

# 黑龙江省夏季干旱灾害风险区划

陈玉颖

哈尔滨师范大学, 黑龙江 哈尔滨

收稿日期: 2022年1月24日; 录用日期: 2022年2月25日; 发布日期: 2022年3月4日

## 摘要

夏季是作物生长发育的重要时期, 而夏季极易发生干旱灾害, 从而阻碍作物生长。因此利用2000~2019年黑龙江省降水资料、地理信息数据和社会经济数据, 对黑龙江省夏季干旱灾害风险区划进行研究。结果表明: 1) 致灾因子危险性较高的地区主要在黑龙江省西部, 其他地区危险性较低。2) 孕灾环境敏感性表现出北部、西部、南部较高, 中东部较低。3) 承灾体暴露性较高的地区主要分布在西南部、东北部较低。4) 防灾减灾能力较高的地区主要分布在东部、南部, 防灾减灾能力较低的地区分布在西部。5) 综合风险性主要表现为由西向东逐渐减小的趋势, 西部的龙江县、齐齐哈尔市、泰来县、杜蒙等地为主要高风险性区。

## 关键词

黑龙江省, 夏旱, GIS, 风险区划

# Risk Regionalization of Summer Drought Disaster in Heilongjiang Province

Yuying Chen

Harbin Normal University, Harbin Heilongjiang

Received: Jan. 24<sup>th</sup>, 2022; accepted: Feb. 25<sup>th</sup>, 2022; published: Mar. 4<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Summer is an important period for crop birth in development, and summer is highly susceptible to drought disasters, which can hinder crop growth. Therefore, using precipitation information, geographic information data and socio-economic data from 2000~2019 in Heilongjiang Province, the risk zoning of summer drought disasters in Heilongjiang Province was studied. The results show: 1) the areas with higher risk of disaster-causing factors are mainly in the western part of Heilong-

jiang Province, and the other areas have lower risk. 2) The sensitivity of the disaster-inducing environment is higher in the north, west and south, and lower in the middle and east. 3) The areas with higher exposure of disaster-bearing bodies are mainly located in the southwest and lower in the northeast. 4) The areas with higher disaster prevention and mitigation capacity are mainly distributed in the east and south, and the areas with lower disaster prevention and mitigation capacity are distributed in the west. 5) The comprehensive riskiness mainly shows a trend of gradually decreasing from west to east, with Longjiang County, Qiqihar City, Tailai County and Dumeng in the west as the main high-riskiness areas.

## Keywords

Heilongjiang Province, Summer Drought, GIS, Risk Regionalization

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

## 1. 引言

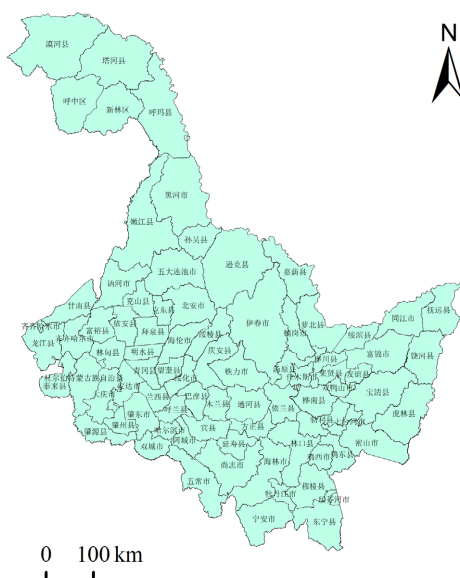
干旱是指淡水总量少, 不足以满足人的生存和经济发展的气候现象, 一般是长期的现象。干旱是人类生产生活面临的主要自然灾害, 即使在科技发达的现代, 它所造成的灾难性后果仍然不容小视。目前, 干旱灾害风险性越来越引起国内外学者的关注。

目前, 大量学者从不同角度系统地研究了各区域干旱灾害区划评估, 部分学者的研究基于不同区域[1]-[6], 还有学者的研究基于不同作物[7]-[12]。王莺等[13]考虑了致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力的影响, 对中国南方的干旱灾害进行风险评估, 综合考虑了造成灾害发生的各因素, 对降低区域干旱灾害风险具有重要指示意义; 李万志[14]同样分析了致灾因子危险性、孕灾环境脆弱性、承灾体暴露性和防灾减灾能力的影响, 应用 GIS 等工具, 对青海省的干旱灾害风险进行区划和评估; 还有学者针对黑龙江省的春旱风险计算了春旱指数、春旱发生频率、变异系数、风险指数, 这是对黑龙江省春季干旱风险进行评估[15]; 但夏季才是东北地区黑龙江省作物需水关键期, 和春季干旱比起来, 真正影响东北地区黑龙江省粮食安全的是夏季干旱, 素有“春旱不算旱, 夏旱丢一半”之说, 只要在农作物关键期(7月25日至8月31日的授粉和灌浆盛期)出现严重夏季干旱, 作物减产会十分显著, 因此开展东北地区黑龙江省夏季干旱风险评估研究十分重要[16]; 已有学者分析了黑龙江省夏季干旱的发生规律, 以及详细分析了影响夏旱的气候因子, 厄尔尼诺、拉尼娜事件、副高变化影响及环流型特点的变化及水汽输送的变化[17]。因此, 本文基于降水量数据、统计年鉴数据, 对黑龙江省夏季干旱风险灾害进行评估, 有利于建立黑龙江省干旱灾害防御体系以及对农作物种植有一定的指示作用。

## 2. 研究区概况与数据来源、方法

### 2.1. 研究区概况

黑龙江省位于我国的东北部, 北部与俄罗斯相邻, 西部接壤内蒙古自治区, 南部连接吉林本部, 位于 121°11'E~135°05'E、43°26'N~53°33'N, 总面积约  $47.3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。地貌特征为“五山一水一草三分田”; 如图 1, 地势大致呈西北、北部和东南部高, 东北、西南部低, 由山地、台地、平原和水面构成; 地跨黑龙江、乌苏里江、松花江、绥芬河四大水系, 属寒温带与温带大陆性季风气候。



**Figure 1.** Political map of Heilongjiang Province  
**图 1.** 黑龙江省政区图

## 2.2. 数据来源

本文所使用的降水量数据来源于黑龙江省气象站，选取 2000~2019 年共 20 年 62 个气象站 6~8 月份的数据。研究中所选用的分析指标农作物播种面积、人口密度、人均 GDP 等数据来自黑龙江省 2019 年统计年鉴资料。

## 2.3. 研究方法

### 2.3.1. 降水距平百分率

降水距平百分率[18]表示某时段的降水量与当地常年同期气候平均降水量的偏离程度,用降水量与常年同期气候平均降水量之差占常年同期气候平均降水量的百分率表示。

某时段降水距平百分率按公式(1)计算:

$$Pa = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\% \quad (1)$$

式中,  $Pa$  为降水距平百分率(%);  $P$  为某时段降水量(mm);  $\bar{P}$  为对应时段多年平均降水量(mm), 一般计算 30 年的平均值。

降水距平百分率指标能直观反映降水异常引起的农业干旱程度, 降水量距平百分率气象干旱等级如下表(表 1), 从而判断无旱、轻旱、中旱、重旱、特旱的天数。

**Table 1.** Precipitation distance level percentage drought classification table (according to meteorological drought level criteria)

**表 1.** 降水量距平百分率干旱等级划分表(根据气象干旱等级标准)

等级	类型	降水量距平百分率 $Pa(\%)$		
		月尺度	季尺度	年尺度
1	无旱	$-40 < Pa$	$-25 < Pa$	$-15 < Pa$
2	轻旱	$-60 < Pa \leq -40$	$-50 < Pa \leq -25$	$-30 < Pa \leq -15$

Continued

3	中旱	$-80 < Pa \leq -60$	$-70 < Pa \leq -50$	$-40 < Pa \leq -30$
4	重旱	$-95 < Pa \leq -80$	$-80 < Pa \leq -70$	$-45 < Pa \leq -40$

### 2.3.2. 灾害风险评估指标的建立

在区划过程中，由于所选因子的量纲不同，所以对因子进行标准化。根据具体情况，采用极大值标准化或极小值标准化方法[19]。表达式为：

极大值标准化：

$$X_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (2)$$

极小值标准化：

$$X_{ij} = \frac{X_{\max} - X_{ij}}{X_{\max} - X_{\min}} \quad (3)$$

式中， $X_{ij}$  为第  $i$  个因子的第  $j$  项指标； $X_{ij}$  为去量纲后的第  $i$  个因子的第  $j$  项指标； $X_{\min}$ 、 $X_{\max}$  为该指标的最小值和最大值。如果因子与夏旱的综合风险性成正比，选用公式(2)，反之，选用公式(3)。

各因子权重主要采用层次分析法(AHP)计算，它是用一种标度对人的主观判断进行客观量化，具体计算方法参见文献[20] [21]。最后根据自然灾害风险评估原理及评价指标体系，利用加权综合评价法，构建夏旱灾害风险指数模型。

对于干旱致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体暴露性和防灾减灾能力指数 4 个指标，表达式为：

$$Z、Y、C、F = \sum_{i=1}^n \lambda_i X_i \quad (n=1,2,3,\dots) \quad (4)$$

式中  $Z、Y、C、F$  分别表示干旱致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体暴露性和防灾减灾能力指数， $X_i$  为降水量距平百分率、海拔高度、河网密度、NDVI 等， $\lambda_i$  为权重。

对于综合风险指数，表达式为：

$$I = \sum_{i=1}^4 \lambda_i X_i \quad (5)$$

式中  $I$  表示干旱综合风险指数， $X_i$  为影响干旱致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体暴露性和防灾减灾能力指数， $\lambda_i$  为权重，其中致灾因子危险性权重为 0.50，孕灾环境敏感性权重为 0.17，承灾体暴露性权重为 0.17，防灾减灾能力权重为 0.16。

最后，构建夏旱灾害风险指数模型如下表 2：

**Table 2.** Factor weights of drought disaster risk assessment indicators in Heilongjiang Province  
**表 2.** 黑龙江省干旱灾害风险评估指标因子权重

评估因子	因子指标	指标权重
致灾因子	轻旱天数	0.10
	中旱天数	0.16
	重旱天数	0.28
	特旱天数	0.47

Continued

孕灾环境	海拔高度	0.25
	河网密度	0.50
	NDVI	0.25
承灾体	农作物播种面积	0.50
	人口密度	0.50
防灾减灾能力	人均 GDP	1.00

### 3. 结果分析

#### 3.1. 致灾因子危险性

黑龙江省夏季干旱致灾因子危险性评估指标包括轻旱天数、中旱天数、重旱天数、特旱天数，所对应的因子权重分别是 0.47、0.28、0.16、0.10。轻旱天数、中旱天数、重旱天数、特旱天数越多，夏旱危险性越大，因此在计算夏季轻旱天数、中旱天数、重旱天数、特旱天数指标时进行极大值标准化，得到夏旱致灾因子危险性。将夏旱致灾因子危险性应用 GIS 平台的自然分级法分成低危险性、中危险性、高危险性共 3 个等级如图 2。

从图 2 中可以看出，黑龙江省夏季干旱致灾因子危险性有明显的空间差异性。总体上，表现出西部危险性高、东部危险性低的特点。低、中、高危险区分别占到全省面积的 71.70%、21.15%、7.15%，面积分别为 339142.94 km<sup>2</sup>、100021.56 km<sup>2</sup>、33835.50 km<sup>2</sup>。其中龙江县、齐齐哈尔市、杜蒙县为高危险性区，还有甘南县、讷河市、富裕县、林甸县等部分地区为高危险性区；中危险性区主要分布在西部的呼中区、新林区、嫩江县、依安县、大庆市等部分区域，北部的富锦市、绥滨县等部分地区及南部的绥芬河市、东宁县等部分地区；低危险性区广泛分布在中东部大部分地区。

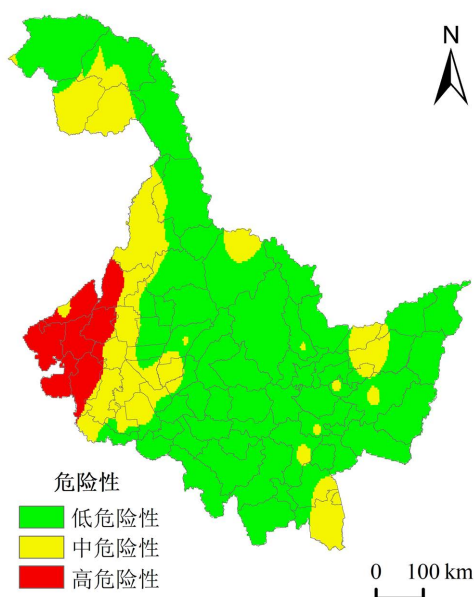


Figure 2. Spatial distribution of risk factors of summer drought in Heilongjiang Province

图 2. 黑龙江省夏季干旱致灾因子危险性空间分布图

### 3.2. 孕灾环境敏感性

黑龙江省夏季干旱孕灾环境敏感性评估指标包括海拔高度、河网密度、NDVI，所对应的因子权重分别是 0.25、0.50、0.25。一般海拔越高，干旱发生几率越大，干旱敏感性越大，因此本文在计算海拔高度时将此因子进行极大值标准化；河网密度会改变区域小气候，河网密度越大的地区，空气湿度越大，越不易发生干旱，干旱敏感性越弱，因此本文在计算河网密度时将此因子进行极小值标准化；植被可以起到涵养水源的作用，在一定程度上可以缓解干旱，因此本文在计算 NDVI 时将此因子进行极小值标准化；最终将三个指标叠加得到夏旱孕灾环境敏感性。将夏旱孕灾环境敏感性应用 GIS 平台的自然分级法分成低敏感性、中敏感性、高敏感性共 3 个等级如图 3。

从图 3 中可以看出，黑龙江省夏季干旱孕灾环境敏感性空间差异性较大。总体上，表现出北部、西部、南部敏感性较高，中东部敏感性较低。低、中、高敏感性区分别占到全省面积的 21.14%、57.03%、21.83%，面积分别为 99998.70 km<sup>2</sup>、269766.44 km<sup>2</sup>、103234.86 km<sup>2</sup>。其中大庆市、安达市、肇东市等大部分地区为高敏感性区，还有漠河县、呼中区、新林区、齐齐哈尔市、绥芬河市等小部分地区为高敏感性区；中敏感性区广泛分布在北部、南部地区，主要是孙吴县、逊克县、伊春市、龙江县、林口县、鸡西市等地区；低敏感性区主要分布在中部的望奎县、海伦市、依兰县、方正县、汤原县、五常市、桦川县、佳木斯市等地区。

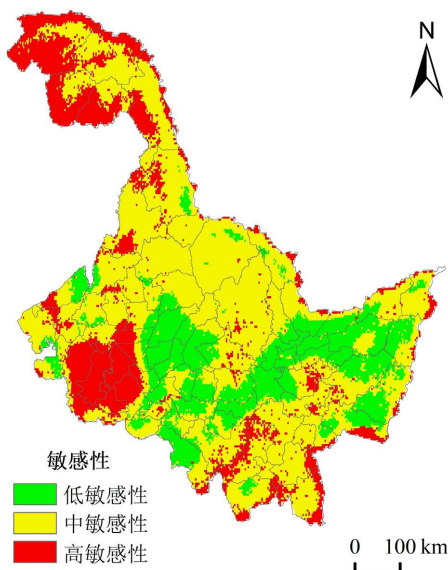


Figure 3. Spatial distribution of environmental sensitivity to summer drought pregnancy in Heilongjiang Province  
图 3. 黑龙江省夏季干旱孕灾环境敏感性空间分布图

### 3.3. 承灾体暴露性

黑龙江省夏季干旱承灾体暴露性评估指标包括农作物播种面积、人口密度，所对应的因子权重分别是 0.50、0.50。夏季是绝大多数农作物最重要的发育期，严重干旱时会导致农作物在生育期因缺少水分而减缓生长甚至不能生长，从而造成农作物的品质降低，甚至出现绝产等现象，因此农作物播种面积越大，夏旱灾害暴露性越强，本文在计算时将此因子进行极大值标准化；人口密度是指单位面积上的人口数量，研究表明，人口密集区是受灾严重地区，人口密度越高，同样情境下，承载体暴露性越大，因此本文在计算时将此因子进行极大值标准化。最终将农作物播种面积、人口密度两个指标叠加得到夏旱承

灾体暴露性。将夏旱承灾体暴露性应用 GIS 平台的自然分级法分成低暴露性、中暴露性、高暴露性共 3 个等级如图 4。

从图 4 中可以看出，黑龙江省夏季干旱承灾体暴露性空间差异性显著。总体上，表现出西南部高暴露性、东北部低暴露性的特征。低、中、高暴露性区分别占到全省面积的 46.54%、37.58%、15.88%，面积分别为 220130.28 km<sup>2</sup>、177773.73 km<sup>2</sup>、75095.99 km<sup>2</sup>。其中齐齐哈尔市、依安县、青冈县、宾县、五常市、明水县、绥化市、海伦市等地为高暴露性区；中暴露性区分布比较零散，主要分布在龙江县、林甸县、庆安县、尚志市、勃利县、依兰县、密山市等地；低暴露性区主要分布在北部的漠河县、呼玛县等地，东北部的黑河市、孙吴县、伊春市等地，东部的宝清县、抚远县、饶河县等地，以及南部的海林市、东宁县、穆棱县等地区。

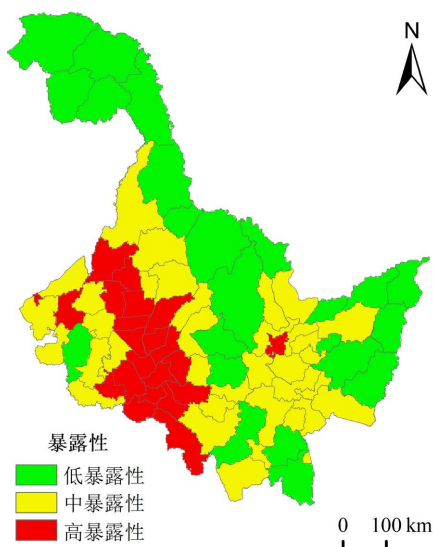


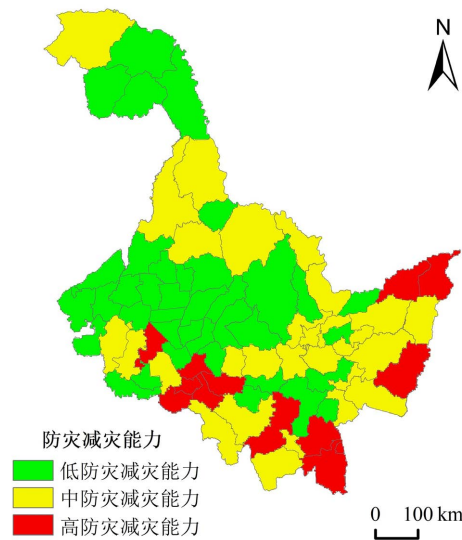
Figure 4. Spatial distribution of exposure of drought-bearing bodies in summer in Heilongjiang Province

图 4. 黑龙江省夏季干旱承灾体暴露性空间分布图

### 3.4. 防灾减灾能力

黑龙江省夏季干旱防灾减灾能力评估指标是人均 GDP，即对应的因子权重是 1。人均 GDP 越高，可投入防灾减灾救灾建设方面的经费越高，民众储备必要的科学常识和自救知识越多，对组织民众进行灾害演练、模拟灾害现场、积累实战经验等措施配合程度也越高，干旱防灾减灾能力越强，在计算时将此因子进行极大值标准化。因为防灾减灾能力指标仅选择人均 GDP 1 个因子，所以对人均 GDP 因子计算的极大值标准化就是防灾减灾能力指标。将夏旱防灾减灾能力应用 GIS 平台的自然分级法分成低防灾减灾能力、中防灾减灾能力、高防灾减灾能力共 3 个等级如图 5。

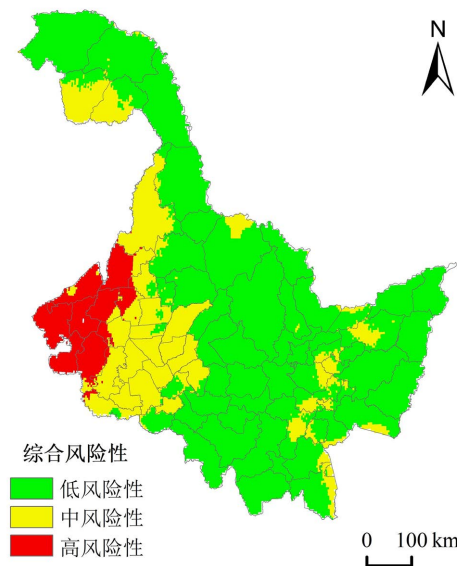
从图 5 中可以看出，黑龙江省夏季干旱防灾减灾能力空间分布略有差异。总体上，表现出东部、南部防灾减灾能力高，西部防灾减灾能力低的规律。低、中、高防灾减灾能力区分别占到全省面积的 43.41%、42.86%、13.73%，面积分别为 205323.74 km<sup>2</sup>、202721.09 km<sup>2</sup>、64955.18 km<sup>2</sup>。其中哈尔滨市、宾县、海林市、东宁县、绥芬河市、虎林县、抚远县等地为高防灾减灾能力区；中防灾减灾能力区主要分布在漠河县、黑河市、逊克县、依兰县、桦南县、密山市、宝清县、饶河县、富锦市等地；低防灾减灾能力区主要分布在北部的塔河县、呼玛县等地，中西部的龙江县、海伦市、铁力市、绥化市、伊春市、肇州县、铁力市等地。



**Figure 5.** Spatial distribution of summer drought prevention and mitigation capacity in Heilongjiang Province  
**图 5.** 黑龙江省夏季干旱防灾减灾能力空间分布图

### 3.5. 综合风险性区划

通过对夏季干旱致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体暴露性和防灾减灾能力 4 个指标进行叠加，分别赋予权重为 0.50、0.17、0.17、0.16。其中致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体暴露性数值越大，夏季干旱风险性指数越大，因此本文在计算时对致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体暴露性进行极大值标准化；而防灾减灾能力越大时，抵抗夏旱灾害发生的防御能力越强，因此本文在计算时对防灾减灾能力进行极小值标准化。最后将夏旱综合风险性应用 *gis* 平台的自然分级法分成低风险性、中风险性、高风险性共 3 个等级如图 6。



**Figure 6.** Spatial distribution of integrated riskiness of summer drought in Heilongjiang Province  
**图 6.** 黑龙江省夏季干旱综合风险性空间分布图



从图 6 中可以看出, 黑龙江省夏季干旱综合风险性空间分布特征显著。总体上, 黑龙江省夏旱表现出由西向东逐渐减小的趋势。低、中、高综合风险性区分别占到全省面积的 70.28%、21.93%、7.79%, 面积分别为 332445.28 km<sup>2</sup>、103730.17 km<sup>2</sup>、36824.55 km<sup>2</sup>。其中西部的龙江县、齐齐哈尔市、泰来县、甘南县、杜蒙等地为高风险性区, 还有依安县、讷河市、富裕县等地部分地区也是高风险性区; 中风险性区主要分布在呼中区、安达市、大庆市、拜泉县、肇东市、大庆市、哈尔滨市、绥化市、海伦市等地; 低风险性区广泛分布在全省大部分地区, 主要分布在漠河县、黑河市、伊春市、佳木斯市、宁安市、延寿县、饶河县、同江市、抚远县等地。

## 4. 结论与讨论

### 4.1. 结论

1) 黑龙江省夏旱致灾因子危险性西高东低。高危险性区主要分布在龙江县、齐齐哈尔市、杜蒙县等地; 低危险性区广泛分布在中东部大部分地区。

2) 夏旱孕灾环境敏感性中, 高敏感性区主要分布在大庆市、安达市、肇东市等大部分地区, 还有漠河县、呼中区、新林区等小部分地区也有分布; 低敏感性区主要分布在中部的望奎县、海伦市、依兰县、方正县等地。

3) 夏季干旱承灾体暴露性西南部高、东北部低。高暴露性区分布在齐齐哈尔市、依安县、青冈县等地; 低暴露性区广泛分布在北部、东北部、东部以及南部的部分市县。

4) 夏旱高防灾减灾能力区主要在哈尔滨市、宾县、海林市等地; 低防灾减灾能力区主要分布在北部、中西部等地。

5) 黑龙江省夏旱综合风险性表现出由西向东逐渐减小的趋势。其中高风险性区主要在西部的龙江县、齐齐哈尔市、泰来县等地; 低风险性区广泛分布在全省大部分地区。

### 4.2. 讨论

影响干旱灾害的因素数不胜数, 需要考虑的指标也很多, 尤其黑龙江省境域辽阔, 部分偏远地区数据信息记载不全, 本文在研究中承灾体主要考虑了农作物播种面积和人口密度, 对具体作物类型还未考虑, 此外在防灾减灾能力评估时仅考虑了人均 GDP, 对一些工程设施及应急处置能力等方面由于数据短缺没有考虑, 有关部门应加强数据统计工作, 使风险区划结果更加完善, 对我们的生产生活更具有有一定意义的指示作用。

## 参考文献

- [1] 郑方, 马力文. 宁夏农业干旱风险评估与区划[J]. 农业灾害研究, 2021, 11(6): 152-155.
- [2] 赵冬青, 李政璇, 余瀚, 张永凯. 基于 GIS 的陇东黄土高原地区干旱灾害风险综合评估[J]. 农业科技与信息, 2020(21): 60-64.
- [3] 张艳明. 甘肃省干旱灾害风险评估及区划研究[D]: [硕士学位论文]. 西安: 西安科技大学, 2021.
- [4] 李大驰. 西北地区农业干旱灾害风险评估[D]: [硕士学位论文]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2021.
- [5] 朱军, 帅士章, 王星, 李进讷, 丁立国, 田鹏举. 基于 GIS 的贵州省农业干旱灾害危险性评价[J]. 中低纬山地气象, 2021, 45(1): 9-16.
- [6] 王利民, 刘佳, 张有智, 杨福刚, 高建孟, 刘述彬. 我国农业干旱灾害时空格局分析[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(1): 96-105.
- [7] 李蒙, 窦小东, 张明达, 鲁韦坤, 周建琴, 朱勇. 云南小粒咖啡干旱风险评估[J]. 热带农业科学, 2021, 41(5): 33-40.
- [8] 张淑华, 李炳军, 朱晓宵. 基于灰色模型的河南省玉米干旱灾害预警[J]. 陕西农业科学, 2021, 67(1): 64-70.

- [9] 史继清, 杨霏云, 边多, 周刊社, 甘臣龙. 基于干旱灾害风险综合评估指数的西藏主要农区青稞干旱时空格局[J]. 中国农学通报, 2021, 37(2): 80-87.
- [10] 李聪, 孙菀, 刘佳, 李彤霄. 河南省大豆干旱风险区划研究[J]. 湖北农业科学, 2020, 59(12): 51-55.
- [11] 金林雪, 唐红艳, 武荣盛, 王惠贞, 刘林春. 内蒙古大豆干旱灾害风险分析与区划[J]. 中国农业科技导报, 2020, 22(1): 106-115.
- [12] 李阳, 马力文, 赵金龙, 朱永宁, 杨洋, 马国飞. 彭阳县玉米干旱风险评估与区划[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(9): 142-150.
- [13] 王莺, 沙莎, 王素萍, 王劲松, 姚玉璧. 中国南方干旱灾害风险评估[J]. 草业学报, 2015, 24(5): 12-24.
- [14] 李万志, 张调风, 马有绚, 冯晓莉, 余迪, 陈冀青. 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+493.
- [15] 朱海霞, 李旭, 李百超. 黑龙江省春季干旱风险评估及区划[J]. 黑龙江气象, 2009, 26(2): 16-18.
- [16] 袭祝香, 杨雪艳, 刘实, 纪玲玲. 东北地区夏季干旱风险评估与区划[J]. 地理科学, 2013, 33(6): 735-740. <https://doi.org/10.13249/j.cnki.sgs.2013.06.011>
- [17] 周秀杰, 那济海, 潘华盛. 黑龙江省夏季干旱气候特征及成因分析[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(5): 131-135. <https://doi.org/10.13577/j.jnd.2011.0521>
- [18] 李雪纯, 赵君, 徐进超. 基于降水距平百分率的安徽省近 50a 干旱时空分布特征分析[J]. 中国农村水利水电, 2018(9): 133-136+143.
- [19] 罗日洪, 黄锦林. 基于 AHP 和 GIS 的广西岩溶内涝灾害风险区划研究[J]. 水利规划与设计, 2021(12): 12-17+22.
- [20] Karhunen, J. and Joutsensalo, J. (1994) Representation and Separation of Signals Using Nonlinear PCA Type Learning. *Neural Networks*, 7, 113-127. [https://doi.org/10.1016/0893-6080\(94\)90060-4](https://doi.org/10.1016/0893-6080(94)90060-4)
- [21] Chen, Y.L. and Zheng, Y.F. (2007) Face Recognition for Target Detection on PCA Features with Outlier Information. *Proceedings of the 50th Midwest Symposium on Circuits and Systems*, Montreal, 5-8 August 2007, 823-826.