

# Risk Analysis and Regionalization of Drought Disaster in Sichuan Province

Bing Xu, Xiehui Li, Yuting Xue

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan  
Email: 18702824524@163.com

Received: Jul. 4<sup>th</sup>, 2019; accepted: Jul. 17<sup>th</sup>, 2019; published: Jul. 24<sup>th</sup>, 2019

---

## Abstract

As a major province in southwest China, Sichuan Province has been affected by drought for a long time. Based on the theory of natural disaster risk, this paper selected 10 evaluation indicators from four aspects: hazard of disaster-causing factors, environmental sensitivity, vulnerability of disaster-bearing bodies and disaster prevention and mitigation ability, by using the daily precipitation data of 37 meteorological stations in Sichuan Province from 1977 to 2017, socio-economic data and geographic information data of 21 cities and states in Sichuan Province, and by calculating the standardized precipitation index (SPI), applying the analytic hierarchy process and weighted comprehensive evaluation method, a risk assessment model for drought disaster in Sichuan Province was constructed based on ArcGIS software, and comprehensive analysis and regionalization were completed for drought disaster risk. The results show that the risk of drought disaster is relatively high in central and eastern Sichuan Province including Chengdu, Deyang, Suining, Ziyang, Neijiang, Meishan, Zigong, Yibin, Guang'an, Mianyang, Leshan and Nanchong city; the risk of drought disaster is relatively low in western Sichuan, Luzhou city in southeastern Sichuan and Guangyuan and Bazhong city in northeastern Sichuan. The model can generally reflect the distribution of comprehensive drought risk in Sichuan Province, and is conducive to formulating and improving disaster prevention and mitigation measures, so as to actively avoid the risk of drought and reduce drought losses.

## Keywords

Drought Disaster, SPI Index, Risk Analysis, Risk Regionalization, Sichuan Province

---

# 四川省干旱灾害风险分析与区划

徐冰, 李谢辉, 薛雨婷

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都  
Email: 18702824524@163.com

收稿日期: 2019年7月4日; 录用日期: 2019年7月17日; 发布日期: 2019年7月24日

## 摘要

作为中国西南大省,四川省长期受到干旱灾害的影响。本文选用四川省37个气象站1977~2017年的逐日降水数据,四川省21市州的社会经济和地理信息数据,基于自然灾害风险理论,从致灾因子危险性、成灾环境敏感性、承灾体易损性和防灾减灾能力四个方面分别选取了10个评价指标,通过计算标准化降水指数SPI,利用层次分析和加权综合评价法,以ArcGIS 10.2为工具构建了四川省干旱灾害风险评估模型,并对四川省干旱灾害风险进行综合分析和区划。结果表明:四川中部及东部地区的成都、德阳、遂宁、资阳、内江、眉山、自贡、宜宾、广安、绵阳、乐山、南充市的旱灾风险偏高;四川西部地区、东南部的泸州和东北部的广元、巴中市旱灾风险偏低,多为低和较低风险区。构建的模型总体上可以反映四川省旱灾综合风险的分布情况,有利于制定和完善防灾减灾措施,从而主动规避旱灾风险,减少旱灾损失。

## 关键词

干旱灾害, SPI指数, 风险分析, 风险区划, 四川省

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

近年来,在全球气候变暖的背景条件下,干旱灾害日益严重,其发生的频率不断升高,影响范围也逐渐扩大。据世界气象组织(WMO)统计,在所有的自然灾害中,气象灾害的比例达70%,其中干旱灾害约占气象灾害的半数之多[1]。四川省地理环境分布复杂、水土资源分配不均、人口增长迅速、社会总需水量增加,构成了形成干旱灾害的基本背景,根据四川省统计年鉴中历史旱灾灾情资料记载,近年来四川省常年干旱缺水的农田占全省耕地面积的60%以上。1952~2017年间,四川省旱灾的受灾面积为4664.1万ha,占受灾总面积的55.42%,为受灾率最高的气象灾害。

干旱灾害风险的定义为自然环境与社会经济受干旱灾害影响和危害的可能性[2]。由自然灾害风险理论可知,干旱灾害风险(D)是致灾因子危险性(R)、成灾环境敏感性(S)、承灾体易损性(V)和防灾减灾能力(C)四个因子综合作用的结果[3]。当前国内外许多学者都对自然灾害风险评估进行了相关研究。如,Philip等人利用气象、农业和社会经济数据绘制了加纳地区受干旱灾害影响的分布图[4]。Shahid在GIS环境下,选取了7个自然及社会类评价指标,对孟加拉国西部地区的干旱灾害风险及综合干旱脆弱性进行了风险评估[5]。Hungsoo提出了以降水为基础的干旱发生概率和干旱脆弱性指数(DVI)、干旱危害指数(DHI),对韩国的干旱灾害进行了风险评估[6]。姚玉璧等通过建立评估指标,对中国南方干旱灾害风险特征进行分析,并提出旱灾防御对策[7]。徐玉霞等人基于GIS,从致灾因子危险性等四个方面对陕西省的干旱灾害风险进行了评估与区划分析[8]。何娇婧等将自然灾害风险理论与云南省实际情况相结合,进行了云南省的干旱灾害风险评估和区划[9]。王莺等依据相关的气象和社会数据等多方面因素,在GIS平台下做出了甘肃省河东地区的干旱灾害风险分析[10]。

从研究现状来看,对于干旱灾害风险,国内外目前都尚未形成较为标准的评估指标体系,因此在研究时,需要结合研究区域的自然环境特征、社会经济特征以及旱灾发生规律,建立符合当地的评价指标模型。本文基于自然灾害风险理论,采用气象数据、社会经济数据和地理信息数据,构建针对四川省的

干旱灾害风险评估模型，对四川省干旱灾害风险进行分析及区划，从而为旱灾风险管理提供科学依据，主动采取防灾减灾措施以规避旱灾风险，减少经济损失。

## 2. 数据来源与研究方法

### 2.1. 数据来源

气象数据：源于“中国地面气候资料日值数据集 V3.0-195101~201712-温度和降水”，为保证数据的完整性，从中选用四川省 37 个站点 1977~2017 的 41 年逐日降水和温度资料，见图 1。

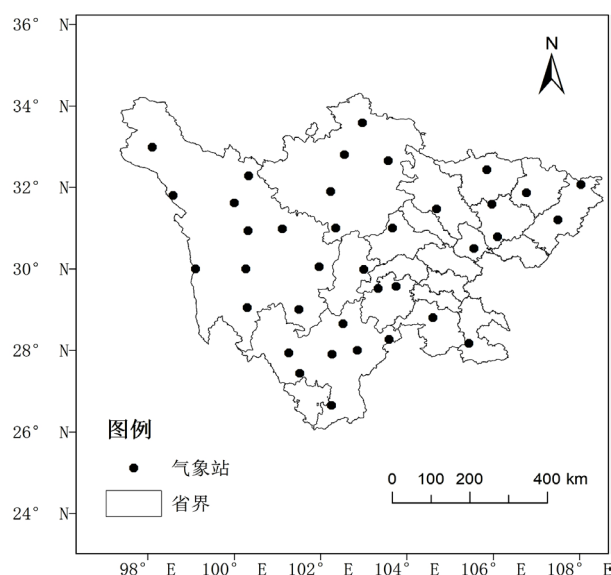


Figure 1. Geographical location of Sichuan Province and distribution of selected meteorological stations  
图 1. 四川省地理位置与所选气象站点分布

社会经济数据：源于《四川省统计年鉴》和《四川省水利统计年鉴》，本文选取截至 2017 年末，四川省 21 个市州的财政收入、耕地面积、常住人口、国民生产总值、粮食产量、灌溉面积及人均水资源量。

地理信息数据：从地球系统科学数据共享平台得到四川省地形高程数据(DEM)和 21 个市州的行政界线。

## 2.2. 研究方法

### 2.2.1. 灾害风险评估模型

灾害风险评估是评估灾害发生的形式和强度，定量地综合考虑  $R$ 、 $S$ 、 $V$ 、 $C$  这 4 个主要因子，而每个因子又包含一系列评估指标[11]。干旱灾害风险综合评估的表达式为：

$$D = R * wr + S * ws + V * wv + C * wc \quad (1)$$

式中， $D$  代表干旱灾害综合风险指数， $D$  的值越大代表干旱灾害的风险越大； $R$  代表旱灾的致灾因子危险性指数， $S$  为成灾环境敏感性指数、 $V$  是承灾体易损性指数， $C$  代表防灾减灾能力指数； $wr$ 、 $ws$ 、 $wv$ 、 $wc$  则分别为四个影响因子对应的权重。

### 2.2.2. 指标数据标准化

由于各评价指标的量纲和数量级不同，无法直接比较，所以首先应对其进行归一化处理。本文为了便于将数据在 ArcGIS 环境中进行可视化，选用最小 - 最大标准化法将数据均处理在[1,10]范围之内，公式如下[11]：

$$data = \frac{m - m_{\min}}{m_{\max} - m_{\min}} * 9 + 1, (m \text{ 为正指标})$$

$$data = \frac{m_{\max} - m}{m_{\max} - m_{\min}} * 9 + 1, (m \text{ 为负指标})$$
(2)

式(2)中, data 为归一化后的标准数据,  $m$  为归一化前指标数据,  $m_{\min}$  为  $m$  的最小值,  $m_{\max}$  为  $m$  的最大值。

### 2.2.3. AHP 层次分析法

AHP 是一种针对多目标的, 定量与定性并存的决策分析方法, 通过建立递阶指标层次结构, 两两比较, 从而得出各指标的权重, 是干旱灾害风险评估中常用确定因子权重的方法[12]。本文将四川省干旱灾害风险定为目标层, 将致灾因子危险性等四个影响因子定为准则层, 指标层则选择干旱频率、干旱强度、人口密度、耕地率及人均水资源量等多个指标, 通过 AHP 法确定各层指标因子的权重。

### 2.2.4. 加权综合评价法

加权综合评价法是将每个评价指标的权重与对应量化值相乘, 再相加得到综合评价, 公式如下[13]:

$$C_{vj} = \sum_{i=1}^m Q_{vij} W_{ci}$$
(3)

式中,  $C_{vj}$  为评价因子的综合值,  $Q_{vij}$  为对于因子  $j$  的指标  $i$  ( $Q_{vij} \geq 0$ );  $W_{ci}$  为指标  $i$  对应的权重值 ( $0 \leq W_{ci} \leq 1$ );  $m$  为评价指标的个数。

### 2.2.5. GIS 空间分析

基于 GIS 技术, 对 DEM 高程数据进行提取和重分类, 建立属性数据与图形数据的关联, 再利用栅格计算器进行影响因子和评估指标的综合加权, 对所得结果进行自然断点法自动分级。

## 2.3. 评价指标体系的建立

通过查阅国内外对旱灾风险评估的相关研究资料, 针对四川省特殊的自然地理环境、社会经济背景和旱灾发生特点, 结合资料的可获得性, 在专家学者的建议及指导下, 对四川省干旱灾害 4 个影响因子的评价指标进行筛选, 经归一化处理后采用层次分析法确定了各层因子的权重, 结果如表 1 所示。

**Table 1.** Weights of drought disaster risk assessment indicators

**表 1.** 干旱灾害风险评估指标权重

| 评估因子    | 因子权重 | 指标     | 指标权重 |
|---------|------|--------|------|
| 致灾因子危险性 | 0.4  | 干旱强度   | 0.75 |
|         |      | 干旱频率   | 0.25 |
| 成灾环境敏感性 | 0.2  | 地形     | 0.78 |
|         |      | 人均水资源量 | 0.22 |
| 承灾体易损性  | 0.3  | 人口密度   | 0.22 |
|         |      | 经济密度   | 0.12 |
|         |      | 耕地率    | 0.25 |
|         |      | 粮食单产   | 0.41 |
| 防灾减灾能力  | 0.1  | 财政收入   | 0.24 |
|         |      | 有效灌溉率  | 0.76 |

### 3. 干旱灾害风险影响因子分析

#### 3.1. 致灾因子危险性

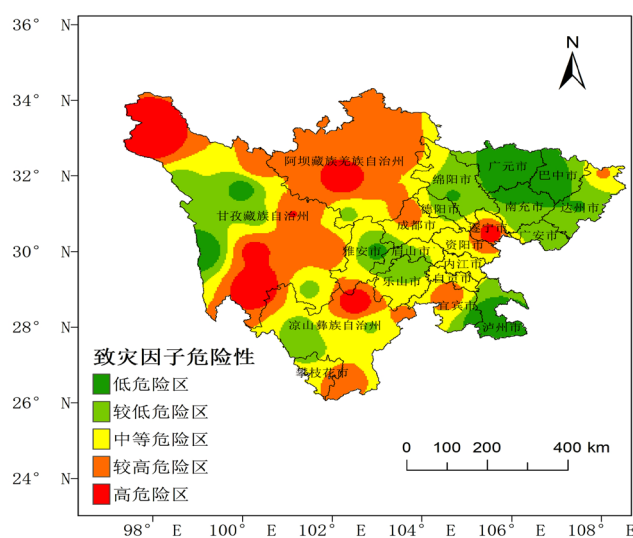
致灾因子危险性(R)是指形成旱灾的危险因子对人类社会的危害程度,本文选取干旱强度和干旱频率两个评价指标。参考国内外众多学者对各干旱指数优缺点的对比,标准化降水指数 SPI 具有计算简单且稳定性高的优点,可以针对不同时间尺度进行计算,广泛应用于干旱研究中,因此本文选用 SPI 来反映干旱频率和强度。干旱强度由 SPI 值来区分,详见表 2,干旱频率则为各站点轻旱及以上等级的干旱灾害发生的频率。

**Table 2.** Drought categories corresponding to different SPI values

**表 2.** 不同 SPI 值对应的干旱类别

| SPI                           | 干旱类别 |
|-------------------------------|------|
| $0.5 \leq \text{SPI}$         | 湿润   |
| $-0.5 < \text{SPI} \leq 0.5$  | 正常   |
| $-1.0 < \text{SPI} \leq -0.5$ | 轻旱   |
| $-1.5 < \text{SPI} \leq -1.0$ | 中旱   |
| $-2.0 < \text{SPI} \leq -1.5$ | 重旱   |
| $\text{SPI} \leq -2.0$        | 特旱   |

基于加权综合评价法,利用 ArcGIS 10.2 中的 Raster Calculator 模块,综合干旱频率和干旱强度,计算可得致灾因子危险性指数(R),利用自然断点法将其分为 5 个危险区: $R \geq 6.52$  为高危险区,  $5.51 \leq R < 6.52$  为较高危险区,  $4.65 \leq R < 5.51$  为中等危险区,  $3.62 \leq R < 4.65$  为较低危险区,  $R < 3.62$  为低危险区,得到致灾因子危险性的空间分布图 2。由图可知,高、较高危险区主要位于阿坝州、甘孜州的西北部及东南部、凉山州东北部和遂宁市;低、较低危险区则主要位于以绵阳、南充、广安一线为界的川东北地区、川东的泸州、川中的雅安东北部、眉山西南部及乐山北部和川西的甘孜州西部地区。总体来看,四川省大部分市州的致灾因子危险性在中等及以上等级,危险性偏高。



**Figure 2.** Risk zoning of drought disaster-causing factors

**图 2.** 干旱灾害致灾因子危险性区划

### 3.2. 成灾环境敏感性

成灾环境敏感性(S)受地形地貌、土地利用类型、河网、水文等多个自然因素的影响,其代表了环境对旱灾的响应能力,成灾环境敏感性越高,旱灾风险越大[14]。运用 ArcGIS 的空间分析功能并利用自然断点法分为五级:  $S \geq 6.20$  为高敏感区,  $5.33 \leq S < 6.20$  为较高敏感区,  $4.58 \leq S < 5.33$  为中等敏感区,  $3.77 \leq S < 4.58$  为较低敏感区,  $S < 3.77$  为低敏感区,得到成灾环境敏感性的空间分布图 3。可以看出,四川省的成灾环境敏感性在总体上有东高西低的趋势。川东地区多为平原和丘陵,地形平缓、人口密集,且人均可利用水资源量较低,故成灾环境敏感性偏高;而川西地区多为高原和山区,人口密度小,人均水资源量大,成灾环境的敏感性则偏低。

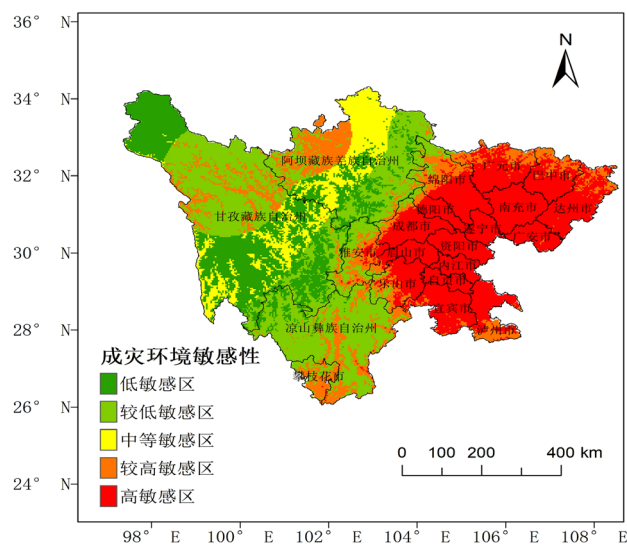


Figure 3. Environmental sensitivity regionalization of drought disaster  
图 3. 干旱灾害成灾环境敏感性区划

### 3.3. 承灾体易损性

承灾体易损性(V)与承灾体暴露于灾害中的密度和面积有关,人口密度、经济密度、耕地率等都对承灾体易损性有影响,承灾体易损性的高低与旱灾风险的大小成正比[15]。本文结合四川省的社会背景条件,考虑资料的可获取性,首先选择人口密度、经济密度、耕地率和粮食单产作为 V 的评估指标,然后采用综合加权评价法,结合各个指标的权重系数和量化值进行计算,得到承灾体易损性指数(V),由自然断点法分级得:  $V \geq 5.82$  为高易损区,  $4.85 \leq V < 5.82$  为较高易损区,  $3.78 \leq V < 4.85$  为中等易损区,  $2.56 \leq V < 3.78$  为较低易损区,  $V < 2.56$  为低易损区,从而得到四川省干旱灾害承灾体易损性的空间分布图 4。可以看出,四川省旱灾承灾体易损性在总体上具有自西向东逐渐增大的趋势,高、较高易损区主要分布在川中及川东地区,如德阳、成都、眉山、资阳、遂宁、广安、内江、自贡、宜宾、泸州的承灾体易损性最高,而川西地区的甘孜州和阿坝州西部易损性最低;川东地区的人口密度、经济密度、耕地率及粮食单产均较大,故易损性较高;而川西地区人口密度和经济密度偏小、耕地率和粮食单产都较低,故易损性较低。

### 3.4. 防灾减灾能力

防灾减灾能力(C)是包括气象灾害监测、预报预警和风险管理等方面在内的应对灾害的能力,防灾减灾能力越高,旱灾风险越小[16]。本文结合四川省社会经济状况和灌溉条件,选取财政收入和有效灌溉率



为防灾减灾能力评估指标。基于 GIS 空间分析功能, 利用自然断点法对防灾减灾能力予以分级:  $C \geq 7.11$  为高防灾减灾能力区,  $5.75 \leq C < 7.11$  为较高防灾减灾能力区,  $4.33 \leq C < 5.75$  为中等防灾减灾能力区,  $2.87 \leq C < 4.33$  为较低防灾减灾能力区,  $C < 2.87$  为低防灾减灾能力区, 得到防灾减灾能力空间分布图 5。可以看出, 高、较高防灾减灾能力区主要分布在川中及川东的成都、遂宁、内江、德阳、资阳、自贡和眉山市, 这些地区有效灌溉率和财政收入均偏高, 故防灾减灾能力偏高; 而川西的甘孜、阿坝、川南的凉山州和川东北的广元、巴中、达州的有效灌溉率和财政收入水平均较低, 防灾减灾能力偏低。

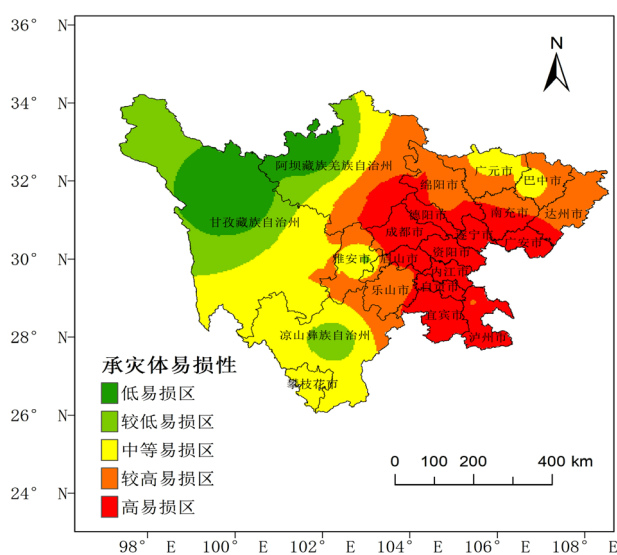


Figure 4. Hazard bearing body vulnerability zoning of drought disaster  
图 4. 干旱灾害承灾体易损性区划

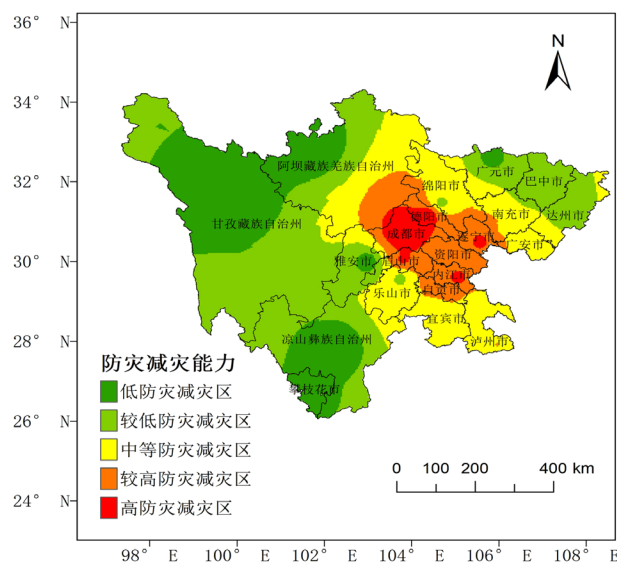


Figure 5. Division of disaster prevention and mitigation  
图 5. 干旱灾害防灾减灾能力区划

#### 4. 干旱灾害风险综合评估

根据灾害风险评估模型, 综合旱灾的致灾因子危险性、成灾环境敏感性、承灾体易损性和防灾减灾

能力对四川省干旱灾害风险进行综合评估, 根据式(1), 利用 ArcGIS 中的栅格计算器计算可得四川省干旱灾害风险指数(D), 并利用自然断点法将其分为五个等级:  $D \geq 5.71$  为高风险区,  $5.07 \leq D < 5.71$  为较高风险区,  $4.51 \leq D < 5.07$  为中等风险区,  $3.81 \leq D < 4.51$  为较低风险区,  $D < 3.81$  为低风险区, 得到四川省干旱灾害风险分布图 6。由图可知, 四川省中、东部的成都、眉山、资阳、自贡、乐山、德阳、遂宁及宜宾市由于其地形平缓、耕地率大、经济发达、人口密度大, 加之人均可利用水资源量较小, 导致干旱灾害风险偏高。川西地区多为高原和山地地形, 人口稀疏, 农业经济水平低, 且人均可利用水资源量较高, 故其干旱灾害风险均偏低, 多为中等以下风险区, 少有较高和高等风险区。川东北部的广元和巴中地区, 人口密度偏小、耕地率和粮食单产较低, 故干旱灾害风险较低。从总体上看, 川中、东部地区干旱灾害风险偏高, 川西地区和川东南部的泸州市、川东北部的广元、巴中市地区旱灾风险则偏低。

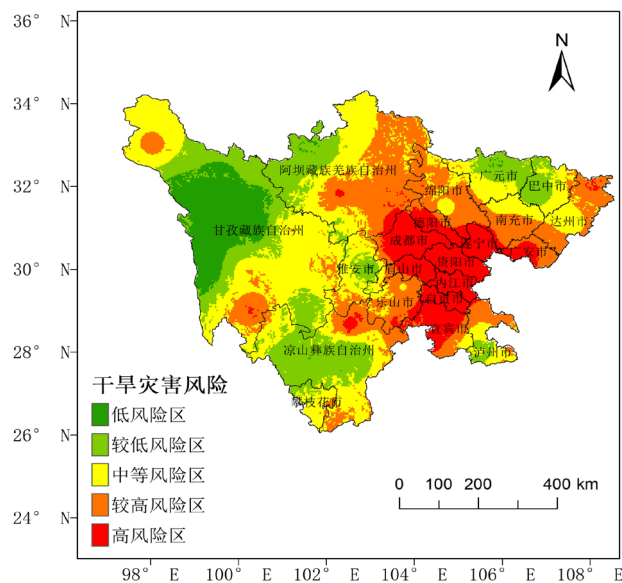


Figure 6. Comprehensive risk classification of drought disaster  
图 6. 干旱灾害综合风险等级区划

## 5. 干旱灾害风险管理对策

针对不同干旱灾害风险等级区本文提出了一些相应的干旱灾害风险管理对策, 具体如下。

### 5.1. 干旱灾害高、较高风险区

#### 1) 加强水资源利用的合理规划, 提高水资源的可持续利用

四川省东部高风险区的人口密度大, 人均水资源量低。因此, 相关部门应切实做好水资源利用的合理规划, 结合实际, 灵活分配水资源的优先利用, 完善水资源的调度机制, 主动防范干旱灾害[17]。

#### 2) 建立干旱灾害实时监测系统, 主动防范干旱灾害[18]

在干旱灾害风险较高且人均水资源量较少的地区应建立干旱灾害的实时监测系统, 以便于及时观测、采集、存储、分析、评估旱灾灾情。旱情监测系统应该具有及时预报预警、实时旱情监测、旱灾应急响应和旱灾风险评估的功能, 从而可以有效提高应对旱灾的能力。

#### 3) 加强防旱水利工程建设

对于干旱灾害风险偏高且水资源量较少的地区, 可通过集雨节灌、修建水塘、水池类微小型水利工程和推广节水灌溉技术来增强供水能力, 增强对干旱灾害的应对能力[19]。



## 5.2. 干旱灾害中等风险区

### 1) 完善干旱灾害风险临时应对机制

对于中等风险区, 相关供水单位应当加强对供水设施和抗旱设备的管理与维护, 以便在干旱灾害来临之际能够及时、准确地调用应急水源, 从而确保城乡供水安全。

### 2) 采取多种水资源及手段应对旱灾发生

对于干旱灾害中等风险区, 相关部门可以在日常生活中贮存各种非常规水资源, 如再生水、循环水和海水等, 以增强供水能力, 也可用于灾害发生时进行人工增雨[20]。

## 5.3. 干旱灾害较低、低风险区

### 1) 推广农田节水, 合理调整种植结构[21]

根据本文区划结果, 对于干旱灾害风险偏低的川西地区, 由于其海拔高、人口密度小、耕地率和有效灌溉率均偏小, 可以采取改善农业种植结构、造林造田、推广农田节水的措施来逐步降低干旱风险。

### 2) 善用媒体渠道, 推广抗旱节水意识

对于低风险的川西地区, 其社会发展和经济条件相对落后, 相关部门应善于利用媒体手段, 重点呼吁节水思想, 增强民众主动防旱节水的意识, 从而合理利用水资源, 做到治旱与防旱相结合。

## 6. 结论与讨论

本文基于自然灾害风险理论, 利用四川省气象、社会经济和地理信息数据, 从致灾因子危险性、成灾环境敏感性、承灾体易损性和防灾减灾能力 4 个影响方面, 选取 10 个评价指标, 构建了四川省干旱灾害风险评估模型, 从而对四川省的干旱灾害风险进行分析与区划。结果表明: 四川中部及东部地区的成都、德阳、遂宁、资阳、内江、眉山、自贡、宜宾、广安、绵阳、乐山、南充市由于其地形平缓、耕地率大、人口密度大、经济发达, 加之人均水资源量较小, 故干旱灾害风险偏高; 四川西部地区、东南部的泸州市和东北部的广元、巴中市干旱灾害风险偏低, 多为低和较低风险区。将本文所得四川省干旱灾害风险评估的结论与已有相关研究对比后发现其空间分布趋势基本一致。如, 柳媛普等对气候变暖背景下的西南地区干旱灾害风险评估研究表明, 川东为四川省旱灾风险最高的地区[22]。张峰等对川渝地区从农业气象角度进行干旱风险区划与损失评估研究表明, 综合风险指数高的地区集中在川东、川中的遂宁和成都等地, 川西地区综合风险指数偏低[23]。由此可知, 本文构建的旱灾风险评估及区划模型具有一定的可靠性, 能够在一定程度上反映四川省的旱灾风险空间分布特征。

由于目前对于干旱灾害风险评估尚未有较为统一的评判指标体系, 且影响干旱灾害风险的因子较多, 所以在评估指标的选择以及数据的可获取性方面都存在一定的困难。本文用来判断干旱频率和强度的标准化降水指数 SPI 虽具有计算简单, 稳定性高, 数据易获取的优点, 但其仅考虑了降水, 未考虑温度和蒸散等因素影响, 因此降低了结果的准确性。此外, 由于资料的可获取性, 仅选用 10 个评估指标来评判干旱灾害风险, 并用层次分析法等模糊数学方法来构建评价体系, 在一定程度上影响了评估结果的精确度, 未来工作应考虑如何使评价指标的分级和量化更加合理, 从而能进一步完善评估体系。

基于 GIS 的干旱灾害风险综合分析对于四川省的干旱灾害风险区划具有一定的可行性, 通过对干旱灾害风险的评估和区划, 便于科学认识四川省的干旱风险分布情况, 从而能够制定更加完善的防灾减灾应对措施, 主动避免干旱灾害对人类生活所带来的一些危害。

## 基金项目

四川省科技厅项目(2017ZR0043, 2015GZ0238); 国家自然科学基金项目(41275033, 41505122)。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 张强, 韩兰英, 张立阳, 等. 论气候变暖背景下干旱和干旱灾害风险特征与管理策略[J]. 地球科学进展, 2014, 29(1): 80-91.
- [3] 屈艳萍, 郦建强, 吕娟, 等. 旱灾风险定量评估总体框架及其关键技术[J]. 水科学进展, 2014, 25(2): 297-304.
- [4] Philip, A.A., Fraser, E.D.G., Andrew, J.D., *et al.* (2011) Mapping the Vulnerability of Crop Production to Drought in Ghana Using Rainfall, Yield and Socioeconomic Data. *Applied Geography*, **32**, 324-334.  
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.06.010>
- [5] Shahid, S. and Behrawan H. (2008) Drought Risk Assessment in the Western Part of Bangladesh. *Natural Hazards*, **46**, 391-413. <https://doi.org/10.1007/s11069-007-9191-5>
- [6] Kim, H.S., Park, J.Y., Yoo, J.Y. and Kim, T.W. (2015) Assessment of Drought Hazard, Vulnerability, and Risk: A Case Study for Administrative Districts in South Korea. *Journal of Hydro-Environment Research*, **9**, 28-35.  
<https://doi.org/10.1016/j.jher.2013.07.003>
- [7] 姚玉璧. 气候变暖背景下中国南方干旱灾害风险特征及对策[C]//中国气象学会. 第 33 届中国气象学会年会 S4 干旱气象灾害监测预测及其影响与对策. 北京: 中国气象学会, 2016.
- [8] 徐玉霞, 许小明, 杨宏伟, 等. 基于 GIS 的陕西省干旱灾害风险评估及区划[J]. 中国沙漠, 2018, 38(1): 192-199.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 崔兆韵, 黄华, 王玉荣, 等. 岱岳区干旱风险评价及区划分析[J]. 山西农业科学, 2012, 40(6): 669-674.
- [12] 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.
- [13] 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, 2012, 27(2): 58-61.
- [14] 亚行援建中国干旱管理战略研究课题组. 中国干旱灾害风险管理战略研究[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011.
- [15] 邱新法, 宋亚君, 曾燕. 气象灾害风险评估承灾体易损性参数定量确定方法研究——以潍坊市干旱、暴雨洪涝灾害为例[J]. 科学技术与工程, 2013, 13(22): 6516-6525.
- [16] 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.
- [17] 刘广奇, 刘广辉. 缺水型城市水资源可持续利用规划对策[J]. 中国建设信息(水工业市场), 2011(1): 29-31.
- [18] 李中锋, 刘昌明, 王红瑞. 构建干旱防备系统减免干旱灾害损失[J]. 中国水利, 2011(6): 75-79.
- [19] 桂建光. 水利工程在抗旱减灾中的应用探讨[J]. 北京农业, 2011(30): 165.
- [20] 山立. 对水危机的再思考[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(14): 8557-8558+8673.
- [21] 魏国强. 大力推广农田节水技术积极应对未来干旱气候变化趋势——关于推广农田节水技术促进农业可持续发展的思考[J]. 种业导刊, 2010(7): 8-10.
- [22] 柳媛普, 王素萍, 王劲松, 等. 气候变暖背景下西南地区干旱灾害风险评估[J]. 自然资源学报, 2018, 33(2): 325-336.
- [23] 张峰. 川渝地区农业气象干旱风险区划与损失评估研究[D]: [博士学位论文]. 杭州: 浙江大学, 2013.

**知网检索的两种方式：**

1. 打开知网首页：<http://cnki.net/>，点击页面中“外文资源总库 CNKI SCHOLAR”，跳转至：<http://scholar.cnki.net/new>，搜索框内直接输入文章标题，即可查询；  
或点击“高级检索”，下拉列表框选择：[ISSN]，输入期刊 ISSN：2168-5711，即可查询。
2. 通过知网首页 <http://cnki.net/>顶部“旧版入口”进入知网旧版：<http://www.cnki.net/old/>，左侧选择“国际文献总库”进入，搜索框直接输入文章标题，即可查询。

投稿请点击：<http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱：[ccl@hanspub.org](mailto:ccl@hanspub.org)