

赵晓萌,雷田旺,范婧儿,等.基于气象干旱综合监测指数(MCI)的陕西省干旱灾害风险评估与区划[J].中国沙漠,2022,42(6):125-133.

# 基于气象干旱综合监测指数(MCI)的陕西省干旱灾害风险评估与区划

赵晓萌<sup>1,2</sup>, 雷田旺<sup>3</sup>, 范婧儿<sup>4</sup>, 韩莹<sup>1,2</sup>, 王琦<sup>1,2</sup>

(1.陕西省气候中心, 陕西 西安 710014; 2.陕西省气象局 秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室, 陕西 西安 710014; 3.西安交通工程学院, 陕西 西安 710065; 4.西安市气象局, 陕西 西安 710016)

**摘要:** 利用陕西省94个国家气象站1961—2018年逐日气象资料,根据干旱灾害气候背景和社会经济环境,结合灾害风险评估相关理论方法,选取致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露度、防灾减灾能力4个方面指标,建立干旱灾害风险评估指数,基于GIS平台,对陕西省不同季节进行干旱灾害风险区划。结果表明:(1)陕西各区域干旱致灾因子危险性季节差异明显,陕北北部除夏季外各季节干旱危险性较高,关中地区易发生伏旱。陕南的汉中各季节干旱危险性均较大,安康东部和商洛各季节干旱危险性则较小。(2)春季、夏季和秋季,陕南的汉中平原及安康的汉江河谷地带,关中的西安和渭南地区,陕北北部榆林地区为干旱孕灾环境高脆弱性区或较高区;冬季陕南大部、秦岭地区的高脆弱性区较其他三季范围有所减小;海拔较高的秦岭山地,关中平原和陕北北部各季节皆为低脆弱性或较低脆弱性地区。(3)承灾体暴露度的高风险区主要分布于关中地区。(4)全省抵御干旱风险能力最高地区为陕北黄河沿线、关中各地的城镇地区。(5)干旱灾害综合风险的高风险区主要在陕南巴山地区、秦岭南北两侧、陕北南部,陕南汉江平原、关中平原及陕北延安、榆林等地为干旱较低、低风险区。

**关键词:** 干旱灾害风险; 评估; 区划; MCI

**文章编号:** 1000-694X(2022)06-125-09

**DOI:** 10.7522/j.issn.1000-694X.2022.00034

**中图分类号:** P429

**文献标志码:** A

## 0 引言

人类活动正使包括干旱在内的极端气候事件变得更频繁和严重<sup>[1]</sup>。IPCC第四次评估报告(AR4)和第五次评估报告(AR5)指出,未来干旱灾害风险有不断增加的趋势<sup>[2-3]</sup>。第六次评估报告(AR6)<sup>[4]</sup>表明,中国北方地区在1960年以来干旱有增加的趋势。气候变暖背景下,区域干旱造成的损失日益严重<sup>[5-7]</sup>。干旱灾害风险评估与区划是进行灾害风险管理及减少损失的重要途径。

目前国内外学者在干旱灾害风险评估方面开展了大量研究。Ullah等<sup>[8]</sup>采用数据聚类 and L-矩技术对巴基斯坦的干旱灾害易损性进行了分区。Hoque等<sup>[9]</sup>对澳大利亚的干旱灾害风险采用了基于

GIS的模糊逻辑方法进行了综合评估。王莺等<sup>[10]</sup>和张竞竟<sup>[11]</sup>利用信息扩散理论的模糊数学方法和风险等级划分,分别对甘肃省和河南省农业旱灾风险进行评估。根据目前公认且较为综合的灾害风险形成理论,干旱灾害风险主要从致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露度以及防灾减灾能力4个方面评估<sup>[12]</sup>。一些学者在此基础上结合GIS、遥感等技术,对黄河流域、松花江流域、云南、山西、重庆、甘肃河东地区等地建立干旱灾害风险评估模型,并进行风险评估及区划<sup>[13-18]</sup>。

陕西省地处青藏高原东北侧的中国大陆腹地,常发生季节性干旱,据统计,在1949—2006年,全省发生季节性干旱78次,平均每年都有不同程度的季节性干旱<sup>[19]</sup>。陕西省年内降水高度集中且变率大,

收稿日期:2022-01-24; 改回日期:2022-04-06

资助项目:陕西省自然科学基金计划项目(2021SF-493, 2021JQ-954);陕西省气象局秦岭和黄土高原生态环境气象重点实验室开放研究基金课题(2019Y-7)

作者简介:赵晓萌(1985—),女,陕西咸阳人,高级工程师,硕士,从事气候监测与灾害评估工作。E-mail: xmzhao2011@163.com

通信作者:雷田旺(E-mail: ltw0229@163.com)

土壤调节功能脆弱,地表水和土壤水分利用率低<sup>[20]</sup>,人类活动影响和作物生理特征以及各地不同作物抗旱能力的差异导致省内干旱灾害发生的区域和季节分布不均<sup>[21]</sup>。但目前针对陕西干旱的风险评估研究集中在采用基于主成分分析与层次分析法相结合<sup>[22]</sup>或基于模糊聚类循环迭代模型<sup>[23]</sup>,对陕西省农业干旱进行风险评估与区划;或结合灾害学相关理论,运用GIS空间数据分析功能将干旱的自然和社会属性统一起来进行干旱灾害风险评估及区划<sup>[24]</sup>等方面,对陕西干旱灾害的季节性风险特征认识还不全面,影响了干旱灾害防御和风险管理水平的提高。因此,有必要建立陕西省季节性干旱灾害风险度量指数,进行干旱灾害风险评估区划,为干旱风险控制工作服务,对同类气候区干旱监测方案的建立和政府防灾减灾知情决策具有重要意义,对实现抗旱减灾及粮食稳产增产至关重要<sup>[25]</sup>。

## 1 数据来源与研究方法

### 1.1 研究区域概况

陕西省(31°42′—39°35′N,105°29′—111°15′E)境内山脉多,地形复杂,地势南北高、中间低,西部高、东部低。陕西省四季分明,是气候变化的敏感区域<sup>[26]</sup>。陕西省自北向南划分为3个温度带,跨越7个气候区<sup>[21]</sup>。省内水系以秦岭山脉为分水岭,北部为黄河流域,南部为长江流域。属大陆性季风气候区,年降水量300—1 200 mm,南多北少,巴山最多<sup>[20]</sup>。

### 1.2 数据来源

气象数据来自中国气象局国家气象信息中心,为陕西省94个气象基本站1961—2018年逐日降水量、气温、相对湿度,站点信息如图1所示。

地理信息数据(DEM,30 m×30 m)来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn/>)。

社会信息数据中,GDP数据(2015年,1 km×1 km)来自于地理监测云平台(<http://www.dsac.cn/>)。土地利用数据(2018年,100 m×100 m)来自于中国科学院资源与环境科学数据中心(<http://www.resdc.cn/>)。

气象干旱综合监测指数(MCI)是国家气候中心研发多年<sup>[27]</sup>,已被国家及省级气象部门在业务服务

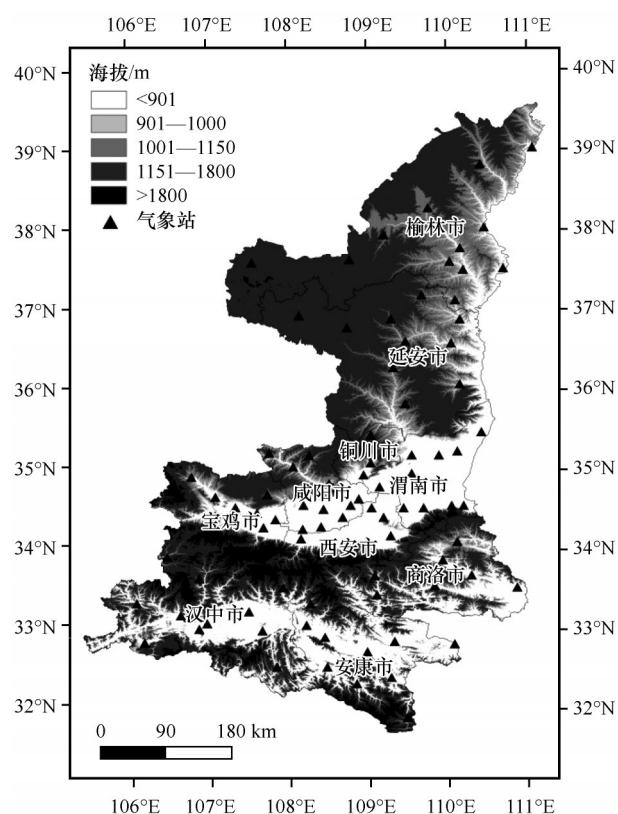


图1 研究区域示意图

Fig.1 Distribution of meteorological stations in Shaanxi

中应用的干旱监测指标,该指标综合考虑了地区及季节,可较好地反映当前气象干旱。

$$MCI = K_a \times (a \times SPIW_{60} + b \times MI_{30} + c \times SPI_{90} + d \times SPI_{150}) \quad (1)$$

式中: $K_a$ 为季节调节系数; $SPIW_{60}$ 为近60 d标准化权重降水指数; $a$ 为 $SPIW_{60}$ 项的权重系数,北方和西部地区取0.3; $MI_{30}$ 为近30 d相对湿润度指数; $b$ 为 $MI_{30}$ 项的权重系数,北方及西部地区取0.5; $SPI_{90}$ 为近90 d标准化降水指数; $c$ 为 $SPI_{90}$ 项的权重系数,北方及西部地区取0.3; $SPI_{150}$ 为近150 d标准化降水指数; $d$ 为 $SPI_{150}$ 的权重系数,北方及西部地区取0.2。

### 1.3 研究方法

为消除各指标之间的量纲差异,须进行归一化处理。

$$ED_i = 0.5 + 0.5 \times \frac{A_i - A_{\min i}}{A_{\max i} - A_{\min i}} \quad (2)$$

式中: $ED_i$ 是第*i*个指标归一化值; $A_i$ 是第*i*个指标值; $A_{\max i}$ 和 $A_{\min i}$ 分别是第*i*个指标中的最大值和最小值。

对归一化后的地形、人口、经济等各评估指标,通过主成分分析法,确定各指标的权重<sup>[22,27-30]</sup>。

1.4 干旱灾害风险指数构建

干旱致灾因子由灾害发生强度和持续时间共同作用,干旱危险性指某强度干旱灾害发生的可能性,由干旱强度和发生频率决定。因此,定义四季干旱平均强度为某季节干旱累计强度与累计时间的比值<sup>[17]</sup>,用以评估干旱灾害致灾因子的危险性。

孕灾环境脆弱性表示灾害发生的地理环境对干旱的适应和响应能力,是地形、土壤等自然环境和社会经济系统对干旱灾害影响的敏感度和恢复能力的综合反映<sup>[22]</sup>。根据自然环境对干旱灾害的减缓或加速能力选择指示性指标来评价孕灾环境脆弱性,包括地形、第三产业人均GDP、植被指数及土壤粒径。某地的第三产业人均GDP越高,受干旱影响程度越大;土壤种类繁多,地表上覆盖的沙质疏松沉积物和肥沃程度影响旱灾。

承灾体暴露度是承灾体可能受到来自干旱灾害威胁而产生的破坏、农业损失及人员伤亡情况。某地暴露于干旱威胁的价值密度与遭受干旱的损失成正比。选取耕地比例、人口密度和经济密度为承灾体暴露度评价指标。

防灾减灾能力是受灾风险地区对干旱灾害的抵御及恢复能力,选取人均GDP、河网密度、库区密度为防灾减灾能力评价指标。人均GDP越高的经济发达地区,防灾减灾能力措施较强,河网密度越大且周围库区密度越大,应对干旱的能力就越强。

通过陕西省不同季节干旱灾害风险分析,采用主成分分析法确定各评价因子及其指标的权重系数,构建陕西省不同季节干旱灾害风险评估指标体系(式(3),表1),利用加权综合评价法得到综合干旱灾害风险指数,对陕西各季节干旱灾害风险进行评估。

$$MDRI=(VE^{ve})(VH^{vh})(VS^{vs})(VR^{vr}) \tag{3}$$

式中:MDRI为干旱灾害风险评估的综合指数,用来表示干旱灾害风险的程度,MDRI值越大,表明该区域干旱灾害风险的程度越大;VE、VH、VS、VR分别是根据公式(3)加权综合评价法计算得到的干旱灾害危险性指数、脆弱性指数、暴露性指数和防灾减灾能力指数;ve、vh、vs、vr是各评价因子的权重<sup>[6]</sup>。

1.5 作图分析方法

运用GIS空间分析功能,采用自然断点法(Natural Breaks),该分类方法基于数据中固有的自然分

表 1 陕西省不同季节干旱灾害风险评估指标权重  
Table 1 The weights of drought disaster risk assessment indexes in different seasons of Shaanxi

评估因子	因子权重	指标	指标权重
致灾因子危险性	0.4	干旱平均强度	0.4
孕灾环境脆弱性	0.2	海拔	0.18
		第三产业人均GDP	0.36
		植被指数	0.26
		土壤粒径	0.2
承灾体暴露度	0.2	人口密度	0.2
		经济密度	0.2
		耕地比例	0.6
防灾减灾能力	0.2	人均GDP	0.5
		河网密度	0.3
		库区密度	0.2

组,识别分类间隔,可对相似值进行分组,并实现各个类之间的差异最大,最终得出陕西省干旱灾害综合风险区划图。

2 结果与分析

2.1 致灾因子危险性

春旱是影响陕西省春播及夏粮产量的重要因素。春季陕南汉中、安康地区,陕北北部地区干旱致灾因子危险性较高,为高和较高危险区。关中南、陕北东部及南部地区为中危险区。关中大部和陕南商洛地区风险较低,其中关中东部和商洛东部危险性最低(图2A)。从大气环流形势分析,通常春季利于陕西降水的东路冷空气较少出现,从而导致陕西大部春季少雨。

夏季陕南汉中、安康地区,商洛东部及延安中部危险性较高,为较高和高危险区。关中南、商洛西部、陕北中南部为中危险区,关中西部、渭南东部、陕北定边、吴起及陕北北部地区是夏旱的低危险区(图2B)。

陕西伏旱高危险性和较高危险性较其他季节区域范围最大,这说明伏旱发生的强度大、频率高,其中陕南汉中、商洛北部,关中的宝鸡、咸阳、西安、铜川及陕北中部等地区为伏旱的高危险和较高危险区,而陕南的安康南部、商洛南部及陕北榆林的北部地区伏旱危险性低(图2C)。从大气环流形势分析,夏季虽陕南西部或陕北有局地对流天气,但



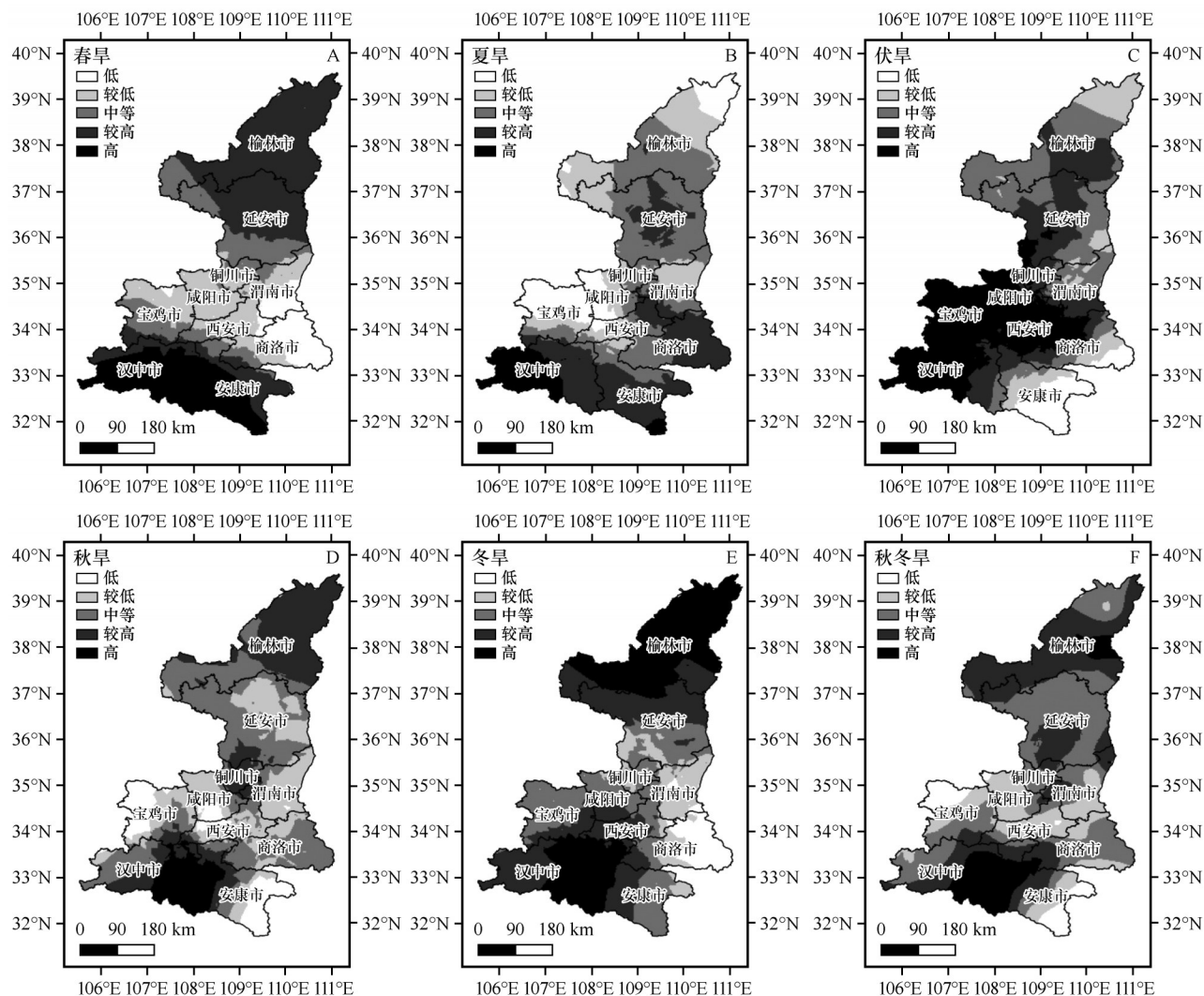


图2 陕西省春旱(A)、夏旱(B)、伏旱(C)、秋旱(D)、冬旱(E)、秋冬旱(F)致灾因子危险性区划

Fig.2 Regionalization on the dangerousness of the drought disaster factors in spring (A), summer (B), mid-summer (C), autumn (D), winter (E), autumn and winter (F) of Shaanxi

大部地区受副高控制,干旱少雨。

秋旱致灾因子危险性较高的地区主要是陕南中部和陕北北部地区,其中城固、洋县、西乡及宁陕为高危险区。由于受到华西秋雨的影响,关中大部为干旱的低危险区(图2D)。从大气环流形势分析,造成秋季干旱的原因主要是副高南撤过快,造成陕西大部干旱。

冬旱致灾因子危险性较高的地区主要是陕西南部、关中中南部和陕北北部地区,其中城固、洋县、西乡、宁陕和陕北北部府谷、神木、横山、佳县、定边等地为高危险区,陕西南部、关中北部和陕南安康东部地区、宝鸡、咸阳北部和延安南部为中危险区,关中和陕南东部地区冬旱危险性较低(图2E)。

秋冬旱致灾因子危险性分布形势与秋旱基本

一致(图2F)。

总体而言,陕西各区域干旱危险性季节差异明显。陕北北部地区除夏季降水量较大起到缓解干旱的作用,其他季节干旱危险性较高,关中地区除伏旱危险性较大以外,其他季节较少发生干旱。陕南的汉中各季节干旱危险性均较大,安康东部和商洛各季节干旱危险性则较小。

## 2.2 孕灾环境脆弱性

由于孕灾环境脆弱性评估指标中只有植被指数与季节变化相联系,且伏旱发生时间包含于夏季,伏旱孕灾环境脆弱性与夏旱一致。根据陕西气候变化特点,陕西常年全省入冬时间自北向南于10月2日至11月17日<sup>[26]</sup>,秋冬季植被指数变化值更趋近于冬

季,因此秋冬旱孕灾环境脆弱性与冬季一致。

春季干旱孕灾环境高脆弱性区主要位于陕南的汉中平原及安康的汉江河谷地带,关中的西安和

渭南地区,陕北北部榆林地区。陕西南部延安大部分地区、关中中西部、陕南大部海拔高、植被覆盖好的地区,脆弱性较低(3A)。

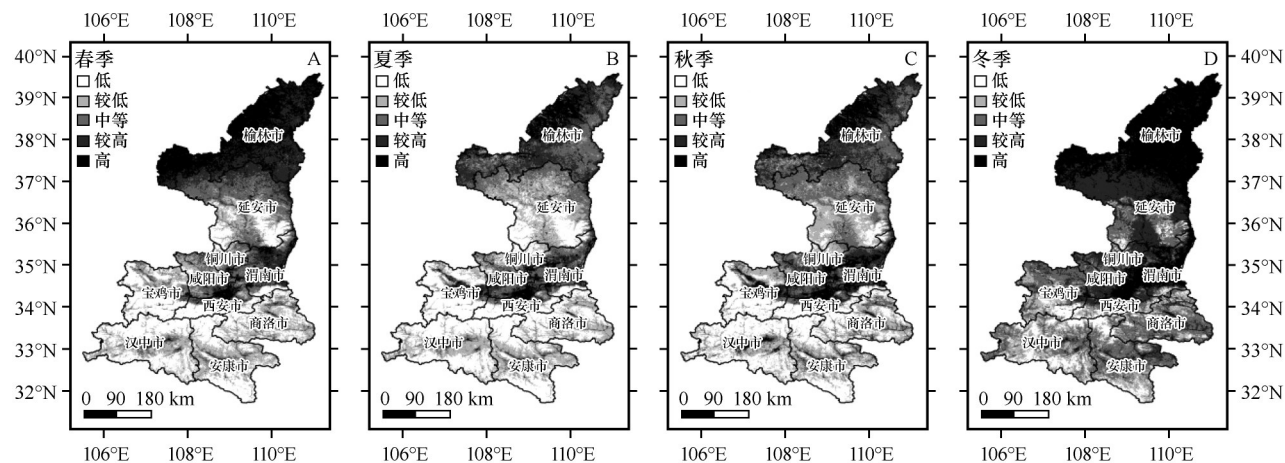


图3 陕西省春旱(A)、夏旱(B)、秋旱(C)、冬旱(D)灾害孕灾环境脆弱性区划

Fig.3 Regionalization on the vulnerability of drought disaster-breeding environment in spring (A), summer (B), autumn (C), winter (D) of Shaanxi

夏季和秋季干旱孕灾环境高、中、低脆弱性区分布与春季基本一致(3B、C)。

冬季植被覆盖较夏秋两季变化较大,陕西省冬季干旱孕灾环境高脆弱性区较春夏秋三季有所扩大,主要位于陕南汉中盆地、安康河谷地带,关中的西安和渭南地区以及陕北大部分地区。秦岭、大巴山及关中西北部、陕北南部海拔较高的地区,干旱灾害对其影响不大,属于中低脆弱性区(图3D)。

总体而言,春季、夏季和秋季全省干旱孕灾环境脆弱性区划分布基本一致,陕南的汉中平原及安康的汉江河谷地带,关中的西安和渭南地区,陕北北部榆林地区为高脆弱性区或较高脆弱性区,这些地区植被覆盖度较秦岭地区低,干旱发生时较难进行自然生态自动调节,抵御灾害能力不高。关中地区、陕北北部为低脆弱性区或较低脆弱性区,延安地区为中等脆弱性区。冬季陕南大部、秦岭地区的高脆弱性区较其他三季范围有所减小。海拔较高的秦岭山地,关中平原和陕北北部依旧为低脆弱性区或较低脆弱性区。

### 2.3 承灾体暴露度

陕西省承灾体暴露度最高的是关中的西安、咸阳、宝鸡和渭南市区,这些地区人口和经济密度大、耕地比例高,干旱灾害造成的损失大。中等暴露度区位于陕北北部靖边、定边,延安南部,关中南部和

陕南除汉江河谷外的地区。低暴露度区域位于延安市辖县、关中北部咸阳、渭南部分区县和陕南的汉江河谷地带(图4)。

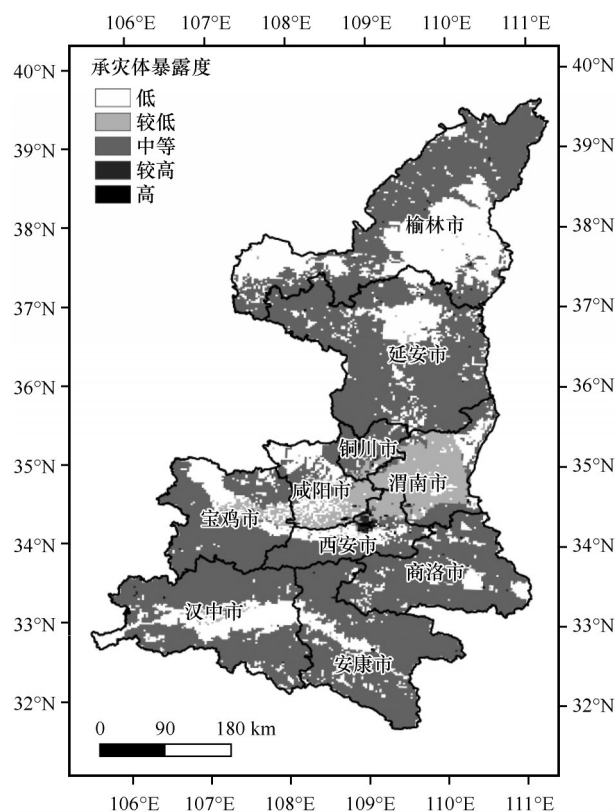


图4 陕西省干旱灾害承灾体暴露度区划

Fig.4 Regionalization on the exposure of the drought disaster-breeding body of Shaanxi

## 2.4 防灾减灾能力

防灾减灾能力是与社会经济、周围水体条件联系紧密的要素。陕西省干旱灾害防灾减灾能力最高的地区为陕北黄河沿线,关中的西安、咸阳、宝鸡和渭南的城镇地区,由于这些地区距离水系较近,灌溉条件较好,同时经济较为发达,可以最大限度地防御干旱灾害。陕北北部榆林、神木,陕北西北部靖边、定边,陕南汉中、商洛等地区为次高能力区,全省其他大部地区为干旱的防灾减灾能力的中、低区(图5)。

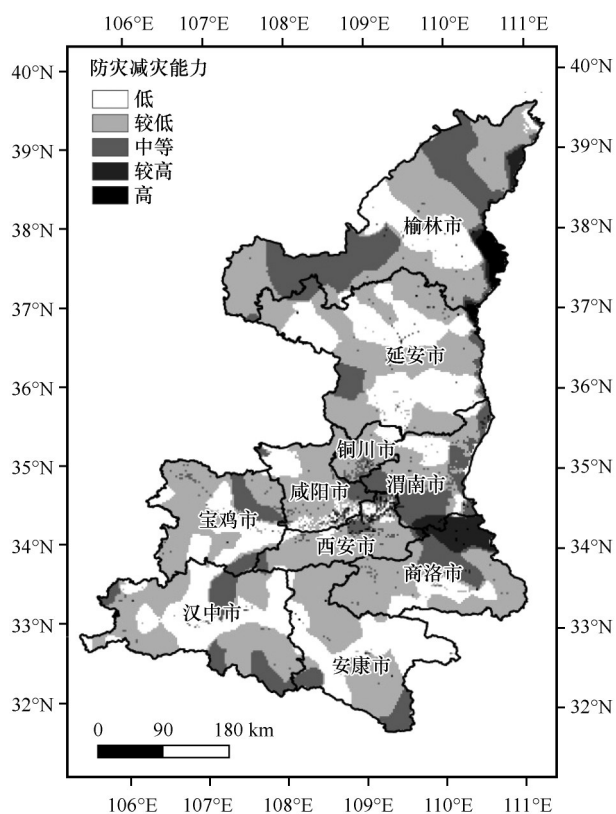


图5 陕西省干旱灾害防灾减灾能力区划

Fig.5 Regionalization on the drought disaster prevention and mitigation capabilities of Shaanxi

## 2.5 不同季节干旱灾害风险综合评估

在对致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露度和防灾减灾能力定量分析的基础上,根据干旱灾害风险综合评估指数将干旱灾害风险区划分为低、较低、中等、较高、高等5个风险等级区,得出陕西不同季节干旱灾害综合风险等级区划(图6)。

春季,陕南南部的大巴山大部地区包括宁强、镇巴、镇坪、紫阳、岚皋、平利等地及秦岭南侧的略

阳、留坝、佛坪、宁陕等地为干旱的高风险区。关中南部的秦岭北侧大部分地区、商洛北部的洛南、陕西南部除延安市区的大部地区为干旱风险较高区。陕南商洛和汉江平原、关中北部高海拔地区和陕北北部地区为春季干旱的中等风险区,关中平原、陕北延安和榆林及定边、靖边为春季干旱较低、低风险区(图6A)。

夏季干旱灾害综合风险等级分布与春季基本相同,除商洛的商南、山阳、洛南等地在春季为中等风险区,夏季干旱风险升级为高风险(图6B)。

陕南的商洛、洛南等地区为伏旱灾害高风险区,陕南巴山地区、秦岭南北两侧山区、陕北东南部的铜川、延安东南部为伏旱较高风险区。陕南安康大部、陕北南部地区、延安的志丹、延长及榆林北部地区为伏旱中等风险区。陕南汉江平原、关中平原、延安市辖区为伏旱低、较低风险区(图6C)。

陕南巴山地区、秦岭南北两侧、陕北南部为秋季干旱较高、高风险区。陕南安康的旬阳、平利,关中咸阳北部的永寿,陕北延长、延川及毛乌素沙漠边缘为秋季干旱中等风险区。陕南汉江平原、关中平原、延安市区为秋旱低、较低风险区(图6D)。

冬季干旱灾害综合风险等级分布与秋季基本相同,除陕北延安南部富县、洛川和黄陵冬季降低为中等风险区,吴起、志丹及毛乌素沙漠边缘带升级为较高、高风险区(图6E)。

秋冬旱与秋旱分布基本一致,陕南巴山地区、秦岭南北两侧、陕北南部为秋季干旱较高、高风险区。陕南安康的旬阳、平利,关中咸阳北部的永寿,陕北延长、延川及陕北毛乌素沙漠边缘为秋季干旱中等风险区。陕南汉江平原、关中平原、延安市区为秋旱低、较低风险区(图6F)。

总体而言,陕南巴山地区、秦岭南北两侧、陕北南部由于干旱危险性高、防灾减灾能力较低、各季节基本都处于干旱灾害的高或较高风险区,陕南商洛、安康南部及陕北北部毛乌素沙漠边缘带由于干旱承灾体暴露度低,各季节干旱对其影响不强,基本都处于中等风险区。而陕南汉江平原、关中平原及陕北延安、榆林等地由于水系密度大,经济发达,抵御干旱风险能力强,各季均为干旱较低、低风险区。

## 3 结论

陕西省各季节干旱致灾因子危险性较高的地



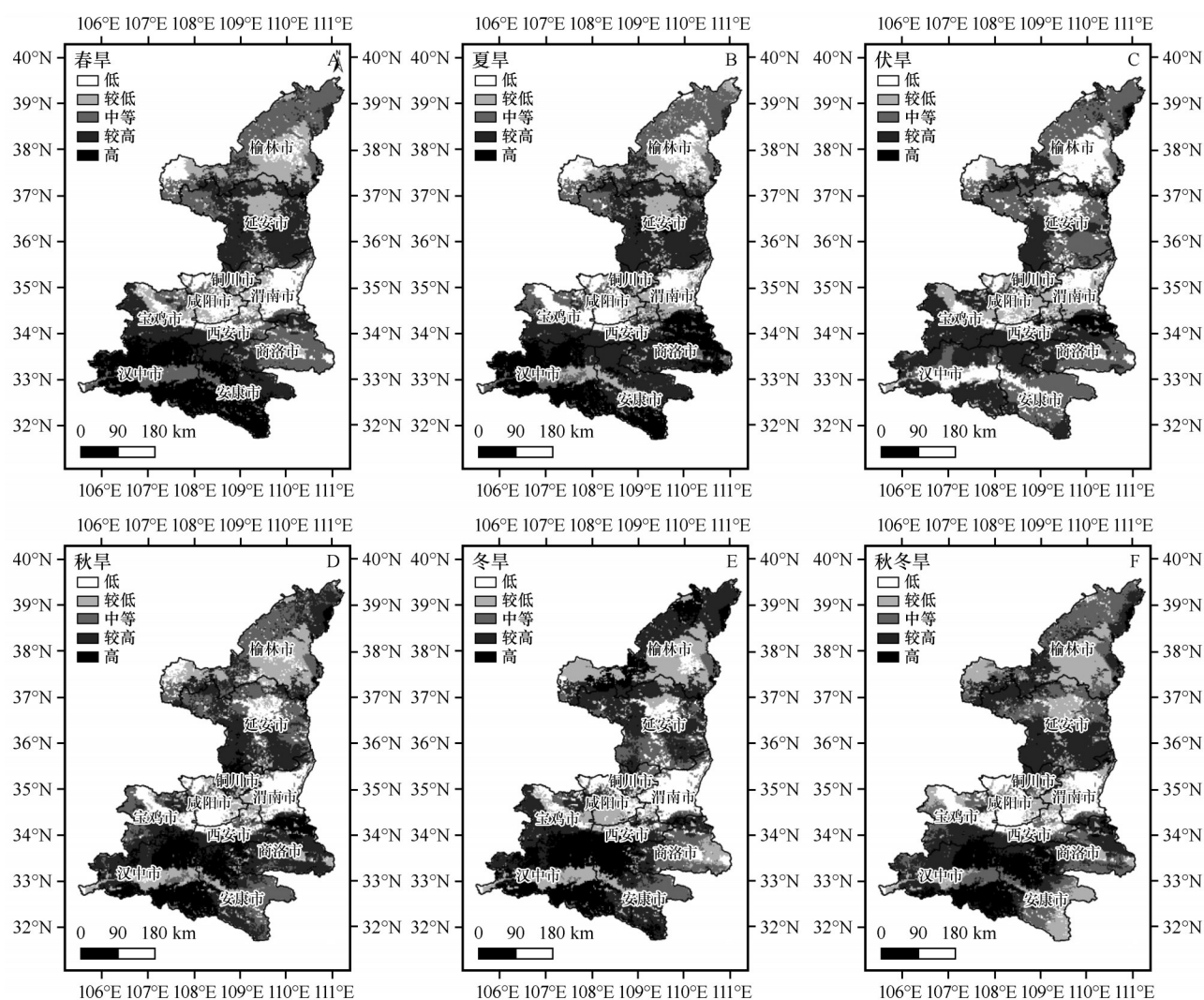


图6 陕西省春旱(A)、夏旱(B)、伏旱(C)、秋旱(D)、冬旱(E)、秋冬旱(F)灾害综合风险区划

Fig.6 Regionalization on the drought disaster risk in spring (A), summer (B), mid-summer (C), autumn (D), winter (E), autumn and winter (F) of Shaanxi

区随季节变化分布于不同区域,陕南大部、秦岭及渭北黄土高原地区为各季干旱高风险区,关中地区主要受到伏旱影响较大;危险性较低的地区主要在关中地区、陕北北部等地。

陕西省春季、夏季和秋季干旱孕灾环境脆弱性较高区基本分布在陕南的汉中平原及安康的汉江河谷地带,关中的西安和渭南地区,陕北北部榆林地区;冬季植被变化明显,高脆弱性区较其他三季范围有所减小。海拔较高的秦岭山地,关中平原和陕北北部四季均为低脆弱性区或较低脆弱性区。

陕西省干旱承灾体暴露度的高风险区主要在陕西省西安市、宝鸡市、咸阳、渭南市等人口集中、经济较为发达的地区,其他地区承灾体的暴露性风险都较低。

陕西省干旱防灾减灾能力较高的区域主要在

陕西省关中地区、商洛东部、陕北黄河延安等离水系较近,灌溉条件较好,同时经济较为发达的地区,其他地区防灾减灾能力较低。

陕西省干旱灾害综合风险的高风险区主要在陕南巴山地区、秦岭南北两侧、陕北南部,这些地区除了干旱发生的频次和概率较高外,干旱发生时较难进行自然生态自动调节,抵御灾害能力不高,防灾减灾能力不强,干旱灾害风险水平较高。陕南商洛、安康南部及陕北北部毛乌素沙漠边缘带是干旱中等风险区,而陕南汉江平原、关中平原及陕北延安、榆林等地为干旱较低、低风险区。

由于人均GDP、土壤类型及地形因子对承灾体暴露度的影响在一段时间基本为定值,植被覆盖度受季节的影响较大。因此,植被变化导致反照率、土壤湿度等地表属性的变化,这些变化均可以通过

影响地气系统的水分和能量收支,有面积植被覆盖的区域会减小当地增温的速度,具有缓解伏旱危险性功能<sup>[31-32]</sup>。

由于干旱形成过程复杂,以目前有限的资料和技术手段精确分析干旱的发生及演变并评价干旱风险仍有一定难度。建议今后应加强对干旱性天气的监测和预报,同时应用遥感、GIS 等技术,结合农业水循环等机理性模型,提高灾害风险区划能力,为防灾减灾提供科学依据。

### 参考文献:

- [1] 陈德亮,赖慧文. IPCC\_AR6\_WGI 报告的背景、架构和方法[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(6): 636-642.
- [2] IPCC. Climate Change 2007: the Physical Science Basis [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2007.
- [3] IPCC. Climate Change 2013: the Physical Science Basis [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2013.
- [4] IPCC. Climate Change 2021: the Physical Science Basis [M]. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2021.
- [5] 王春乙,张继权,霍治国,等. 农业气象灾害风险评估研究进展与展望[J]. 气象学报, 2015, 73(1): 1-19.
- [6] 李万志,张调风,马有铤,等. 基于灾害风险因子的青海省干旱灾害风险区划[J]. 干旱气象, 2021, 39(3): 480-485.
- [7] 马鹏里,韩兰英,张旭东,等. 气候变暖背景下中国干旱变化的区域特征[J]. 中国沙漠, 2019, 39(6): 209-215.
- [8] Ullah H, Akbar M, Khan F. Construction of homogeneous climatic regions by combining cluster analysis and L-moment approach on the basis of Reconnaissance Drought Index for Pakistan [J]. International Journal of Climatology, 2020, 40 (1): 324-341.
- [9] Hoque M A, Pradhan B, Ahmed N, et al. Agricultural drought risk assessment of Northern New South Wales, Australia using geospatial techniques [J]. The Science of the Total Environment, 2020, 756(17): 143600.
- [10] 王莺,李耀辉,赵福年,等. 基于信息扩散理论的甘肃省农业旱灾风险分析[J]. 干旱气象, 2013, 31(1): 43-48.
- [11] 张竟竟. 河南省农业水旱灾害风险评估与时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(18): 98-106.
- [12] 张存杰. 干旱监测、预警及灾害风险评估技术研究[M]. 北京: 气象出版社, 2020.
- [13] 韩兰英,张强,马鹏里,等. 气候变暖背景下黄河流域干旱灾害风险空间特征及区域差异性[J]. 中国沙漠, 2021, 41(4): 225-234.
- [14] 冯波,章光新,李峰平. 松花江流域季节性气象干旱特征及风险区划研究[J]. 地理科学, 2016, 36(3): 466-474.
- [15] 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.
- [16] 李娜,霍治国,钱锦霞,等. 山西省干旱灾害风险评估与区划[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(5): 100-107.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] 杜继稳. 陕西省干旱监测预警评估与风险管理[M]. 北京: 气象出版社, 2008.
- [20] 景毅刚,杜继稳,张树誉. 陕西省干旱综合评价预警研究[J]. 灾害学, 2006(4): 46-49.
- [21] 石忆邵. 陕西省干旱灾害的成因及其时空分布特征[J]. 干旱区资源与环境, 1994(3): 51-57.
- [22] 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.
- [23] 吴迪,张海涛,何斌,等. 基于模糊聚类循环迭代模型的陕西省农业干旱风险评估与区划[J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36(5): 230-241.
- [24] 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.
- [25] 曹永强,路洁,冯兴兴. 辽西北春玉米旱灾灾损风险区划[J]. 自然资源学报, 2021, 36(5): 1346-1358.
- [26] 赵晓萌,蔡新玲,卫星君,等. 陕西省季节变化特征研究[J]. 陕西气象, 2021(4): 27-32.
- [27] 廖要明,张存杰. 基于 MCI 的中国干旱时空分布及灾情变化特征[J]. 气象, 2017, 43(11): 1402-1409.
- [28] 刘兰芳,谭秉霖,张可,等. 基于主成分分析的湖南省城市雾霾灾害风险评估[J]. 灾害学, 2021, 36(1): 76-81.
- [29] 黄进,陈金华,张方敏. 基于主成分分析的安徽省冬小麦气候灾损风险的时空演变[J]. 应用生态学报, 2021, 32(9): 3185-3194.
- [30] 杨晓颖,玉山,都瓦拉,等. 基于主成分分析的内蒙古干旱脆弱性评价研究[J]. 草原与草业, 2020, 32(4): 46-52.
- [31] 魏建波,赵文吉,关鸿亮,等. 基于 GIS 的区域干旱灾害风险区划研究: 以武陵山片区为例[J]. 灾害学, 2015, 30(1): 198-204.
- [32] 田玉刚,覃东华,杜渊会. 洞庭湖地区洪水灾害风险评估[J]. 灾害学, 2011, 26(3): 56-60.



## Risk assessment and regionalization of drought disasters in different seasons in Shaanxi, China based on MCI

Zhao Xiaomeng<sup>1,2</sup>, Lei Tianwang<sup>3</sup>, Fan Jinger<sup>4</sup>, Han Ying<sup>1,2</sup>, Wang Qi<sup>1,2</sup>

(1. Shaanxi Climate Center, Xi'an 710014, China; 2. Shaanxi Key Laboratory of Eco-Environment and Meteorology for the Qinling Mountains and Loess Plateau, Shaanxi Meteorological Bureau, Xi'an 710014, China; 3. Xi'an Traffic Engineering Institute, Xi'an 710065, China; 4. Xi'an Meteorological Bureau, Xi'an 710016, China)

**Abstract:** Using the daily data from 94 meteorological stations of Shaanxi Province from 1961 to 2018, according to the climatic background of drought disasters and the social-economic environment, combined with the theory of disaster risk, the drought disaster risk index system and model is established based on risk hazard factors, subsequently environmental vulnerability and disaster bearing bodies exposure and disaster prevention and mitigation capacity reliability. Based on the GIS platform, drought disaster risk regionalization in different seasons in Shaanxi Province is carried out. The research results show that: (1) There are obvious seasonal differences in the risk of drought disaster causing factors in various regions of Shaanxi. The drought risk in the northern of Shaanxi is higher in all seasons except summer, and the Guanzhong area is prone to summer drought. The drought risk index of Hanzhong in southern Shaanxi is higher, while the drought risk index of east Ankang and Shangluo is lower. (2) In spring, summer and autumn, the Hanzhong Plain in southern Shaanxi and the Ankang Hanjiang River Valley, Xi'an and Weinan in Guanzhong, and Yulin in northern Shaanxi are high risk areas or sub high risk areas of drought disaster environmental vulnerability. In winter, the high risk areas in most southern Shaanxi and Qinling are smaller than those in other three seasons; Qinling Mountains with higher altitude, Guanzhong Plain and northern Shaanxi are low risk or sub-low risk areas in all seasons. (3) The high risk areas of disaster bearing body exposure are mainly distributed in Guanzhong area. (4) The areas with the highest disaster prevention and mitigation capacity reliability in the province are urban areas along the Yellow River in northern Shaanxi and all over Guanzhong. (5) The high risk areas of drought disaster comprehensive risk are mainly in Bashan area in southern Shaanxi, the north and south sides of Qinling Mountains, and the south of northern Shaanxi. Hanjiang Plain in southern Shaanxi, Guanzhong Plain, Yan'an and Yulin in northern Shaanxi are low risk areas of drought.

**Key words:** drought disaster risk; assessment; regionalization; MCI