可计算为各影响因子指数先乘以相对应的权重后再又乘,可通过选取能综合体现干旱灾害风险的评估指标进行分析。本文干旱灾害风险评估的计算公式为^[31]

$$Risk = W_h \cdot H \times W_e \cdot E \times W_v \cdot V \times W_r \cdot R$$

式中, Risk 为干旱灾害风险指数, H、E、V、R 分别代表致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力的风险指数, W_h、W_e、W_v、W_r 分别为致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力的权重。

1.3.2 AHP 层次分析法

AHP 是一个处理多目标问题的决策手段,可以实现定性和定量的分析,可通过将干旱风险评估模型中的指标构建成阶梯式层次结构,进行两两对比得到各评估指标的权重,是计算指标权重常用的方法^[32]。本文的目标层是川西北干旱灾害风险评估,将 4 个影响因素作为准则层,通过选择不同等级的干旱频率、植被指数、土地利用类型、人均 GDP、财政收入等多个评估指标作为指标层,最后计算出各指标层的权重。

1.3.3 加权综合评价法

加权综合评价法能通过综合考虑各种评价指标,适合于对各指标体系的综合评估。将各指标的权重与标准化值相乘再相加,最终可得出 4 个因子的综合评估结果,计算公式如下^[33]:

$$C_v = \sum_{i=1}^n w_{vi} y_{ci}$$

式中, C_v 为所有评估指标的综合评价结果, n 为指标个数, w_{vi} 表示第 i 个评估指标对应的权重, y_{ci} 是第 i 个评估指标的标准化值。

1.3.4 指标归一法

由于每个指标都有不同的量纲,无法直接进行比较,所以需要对指标进行归一化,方便对各指标进行比较。根据指标对各影响因子的作用不同可主要分为正向和负向两个指标类型。如干旱频率为正的指标,表明指标值越大,遭遇干旱灾害的风险越大;人均 GDP 为负的指标,结论则相反。选用最小值和最大值标准化法处理各指标数据,计算公式如下^[24]:

正向指标:

$$\text{data} = \frac{\text{原值}-\text{最小值}}{\text{最大值}-\text{最小值}}$$

负向指标:

$$\text{data} = \frac{\text{最大值}-\text{原值}}{\text{最大值}-\text{最小值}}$$

式中,data 为归一化后的标准数据,原值代表是没有经过处理的指标数据,最大(小)值为指标数据中的最大(小)值。

1.3.5 ArcGIS 空间分析

利用 ArcGIS 软件强大的空间分析能力对使用的栅格类型数据进行提取和重分类,将点数据插值到面数据,对各指标因子进行加权,利用自然断点法将计算结果值进行自动分级,并绘制研究区旱灾风险综合区划图。

2 结果与分析

2.1 干旱灾害风险评估体系的构建

从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体暴露

性、防灾减灾能力 4 个影响因子出发,选取表 1 中的 14 个评估指标,先通过归一化法对各评估指标进行标准化,再通过 AHP 法得到各评估指标的权重,最后利用加权综合评价法构建川西北生态示范区干旱灾害风险指标体系。

表 1 川西北生态示范区旱灾风险评估指标

干旱灾害风险评估因子	因子权重	指标	指标权重
致灾因子危险性	0.1459	轻旱频率	0.2228
		中旱频率	0.3221
		重旱频率	0.1645
		特旱频率	0.2906
孕灾环境脆弱性	0.1766	土地利用类型	0.2276
		NDVI	0.3381
		河网密度	0.2174
		地形起伏度	0.2169
承灾体暴露度	0.3855	人口密度	0.6498
		耕地比例	0.1326
		农林牧业总产值	0.2176
防灾减灾能力	0.2920	人均 GDP	0.4161
		有效灌溉面积	0.2743
		财政收入	0.3096

2.2 川西北地区旱灾风险评估

2.2.1 致灾因子危险性区划

致灾因子危险性指的是形成干旱灾害的自然环境因子对人类财产和各种活动产生的危害程度^[34]。由于 SPEI 具有月、季和年多时间尺度的优势,能够比较不同时间尺度的旱涝情势^[24],因此主要选取由 SPEI 干旱指数值作为干旱强度。根据强度大小统计出不同等级干旱强度发生的次数,也就是以 4 个不同等级(轻旱、中旱、重旱和特旱)的干旱频率作为评估指标,SPEI 干旱等级划分见表 2 所示。由于川西北地区的干旱具有季节性,因此选取干旱频发的春夏季进行研究,主要选取每年 3-5 月各等级的干旱频率作为春旱的评估指标,6-8 月的干旱频率作为夏伏旱的评估指标。干旱频率为正指标,若干旱发生的频率越高、则强度越强,代表危险性越高。

表 2 川西北地区 SPEI 干旱等级划分

等级	干旱类型	SPEI 阈值范围
1	无旱	-0.5<SPEI
2	轻旱	-1.0<SPEI≤-0.5
3	中旱	-1.5<SPEI≤-1.0
4	重旱	-2.0<SPEI≤-1.5
5	特旱	SPEI≤-2.0

利用 1990–2020 年逐日气温和降水数据计算出的 SPEI 值,先利用站点栅格数据插值到面上,再分别计算出春旱和夏伏旱两个时期各分县的轻旱、中旱、重旱、和特旱频率,然后通过 AHP 法计算出各指标的权重,最后利用加权综合评价和指标归一化法,以及 Arc-GIS 技术绘制出川西北地区春旱和夏伏旱致灾因子危险性区划图 2。

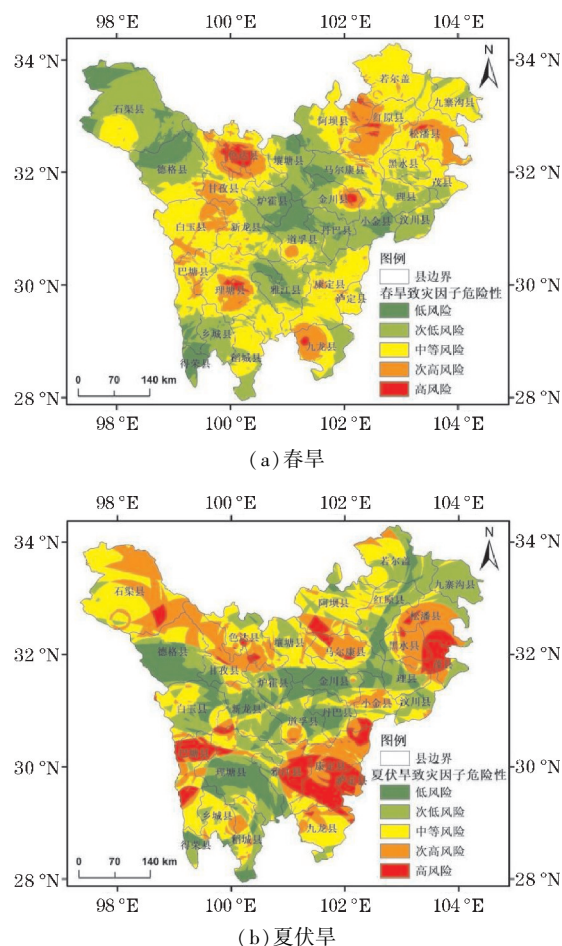


图 2 春旱、夏伏旱致灾因子危险性区划图

由图 2(a)可知,北部大部分地区位于中等及以上风险区,西北部为次低风险区,南部为中等及以下风险区,东北部位于中等及以上风险区,而位于甘孜和阿坝州交界附近的几个县则处于低风险区。其中,低和次低风险区分布在石渠县、德格县中部以及西北部、壤塘县、马尔康县西部、金川县大部、丹巴县、道孚县、小金县、理县、汶川县、黑水和茂县小部分地区、乡城、得荣以及稻城和九龙少部分地区;次高和高危险区分布在大部分色达县、甘孜县南部、新龙西北部、白玉东北部、理塘中部、九龙县、金川东部、阿坝东部、红原中南部和松潘中部地区。

由图 2(b)可知,夏伏旱危险区表现出东部高于西部,北部高于南部的特点;北部处于中等及以上风险区,西北为中等和次高风险区,南部为次低风险区,东北部致灾因子危险区分布复杂,五种风险等级均有,中

部为低风险区。其中,分布在德格县、白玉县、新龙县、理塘县、炉霍县、道孚县、金川县、丹巴县、理县、九寨沟县、若尔盖和红原一大半地区为低和次低风险区;中等危险区主要分布在壤塘县、阿坝县、马尔康县、红原县、若尔盖县、九龙县、巴塘县和乡城县;高和次高危险区主要分布在石渠县、甘孜县、色达县、巴塘县、雅江县、康定县、泸定县、小金县南部、松潘县、黑水县和茂县。

2.2.2 孕灾环境脆弱性

孕灾环境脆弱性是指某地区受到干旱灾害威胁,外部环境对于干旱灾害或损害的敏感程度,灾害程度在同等强度的情况下,敏感性越高,干旱灾害所造成的破坏程度越严重,则相应的旱灾风险性就越大^[35]。本文选取适合孕灾环境因子的 4 个评估指标,分别是土地利用类型、河网密度、植被指数以及地形起伏度。通过综合考虑 4 个评估指标,绘制出川西北地区孕灾环境脆弱性分布如图 3 所示。

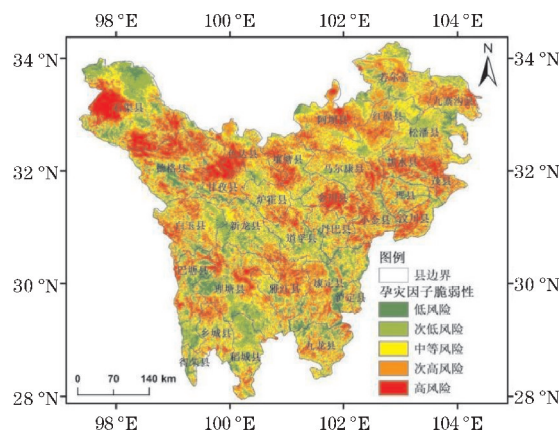


图 3 孕灾环境脆弱性区划图

可以看出,川西北地区孕灾环境脆弱性北部高于南部,北部大部分地区为次高及以上风险区,西北部高风险区分布较广,南部大部分地区为低风险区,东部和东北部以中等风险区为主,但也有部分地区为高风险区。其中石渠县、德格县、甘孜县、色达县、壤塘县、金川县、阿坝县、九寨沟县、红原县、茂县以及黑水县为脆弱性高风险区;白玉县、雅江县、小金县以及汶川县为脆弱性较高风险区;南部的新龙县、道孚县、理塘县、乡城县、稻城县、得荣县、九龙县、康定县、丹巴县以及理县为低和次低脆弱性风险区,但各县也零星分散着高脆弱性风险区。

2.2.3 承灾体暴露性区划

承灾体暴露性指的人类社会受到自然灾害时财物的损失程度。综合考虑研究区特点,选取人口密度、耕地面积比例和农林牧业总产值作为评估指标。人口财物越集中,受到损失的可能性越大,耕地面积越大,其农产品受到灾害损失会越多,造成的财产损失也就越多,受到干旱灾害的风险越高。相对川西北地区东部

和东北部人口密度大,东部和东北部的耕地比例高于西部和南部。基于 ArcGIS 技术绘制的川西北地区承灾体暴露性区划分布见图 4。

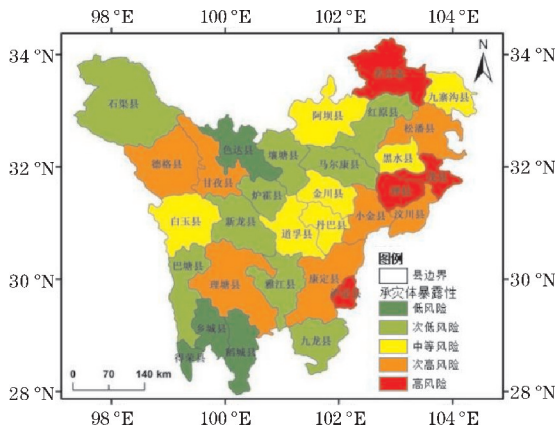


图 4 承灾体暴露性区划图

结果表明,承灾体暴露性东部高于西部,北部高于南部,北部大部分地区为次低及以下风险区,除石渠县外,西北部位于中等及以上风险区,南部大部分地区位于次低及以下风险区,东部和东北部处于次高及以上暴露风险区。其中,高暴露风险区位于泸定县、理县、茂县和若尔盖县;次高暴露风险区位于理塘县、德格县、甘孜县、康定县、小金县、汶川县以及松潘县;中等暴露风险区分布在中部的道孚县、丹巴县、金川县以及东北部的阿坝县、黑水县、九寨沟县以及白玉县;位于西北部的石渠县、北部的壤塘县、炉霍县、马尔康县、红原县、南部的雅江县、巴塘县和九龙县为次低暴露风险区;位于北部的色达县和南部的得荣县、乡城县、稻城县为低暴露风险区。

2.2.4 防灾减灾能力风险区划

防灾减灾能力是指受灾地区对灾害的抵御和恢复能力,包括预警、监测和治理能力,防灾减灾能力为负向指标,权重值越大,干旱灾害的风险越小^[36]。考虑四川省西北地区的财政状况和灌溉情况,选取人均 GDP、有效灌溉面积比例、财政收入为评估指标,具体的防灾减灾能力区划见图 5 所示。

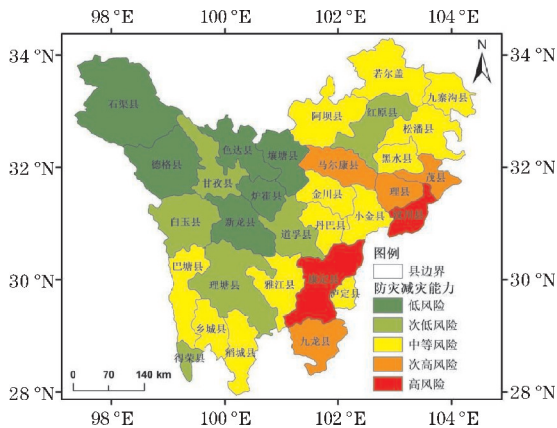
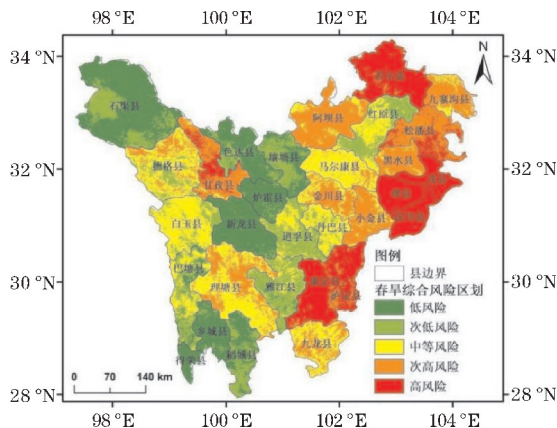


图 5 防灾减灾能力风险区划图

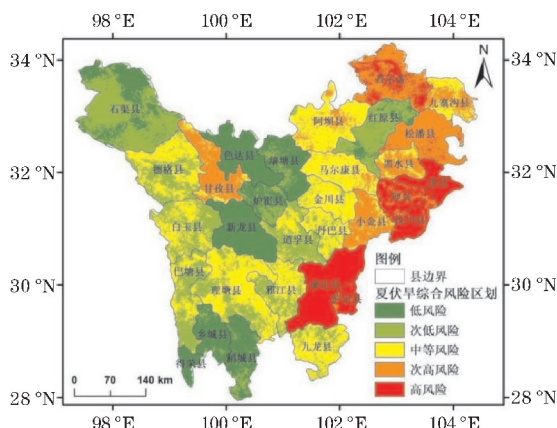
可以看出,防灾减灾能力风险分布为东部和南部高于西北部,东北部和东部大部分地区位于中等及以上防灾减灾能力风险区,北部和西北部位于低防灾减灾能力风险区,南部为中等及以下防灾减灾能力区。川西北地区防灾减灾能力风险最高的地区是康定县和汶川县;其次防灾减灾能力风险为次高的地区位于南部九龙县和东部的马尔康县、理县以及茂县;而位于西北部的石渠县、德格县、新龙县、炉霍县、色达县以及壤塘县为次低防灾减灾能力风险区;甘孜县、白玉县、理塘县、道孚县、红原县以及南部的得荣县为低防灾减灾能力风险区。

2.2.5 干旱灾害风险综合区划

根据构建的干旱灾害风险评估模型,综合考虑致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力 4 个因子的评估指标,将川西北干旱灾害风险划分为低、次低、中等、次高以及高风险区 5 个风险区,并分别绘制了春旱和夏伏旱两个季节的风险综合区划图如图 6 所示。



(a) 春旱



(b) 夏伏旱

图 6 春旱和夏伏旱灾害风险综合区划图

由图 6(a)可以看出,春旱的灾害风险性东部高于西部,北部和南部大部分地区为低风险区,西北地区为中等及以下风险区,东部和东北部为次高及以上风险

区,中部偏西和南部为低、次低干旱灾害风险区。其中,若尔盖、理县、茂县、汶川、康定、泸定、黑水、九寨沟、阿坝、甘孜、小金和松潘为干旱灾害风险次高及以上风险区。究其原因,首先,这些地区降水少,是春旱致灾因子危险性的次高和高风险区;同时,这些地区位于四川盆地与川西高原的交界处东北部,以山地丘陵为主,起伏度悬殊小,河网分布较少且分布不均,孕灾环境脆弱性为次高及以上风险区;另外,该区人口密度大,耕地比例也高于其他地区,农林牧业总产值较高,承灾体高暴露性区也大部分位于此区;最后,该区人均GDP较低,且财政收入也是低于平均水平,灌溉土地面积率低,处于中等及以上防灾减灾能力风险区,防灾减灾能力较弱。综合这些因素,得出这些地区为干旱灾害的高和次高风险区。

德格县、白玉县、理塘县、丹巴县、马尔康县以及九龙县为干旱灾害的中等风险区。该区首先降水较少,温度偏低,地形环境复杂,土地利用效率较低,是致灾因子危险性和孕灾环境脆弱性中等及以上风险区;另外,该区人口密度与东部相比较低,耕地面积比例较高,达到次高风险水平,农林牧业总产值也较高,承灾体暴露性达到中等风险水平及以上;最后,该区的灌溉面积率处于平均水平,财政收入处于中等及以下风险水平,防灾减灾能力也处于中等及以下防灾减灾风险区。综合这些因素,得出这些地区为干旱灾害的中等风险区。

石渠县、色达县、壤塘县、炉霍县、新龙县、道孚县、雅江县、乡城县、稻城县、得荣县和红原县位于干旱灾害的次低和低风险区。该区大部分干旱频率处于中旱和无旱,春旱致灾因子危险区处于中等及以下风险区;植被覆盖率高,地势高低悬殊大,农林牧用地广,土地利用效率低,属于中等及以下孕灾环境脆弱区;人口密度偏低,耕地比例偏低,农林牧业产值也在平均水平以下,承灾体暴露性达到次低水平及以下;该地区人均GDP较高,灌溉面积率处于中等水平以上,除稻城县、乡城县、雅江县的防灾减灾能力处于次高风险区外,其余均位于次低及以下防灾减灾风险区,有较高预防灾害的能力。综合这些因素,得出这些地区为干旱灾害的次低和低风险区。

由图6(b)可以看出,夏伏旱的灾害风险区中北部为中等和低风险区,东部和东北部为高和次高风险区,西北部为中等及以下风险区,西部以及中部偏东地区主要为中等干旱灾害风险区,中部偏西及南部为低和次低风险区。其中,九寨沟县中部、若尔盖县、松潘县、黑水县、甘孜县、以及小金县位于干旱灾害的次高风险区;理县、茂县、汶川县、康定县、泸定县和若尔盖中部为干旱灾害的高风险区。这些地区降水少,温度高,夏

伏旱致灾因子的危险性在中等及以上;同时位于高原边界,地势较低,地起伏度较陡峭,河流分布较少,区内多峡谷,植物类型繁多,有利于保持土壤水分体积含量,植被指数较高,但土地利用效率较低,孕灾环境脆弱性较高,处于中等脆弱性及以上风险区;另外,该区人口密度大,耕地面积比例较低,农林牧业总产值高于平均水平,承灾体暴露性处于处于高风险区;人均GDP较低,灌溉面积率处于平均水平以下,财政收入状况较差,防灾减灾风险为中等及以上,该地区预防灾难的能力较低。综合这些因素,得出这些地区为干旱灾害的高风险区。

阿坝县、理塘县、丹巴县、金川县、雅江县、马尔康县以及九龙县位于干旱灾害的中等风险区。该区降水少,温度较高,发生中旱和重旱的频率高,海拔高度较高,地形坡度较为平缓,以林草地为主,是致灾因子和孕灾环境脆弱性中等及以下风险地区;人口密度达到中等,耕地面积比例较高,达到次高水平,农林牧业总产值位于平均水平,人均GDP和经济收入处于中等水平,灌溉面积率较大,承灾体暴露性和防灾减灾风险处于中等水平及以下。综合这些因素,可以看出这些地区为干旱灾害的中等风险区。

石渠县、色达县、壤塘县、炉霍县、新龙县、道孚县、乡城县、稻城县、得荣县、德格县、白玉县、巴塘县和红原县处于干旱灾害的次低和低风险区。该区的干旱受灾的程度处中旱和轻旱,该地区降水高于平均水平,温度适宜,春旱和夏伏旱致灾因子危险性均处于次低及以下;植被覆盖率高,农林牧用地广,土地利用效率低,处于孕灾脆弱性中等及以下风险区;人口密度偏低,耕地比例低,农林牧业总产值低于平均水平,承灾体暴露性达到中等水平及以下;该地区人均GDP和财政收入达到较高水平,土地灌溉面积率较大,除了稻城县、乡城县、巴塘县的防灾减灾能力达到中等水平,其余地区防灾减灾能力都较高,处于次低及以下防灾减灾风险区。综合这些因素,可以得出该区为干旱灾害的次低和低风险区。

3 结论与讨论

根据自然灾害风险理论,本文选取川西北甘孜和阿坝两个州1990–2020年的日降水和日温度、社会经济和地理信息等数据,从致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露性、防灾减灾能力4个方面选取14个适合研究区特点的评估指标,通过AHP和加权综合评价法构建川西北地区干旱灾害风险评估模型,并对该区的季节性干旱风险进行综合评估,主要得出以下

结论:

(1)春旱、夏伏旱季节性干旱致灾因子危险性均是东部高于西部,高致灾因子危险区均位于东北部地区,中部与四周相比致灾因子危险性较低,西北部的色达县和甘孜县为干旱致灾因子的高危险区。

(2)孕灾环境脆弱性北部高于南部,西北部较东北部脆弱性偏高,其中,德格县、色达和甘孜县的脆弱性位于高风险区,东北地区的金川县、黑水县和茂县为次高孕灾环境脆弱性风险区,南部地区的得荣县、乡城县和稻城县的孕灾环境脆弱性处于中等及以下风险区。

(3)承灾体暴露性东部高于西部,中部地区暴露性比东西部地区低,其中若尔盖县、理县、茂县和泸定县为最高暴露性风险区,色达、乡城县、得荣县和稻城县为承灾体暴露性最低地区。

(4)防灾减灾风险分布为东部高于西部,南部高于北部,东北部和东部处于中等及以上防灾减灾风险区,西北地区防灾减灾能力高,处于低风险区,其中,康定县和汶川县位于高防灾减灾风险区,马尔康县、理县、茂县和九龙县为次高防灾减灾风险区。

(5)从川西北地区春旱、夏伏旱干旱灾害风险综合区划来看,东部地区风险最高,西部地区风险低,其中,茂县、理县、汶川县、康定县和泸定县均为春旱和夏伏旱的高风险区,而春旱与夏伏旱相比,春旱中等和次高干旱灾害风险区偏多,低风险地区基本一致。

王鹏等^[35]通过四川省159个站点的降水数据,利用层次分析法和ArcGIS软件中的克里金插值法构建四川省孕灾环境敏感性评估模型,并绘制四川省干旱孕灾环境敏感性分布图。其研究表明四川省孕灾环境敏感性是由东向西逐渐增加,甘孜和阿坝州均位于较高危险区及以上,其中川西北的东部和北部以及西北部风险达到最大。将此结果与本文的孕灾环境脆弱性区划图进行比较后发现存在部分差距,本文的高脆弱性区主要分布在东北部和西北部,南边均处于危险性较低的地区,而存在差距的原因可能与指标和时间尺度的选取不同,以及本文区分风险等级的值域范围更小有关,本文的结果相对能更明确和细致。

IPCC第六次评估报告AR6揭示,最近10 a(2011–2020年)的全球地表平均温度比2003–2012年(AR5评估的时间段)增暖 $0.19\text{ }^{\circ}\text{C}$,且最近40年中的每个10年的全球地表平均温度都相继比此前的任何一个10年要暖^[37]。AR6将全球干旱细分为农业生态干旱、气象干旱和水文干旱3种类型,其对这3类干旱自1950年以来观测的结果表明,东亚地区存在这三类干旱类型强度加重,范围增加的变化特点。而随着未来气候

的进一步增暖,AR6对未来干旱变化的预估得出,干旱在世界范围内的发生频率和强度将会增多和增强,影响范围将会随之扩大(高信度),但相比较而言,气象干旱的影响区域总体上要小于农业生态干旱的影响范围^[38–39]。Li等^[40]在对四川省1968–2017年极端气候事件的时空变化特征分析指出,四川省的气温在研究时段内以变暖趋势为主,是对全球气候变暖有正响应的地区,冷指数变暖或减少,暖指数变暖或增加,且川西地区的变化趋势大于东部地区,即高海拔地区受全球变暖的影响更大。同时,川西北高原地区的降水量呈现普遍增加趋势,中大雨和强降水事件增多。AR6还指出,干旱在不同区域上变化趋势的信度和归因结果差异很大,降水不是影响过去几十年全球尺度上干旱趋势的主要驱动因素(中等信度),只在少数区域主导干旱趋势^[37–39]。综合可知,未来川西北生态示范区的季节性干旱可能会随着气候变暖的持续进一步加剧,因此需要对该地的未来干旱进行更精细和具体不同情景下的预估,从而提高对易发频发地区干旱风险的预报和预警能力。

本文选取的SPEI干旱指数具有计算简单、稳定性好、多时间尺度等特点,但由于造成干旱的原因众多,该指数只考虑了降水、温度和潜在蒸散量数据,将SPEI指数值得出的干旱频率作为评估指标,也只能反映出一部分的致灾因子危险性,相对还不够全面,而制作的危险性区划图也会根据不同的选取指标有所差距。再加上现阶段构建的干旱灾害风险评估模型没有统一的评估指标,而构建模型的方法也是多种多样,因此会导致不同研究得出的旱灾风险综合区划图存在不同的结果和差距,这是目前该研究主题存在的问题,且在短时间内还无法解决。另外,由于可获取的数据有限,本文仅选择了14个评估指标来进行旱灾风险评估,相对来说指标还较少,研究不够全面,希望在后续的研究中,能有更多更好的研究方法和综合统一全面的评估模型,从而能够进行更细致和更全面的研究,力争通过制作精准的区划图能有效减少川西北生态示范区季节性干旱带来的社会经济等各方面损失。

参考文献:

- [1] 尹晗,李耀辉.我国西南干旱研究最新进展综述[J].干旱气象,2013,31(1):182–193.
- [2] World Meteorological Organization. Drought monitoring and early warning: Concepts, progress and future challenges[J]. World Meteorological Organization(WMO),2006,1006:26.

- [3] Keyantash J, Dracup J A. The quantification of drought: An evaluation of drought indices[J]. Bull Amer Meteorol Soc, 2002, 83: 1167-1180.
- [4] Richard R, Heim J. A review of twentieth - century drought indices used in the United States[J]. Bull Amer Meteorol Soc, 2002, 83: 1149-1165.
- [5] Wilhite D A. Drought as a natural hazard: Concepts and definitions[A]. Droughts: A Global Assessment [M]. D A Wilhite, Ed. Routledge, 2000: 3-18.
- [6] 秦大河, 丁一汇, 王绍武, 等. 中国西部生态环境变化与对策建议[J]. 地球科学进展, 2002, 17(3): 314-319.
- [7] 杨素雨, 张秀年, 杞明辉, 等. 2006 年夏季西南地区东部特大干旱及其大气环流异常[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2011, 33(3): 317-324.
- [8] 雷刚旭, 李忠成, 谢学成, 等. 2006 年四川省特大干旱成因和水情分析[J]. 四川水利, 2007(4): 37-41.
- [9] 徐新创, 葛全胜, 郑景云, 等. 区域农业干旱风险评估研究——以中国西南地区为例[J]. 地理科学进展, 2011, 30(7): 883-890.
- [10] Smith K. Environmental Hazards Assessing Risk and Reducing Disaster [M]. New York: Routledge, 1996.
- [11] Blaikie P, Cannon T. Risk: Nature Hazard. People's Vulnerability and Disasters [M]. London, U K: Rutledge, 1994: 147-167.
- [12] 姜逢清, 朱城, 胡汝骥. 新疆 1950-1997 年洪旱灾害的统计与分形特征分析[J]. 干旱气象, 2013, 31(1): 43-48.
- [13] 王莺, 王劲松, 姚玉璧. 甘肃省河东地区气象干旱灾害风险评估与区划[J]. 中国沙漠, 2014, 34(4): 1115-1124.
- [14] 史培军. 灾害研究的理论与实践[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 1991: 37-42.
- [15] 史培军. 再论灾害研究的理论与实践[J]. 自然灾害学报, 1996, 5(4): 8-19.
- [16] 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.
- [17] 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.
- [18] 刘家福, 李京, 梁雨华, 等. 亚洲典型区域暴雨洪灾风险评价研究[J]. 地理科学, 2011, 10: 1266-1271.
- [19] 刘晓冉, 康俊, 王颖, 等. 基于 GIS 的重庆地区不同季节干旱灾害风险评估与区划[J]. 自然灾害学报, 2019, 28(2): 92-100.
- [20] 蔡大鑫, 张京红, 田光辉, 等. 海南省暴雨洪涝灾害风险评价季区划研究[J]. 气象研究与应用, 2010, 31: 52-54.
- [21] 王胜, 田红, 谢五三. 基于 GIS 技术的台风灾害风险区划研究——以安徽省为例[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(1): 161-166.
- [22] 朱晓晨, 高瑒, 高佳琦, 等. 基于 GIS 的区县级暴雨洪涝风险评估方法[J]. 热带地理, 2014, 5: 704-711.
- [23] 辛高森, 朱晓晨, 邱新法, 等. 基于 GIS 的干旱灾害风险评估与区划研究——以山东省潍坊市为例[J]. 科技通报, 2016, 32(12): 221-227.
- [24] 乌兰, 王海梅, 刘昊. 内蒙古牧区干旱灾害风险分布特征及区划[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 1070-1076.
- [25] 孙丽君, 李谢辉. 气候变暖背景下云南省旱灾风险区划研究[J]. 成都信息工程大学学报, 2021, 36(4): 443-450.
- [26] 齐冬梅, 李跃清, 王莺, 等. 基于 Z 指数的四川干旱时空分布特征[J]. 干旱气象, 2017, 35(5): 734-744.
- [27] 甘孜州地方志办公室主编. 甘孜州年鉴[M]. 北京: 方志出版社, 2012-2015.
- [28] 甘孜藏族自治州统计局和国家统计局甘孜调查队编. 甘孜州统计年鉴[M]. 北京: 方志出版社, 2020.
- [29] 阿坝州地方志办公室主编. 阿坝州年鉴[M]. 北京: 新华出版社, 2016-2020.
- [30] 四川省统计局和国家统计局四川调查队编. 四川统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [31] IPCC WG II. The contribution to the IPCC's fifth assessment report (WGII AR5) [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [32] 何斌, 王全九, 吴迪, 等. 基于主成分分析和层次分析法相结合的陕西省农业干旱风险评估[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 219-227.
- [33] 李红英, 张晓煜, 曹宁, 等. 两种干旱指标在干旱致灾因子危险性中的对比分析——以宁夏为例[J]. 灾害学, 2010, 27(2): 58-61.
- [34] 何娇楠, 李运刚, 李雪, 等. 云南省干旱灾害风险评估[J]. 自然灾害学报, 2016, 25(5): 37-45.
- [35] 王鹏, 王婷, 周斌, 等. 四川省干旱灾害孕灾环境敏感性研究[J]. 现代农业科技, 2014, 24: 221-224.

[36]

陈振林. 我国气象防灾减灾能力建设与实践[J]. 阅江学刊,2013,5(3):21-25.

[37]

IPCC. Climate change 2021:the physical science basis [M/OL]. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wgl/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_Full_Report.pdf,2021-08-01.

[38]

周波涛,钱进. IPCC AR6 报告解读:极端天气气候事件变化[J]. 气候变化研究进展,2021,17(6):713-718.

[39]

姜大膀,王晓欣. 对 IPCC 第六次评估报告中有关于旱变化的解读[J]. 大气科学学报,2021,44(5):650-653.

[40]

Li X H,Chen Z F,Wang L. Analysis of the spatio-temporal variation characteristics of main extreme climate indices in Sichuan Province of china from 1968 to 2017[J]. Applied Ecology of Environmental Research,2020,18(2):3211-3242.

Risk Assessment of Seasonal Drought Disasters in Northwest
Sichuan Ecological Demonstration Area

LIU Siyu, 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 for the construction of the defense system for seasonal drought disasters in the northwest Sichuan ecological demonstration area, and to further improve the risk assessment of seasonal drought disasters in this region, this paper analyzes the temperature and precipitation daily data of 16 meteorological stations from 1990 to 2020, geographic information data, social and economic data of 30 cities and counties in Ganzi and Aba prefectures. In this analysis, 14 evaluation indicators suitable for the characteristics of the study area were selected from four aspects: seasonal drought disasters, the vulnerability of the disaster-pregnant environment, the exposure of disaster-bearing bodies, and disaster prevention and mitigation, and the drought risk assessment model was constructed by calculating the SPEI value, using AHP and weighted comprehensive evaluation method. The results show that the high-risk areas of the integrated risk of spring drought disasters were mainly located in the eastern and northeastern regions, the low-risk areas were mainly located in the southern and northern parts, the east-central region was the medium and lower risk areas, and the west was the medium-risk area. The second-highest and highest-risk areas of the integrated risk of summer drought disasters were located in the east and northeast, parts of the north and south were low-risk areas, and the west and east-central areas were medium-risk areas. Mao county, Li county, Wenchuan county, Kangding county and Luding county were high-risk areas of spring drought and summer drought disasters, which needs to focus on prevention.

Keywords: applied meteorology; meteorological disaster; SPEI index; seasonal drought; risk zoning; disaster risk; north-west Sichuan