

基于GIS的干旱灾害风险评估及区划研究： 以长三角地区为例

吕 瑶¹, 王金虎^{2*}, 王 静³, 王宇豪⁴, 王钰尧⁵

¹南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 江苏 南京

²南京信息工程大学应急管理学院, 江苏 南京

³中国科学院中层大气和全球环境探测重点实验室, 北京

⁴南京信息工程大学减灾与应急管理研究院, 江苏 南京

⁵南京信大安全应急管理研究院, 江苏 南京

收稿日期: 2023年5月1日; 录用日期: 2023年6月22日; 发布日期: 2023年6月29日

摘 要

基于全国第一次自然灾害风险普查的开展, 干旱是世界上具有严重危害的灾害之一, 持续的时间、造成的经济损失、影响的范围, 均居于各种自然灾害之首。在全球气候变暖的情况下, 干旱灾害发生的频率越来越高, 破坏力越来越大。本文从自然灾害风险评估角度出发, 利用长三角地区1961~2020年的年降水资料、长三角地区的社会属性资料和地理信息数据, 以及GIS技术, 从干旱灾害致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损失性、防灾减灾能力4个影响指标中选取相对应的评价指标构建了长三角地区干旱灾害风险评估模型, 通过所收集的年降水量数据以及温度数据, 利用标准化降水指数结合干旱资料选取长三角地区轻旱、中旱、重旱以及特旱发生的频率作为致灾因子危险性评估的指标因子进行研究; 对于孕灾环境敏感性的评估, 选取降水距平百分率以及植被覆盖度作为评估因子进行研究; 对于承灾体易损失性, 选取经济密度、人口密度进行评估研究; 对防灾减灾能力选取财政收入以及水利设施数作为评估指标进行研究, 并对干旱灾害风险进行评估, 最后结合自然灾害风险区划原则, 对长三角地区干旱灾害进行风险区划。结果表明, 江苏省南京市、镇江市、常州市、苏州市、南通市、盐城市、徐州市和浙江省杭州市、舟山市以及上海市闵行区、浦东新区等区域属于高风险区, 其他地区干旱风险较低。

关键词

干旱灾害, 风险评估, 致灾因子, 长三角地区

Study on Risk Assessment and Zoning of Drought Disaster Based on GIS: A Case Study of Yangtze River Delta

Yao Lv¹, Jinhu Wang^{2*}, Jing Wang³, Yuhao Wang⁴, Yuyao Wang⁵

*通讯作者。

文章引用: 吕瑶, 王金虎, 王静, 王宇豪, 王钰尧. 基于 GIS 的干旱灾害风险评估及区划研究: 以长三角地区为例[J]. 运筹与模糊学, 2023, 13(3): 2328-2338. DOI: 10.12677/orf.2023.133233

¹Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu

²School of Emergency Management, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu

³Key Laboratory of Middle Atmosphere and Global Environment Observation, Chinese Academy of Sciences, Beijing

⁴Academy of Disaster Reduction and Emergency Management of Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing Jiangsu

⁵Nanjing Xinda Institute of Safety and Emergency Management, Nanjing Jiangsu

Received: May 1st, 2023; accepted: Jun. 22nd, 2023; published: Jun. 29th, 2023

Abstract

Based on the development of the first national natural disaster risk survey, drought disasters is one of the disasters with serious harm in the world, and its duration, economic losses and impact range rank first among all kinds of natural disasters. In the case of global warming, the frequency of drought disasters is getting higher and higher, and the destructive power is getting bigger and bigger. From the perspective of natural disaster risk assessment, this paper uses the annual precipitation data, social attribute data and geographic information data of the Yangtze River Delta from 1961 to 2020, and uses GIS technology to select the corresponding evaluation indicators from four influencing indicators: the risk of disaster-causing factors, the sensitivity of pregnant environment, the vulnerability of disaster-bearing bodies and the ability of disaster prevention and mitigation, and constructs a drought disaster risk assessment model in the Yangtze River Delta. Based on the collected annual precipitation data and temperature data, the frequency of light drought, moderate drought, severe drought and extreme drought in the Yangtze River Delta region is selected as the index factor for risk assessment of disaster-causing factors by using standardized precipitation index combined with drought data. For the assessment of environmental sensitivity of pregnancy disaster, the percentage of precipitation anomaly and vegetation coverage are selected as evaluation factors. For the vulnerability of disaster-bearing bodies, economic density and population density are selected to evaluate and study; the fiscal revenue and the number of water conservancy facilities are selected as evaluation indexes for disaster prevention and mitigation, and the risk of drought disaster is evaluated. Finally, combined with the principle of natural disaster risk zoning, the risk zoning of drought disaster in the Yangtze River Delta region is carried out. The results show that Nanjing, Zhenjiang, Changzhou, Suzhou, Nantong, Yancheng and Xuzhou in Jiangsu Province, Hangzhou and Zhoushan in Zhejiang Province, Minhang District and Pudong New Area in Shanghai belong to high-risk areas, while the drought risk in other areas is low.

Keywords

Drought Disaster, Risk Assessment, Disaster-Causing Factors, Yangtze River Delta Region

Copyright © 2023 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

近年来, 干旱、高温、暴雨等气象灾害频繁发生且日益加重, 气象灾害风险评估对于防灾减灾具有重要意义。对于干旱灾害的研究, 一般情况下大多数学者主要通过致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、

承灾体易损性、防灾减灾能力等四个指标进行评估研究,通过对影响这四个指标的不同因素进行分析评价。总体来说一个区域干旱灾害的发生,都脱离不了这四个因子的综合作用的影响。因此众多学者们主要通过研究这四大因子对旱灾风险性进行评估研究。史继清[1]等通过对旱灾发生而造成的致灾因子危险性、承灾体易损失性、灾损脆弱性、防灾减灾能力等因素结合专家打分以及熵值法确定其因素的权重值,构建干旱风险性模型,并对西藏主要农业区的干旱特征时空格局做出分析研究。高操[2]等通过自然灾害风险理论的原理,结合 GIS 空间分析功能,对河北省沧州市的相关数据进行整理汇总,并从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、灾害承受体脆弱性和防灾抗灾能力四个方面研究,对河北省沧州市的小麦做出了干旱风险性评估研究。屈艳萍[3]等通过使用层析分析法和 GIS 中的空间分析功能,结合旱灾风险理论,对云南省干旱灾害风险进行评估区划研究。谢宗堂[4]等通过利用信息扩散技术和信息矩阵,确定了我国粮食主产区旱灾风险分布,定量分析了年受旱率与粮食生产损失的关系,对我国的农业干旱风险进行分析与评价提供一定的参考价值。刘长虹[5]等通过研究四川省不同地貌类型之间干旱特征的差异,利用四川省 44 个气象站 1961~2019 年的资料,计算了 SPI 和 SPEI 值,并采用 Mann-Kendall 趋势检验和多元线性回归方法(MLR)量化了不同时空尺度干旱特征趋势的显著性。陈琼[6]等通过研究利用 TR 1912~2012 年的统计干旱灾害数据和 1965~2015 年 5 个时期的社会经济统计数据,采用标准统计分析、小波分析和风险评估模型,通过对干旱灾害风险评估建设指标体系,并对其进行风险评估以及分析干旱灾害风险变化的机理。廖春贵[7]等通过利用广西的旱灾资料情况和社会属性因素结合综合加权评估法对广西市的 14 个地级市的干旱进行了评估研究。对于干旱的研究,众多学者的选取角度不同,从不同的方法与思路研究。因此干旱灾害的研究依旧是当代的热潮。旱灾的研究是源源不断的,对于旱灾的研究,能够提高对干旱的防御能力,对管理者对于旱灾的规划可以提供一定的科学指导。所以对于旱灾的研究也是至关重要的。

经统计,长三角地区中,江苏省旱灾主要出现在 3~10 月,除冬季外,其他三个季节均可出现明显旱灾。将全省分为淮北、江淮、苏南三地区,当某地区成片 4 个站或以上降水量与常年同期相比,其雨量小于常年雨量 50%的季节称该地区为旱灾季节。安徽省在 2008 年 11 月初至 2009 年 2 月沿淮淮北地区冬小麦发生 50 年未遇的秋冬连旱,造成严重的经济损失。浙江省强烈的干旱都发生在气温偏高阶段,60 年代中后期及 2003~2004 的严重干旱都发生在气温偏高阶段,这两个阶段也是浙江 50 多年来夏季和秋季降水年代际尺度里最少的年代[8]。从长时间尺度看 50 多年来浙江夏季降水增多,气温升高不明显,秋季降水减少及气温升高都较明显,秋季出现干旱的频率在长时间内将不断上升。

本文以长三角地区为研究对象,结合灾害致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体脆弱性以及防灾减灾能力这些因素,对长三角地区综合干旱灾害进行风险评估,为长三角地区应对干旱灾害损失提供科学依据,并为长三角地区干旱灾害风险评估提供参考[9]。得出结论,江苏省泰州市、南通市和上海市宝山区和杭州市金华市、绍兴市、潮州市等区域干旱频率较高,致灾因子危险性较高。江苏省宿迁市、徐州市、淮安市、常州市和安徽省阜阳市、宿州市、马鞍山市、黄山市、芜湖市等区域孕灾环境敏感性较高。江苏省南京市、无锡市、南通市、苏州市和上海市宝山区和浙江省嘉兴市、杭州市、金华市、台州市、绍兴市、宁波市、温州市等区域干旱承灾体损失风险较高。江苏省苏州市和浙江省杭州市、宁波市等区域防灾减灾能力较强。结合以上分析,综合得出结论:江苏省南京市、镇江市、常州市、苏州市和浙江省杭州市、舟山市以及上海市闵行区、浦东新区等区域属于干旱高风险区[10]。

2. 资料与方法

2.1. 资料来源

气象数据:本文所采用的气象相关数据为中国气象局提供的长三角地区 222 多个气象站点 1961~2020

年的年降水数据和温度等数据。地理信息数据：长三角地区各省、各县区行政界线以及 30 米分辨率的地形地貌数据和长三角地区植被覆盖数据均是通过地理空间数据云共享软件下载。

2.2. 研究方法

对于一个区域的干旱风险评估研究，主要是通过研究影响干旱风险的致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损失性、防灾减灾能力四个影响指标的相互叠加综合的结果而导致的干旱风险的大小。然而这四大因子风险性的大小又是通过各个指标下面的许多因素以及因素的权重值综合决定的。

建立长三角地区干旱灾害数据库，构建干旱致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体脆弱性、防灾减灾能力评估模型和干旱综合风险模型，利用 ArcGis 完成长三角地区干旱综合风险区划[11]。

2.2.1. 标准化降水指数(SPI)

标准化降水指数(SPI) [12]是由美国学者提出。此方法数据收集方便，计算过程相对简单，而且能够有效地反映出区域的干旱情况，因此使用较为广泛。计算方法具体如下所示：

如果某个区域的降雨量数据为，那么相对应的 Γ 的分布概率密度函数为：

$$f(x) = \frac{1}{\beta^\gamma \Gamma(\gamma)} x^{\gamma-1} e^{-x/\beta}, x > 0 \quad (2.1)$$

式中 $\beta > 0$ ， $\lambda > 0$ 分别代表着尺度参数与形状参数 β 、 λ 一般情况下主要通过采用极大似然估计法进行求解计算所获取。

$$\hat{\gamma} = \frac{1 + \sqrt{1 + 4A/3}}{4A} \quad (2.2)$$

$$\hat{\beta} = \frac{\bar{x}}{\bar{\gamma}} \quad (2.3)$$

$$A = \lg \bar{x} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg x_i \quad (2.4)$$

式中： x_i ：指的是降雨量数据值；

$\bar{x}$ ：指的是所对应的降雨量气候的平均值。

通过上述公式计算出概率密度函数中的各项参数值，对于某一年的降水量 x_0 ，计算某年随机降水量 x 小于 x_0 概率一般通过如下公式所获取。

$$F(x < x_0) = \int_0^{x_0} f(x) dx \quad (2.5)$$

通过利用统计学中的数值积分的方法结合式(2.1)和式(2.5)得到事件的概率近似估计值。

对于降水量为的计算采用下列公式计算：

$$F(x=0) = \frac{m}{n} \quad (2.6)$$

式中： m ：指的是降雨量为 0 的样本数据值；

n ：指的是总的样本数。

对于 Γ 分布概率进行正态标准化处理，结合式(2.5)，(2.6)所求的概率值代入下面的公式中进行处理分析；

$$F(x < x_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{x_0} e^{-z^2/2} dz \quad (2.7)$$

然后对其求近似解可得：

$$Z = S \frac{t - (c_2 t + c_1)t + c_0}{[(d_3 t + d_2)t + d_1]t + 1.0} \quad (2.8)$$

式中 $t = \sqrt{\ln \frac{1}{F^2}}$ ， F 为(2.5)或(2.6)中所求的值。当 $F > 0.5$ 时， $F = 1.0 - F$ ， $S = 1$ ；当 $F < 0.5$ 时， $S = -1$ 。

$$c_1 = 2.515517; \quad c_2 = 0.802853; \quad c_3 = 0.010328;$$

$$d_1 = 1.432788; \quad d_2 = 0.189269; \quad d_3 = 0.001308。$$

通过对式(2.8)计算求解得到的 Z 值及最终所求的标准化降水指数，标准化降水指数气象干旱等级划分具体见表 1。

Table 1. Standardized precipitation index meteorological drought grading table
表 1. 标准化降水指数气象干旱等级划分表

等级	标准化降水指数(SPI)
无旱	$-0.5 < \text{SPI}$
轻旱	$-1.0 < \text{SPI} \leq -0.5$
中旱	$-1.5 < \text{SPI} \leq -1.0$
重旱	$-2.0 < \text{SPI} \leq -1.5$
特旱	$-2.5 < \text{SPI} \leq -2.0$

2.2.2. 干旱频率

$$\text{干旱频率} = \text{干旱发生年数} / \text{总的年数}$$

2.2.3. 降水距平百分率

降水距平百分率主要是反映在一定的时间段内降水量与同时间段内平均降水量的状态之间的差异。具体计算如下：

$$P_b = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\% \quad (2.9)$$

其中： P_b ：为在某段计算时间内降水距平百分率，用%表示。

P ：为在某段计算时间内的降水量，用 mm 表示。

$\bar{P}$ ：为在某段计算时间内的平均降水量，用 mm 表示。

其中平均降水量的计算公式如下所示：

$$\bar{P} = \frac{1}{N} \sum_{a=1}^N P_a \quad (2.10)$$

其中： N ：一般取 30，单位为日(月或者年)。

P_a ：计算时间段内第 a 日(月或者年)的降水量，单位为 mm。

2.2.4. 干旱综合风险区划模型[13] [14]

$$\text{干旱风险指数} = \text{致灾因子危险性} \times wh + \text{孕灾环境敏感性} \times we + \text{承灾体脆弱性} \times ws + \text{防灾减灾能力} \times wr$$

其中， wh 为致灾因子危险性权重系数， we 为孕灾环境敏感性权重系数， ws 为承灾体脆弱性权重系数，

w_r 为防灾减灾能力权重系数。

3. 结果与分析

3.1. 长三角地区致灾因子危险性

致灾因子危险性主要是指导致干旱灾害发生时所发生的自然情况的变化以及这种变化所产生影响的大小。例如降水的减少, 干旱发生的频率, 空气中的蒸发量以及温度都可能成为导致干旱形成的致灾因子。通常情况下, 随着致灾因子危险性的升高, 那么相对应的干旱灾害风险性也会随着致灾因子的影响而逐渐升高。对于干旱灾害所造成的危险性主要是通过干旱灾害发生的频率和所发生的干旱的强度来共同决定的[15]。本文在现已收集到资料的基础上, 主要通过选取干旱频率作为对于长三角地区干旱灾害风险性评估以及区划的致灾因子。

结合标准化降水指数干旱等级, 对于干旱灾害较轻的年份通过计算得到轻旱频率; 干旱灾害较为中等的及为中旱频率; 干旱灾害较为严重的年份计算获取得到重旱频率; 干旱灾害特为严重的年份计算及为特旱频率。

本文通过对长三角地区 1961~2020 年的年降水量数据进行处理计算, 得到长三角地区年降水量的标准化降水指数, 依照标准化降水指数干旱等级分为五个级别, 再结合各观测站点的干旱发生频率, 计算出长三角地区的各等级干旱发生的频率, 从而得到长三角地区致灾因子危险性的评估指数。利用长三角地区气象月数据、历史灾情数据、基础地理信息数据, 根据自然断点法进行重新分类, 将致灾因子危险性划分为 5 个等级, 具体为低等危险区; 次低等危险区; 中等危险区; 次高等危险区; 高等危险区[16]。通过分析得到长三角地区致灾因子危险性的空间分布见图 1。

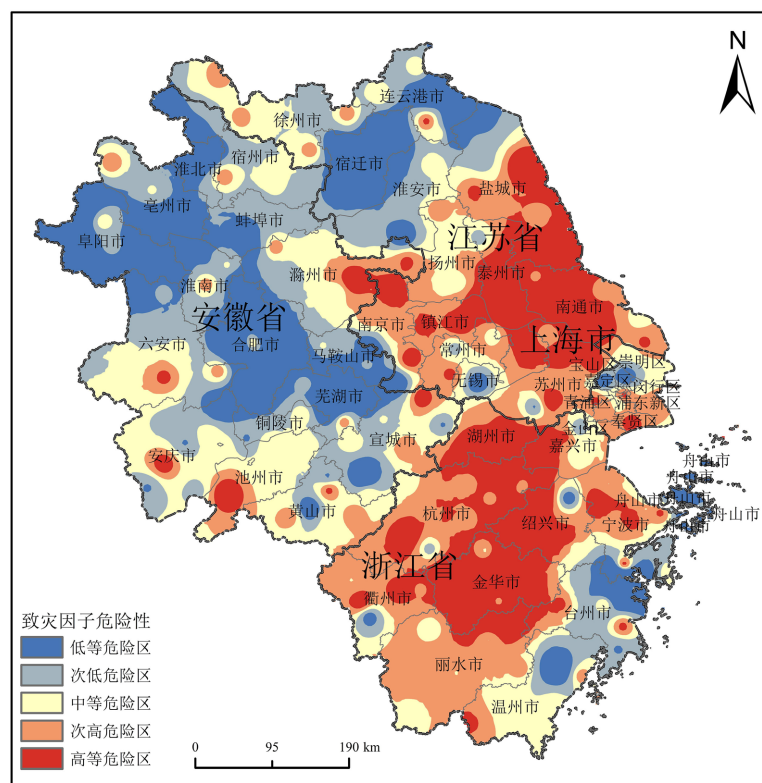


Figure 1. Hazard of disaster-causing factors in Pearl River delta region

图 1. 长三角地区致灾因子危险性

3.2. 长三角地区孕灾环境敏感性

孕灾环境敏感性，通俗来说，就是一个地区对于发生灾害所能提供的环境条件[2]，对于一个地区的孕灾环境敏感性，降水量以及植被覆盖程度等都会是对其产生影响的因素指标。孕灾环境敏感性也可以被认为是自然条件和社会经济系统对于干旱灾害的发生所具有的适应性和对灾害发生的敏感度的综合体现。对于孕灾环境敏感性的评估及其原理和致灾因子危险性评估模型一样，都是通过结合 GIS 软件中的空间分析功能，使用加权综合分析法进行分析研究并建立孕灾环境敏感性的空间分布模型。在对于孕灾环境敏感性评估中，对于降水量越充足的地方，其相对应的孕灾环境敏感性就越低；区域的植被覆盖率越大，其相对应的敏感能力也会随着降低。

3.2.1. 降水距平百分率

对于长三角地区，导致旱灾发生，其降雨量的分布不平衡起着至关重要的作用。特别是对于农业的影响特为显著，因此对于造成旱灾发生的因素中，对孕灾环境敏感性分析时，主要通过对降水量进行分析。通常一般情况下通过降水量距平百分率来研究确定指标。

3.2.2. 植被覆盖率

植被对于防御干旱灾害的发生具有决定性的作用。植被覆盖度可以保持土壤的生态平衡；植被覆盖度也能够调节地表水与地下水的含量，对空气中的湿度提高具有辅助作用，同时也能减少水土流失，因此能够减少旱灾的发生。如果区域植被覆盖度较低，导致地表水的蒸发量增加，气温差异影响较大，容易造成旱灾的发生。据相关研究植被覆盖度大的区域，其土壤的湿度也随之增加，降水量的持续时间也会减少；而植被覆盖度低的区域，甚至地表裸露的地方，其发生旱灾后，其持续时间也会随之延长。

孕灾环境敏感性的研究比较复杂，因此本文在结合长三角地区的情况，在现已收集的数据并基于 GIS 软件数据处理的方便性，综合考虑选取降水距平百分率、植被覆盖度因素作为对孕灾环境敏感性的指标作为评估研究，长三角地区孕灾环境敏感性风险区划见图 2。

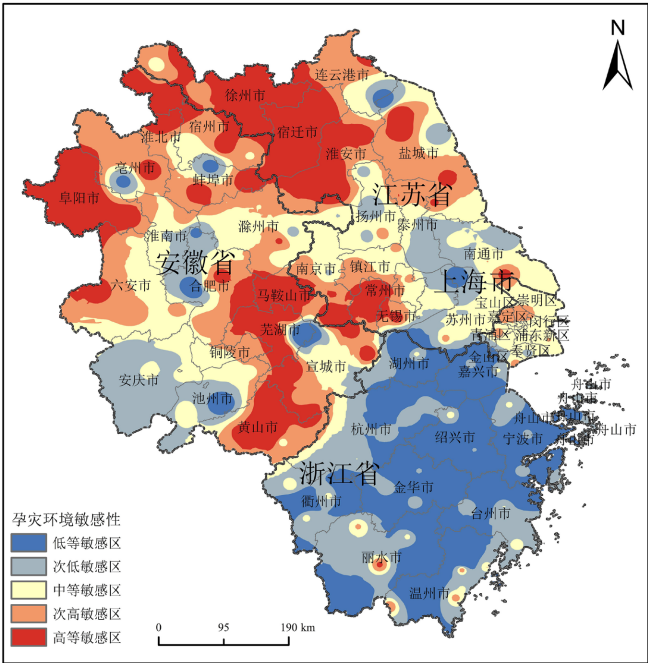


Figure 2. Environmental sensitivity of disaster preparation in Yangtze River delta region
图 2. 长三角地区孕灾环境敏感性

3.3. 长三角地区承灾体脆弱性

承灾体一般情况下是指由于自然灾害而可能承受到带来的伤害的物体,例如人员的生命安全、建筑物、贵重物品等。易损失性就是指在某种灾害发生的情况下会对承灾体造成的损失程度以及会波及到的范围程度。承灾体的特性一般都表现在其可以承受灾害的能力以及在受到灾害时其恢复能力的大小上[17]。

尽管现在对于承灾体易损失性的指标的选取还没有一个明确标准规范,但是对于承灾体易损失指标的选取有一定的遵循原则。一般情况下选取比较具有代表性而且适合普遍性,或者具有客观存在的性质以及必须准确无误的性质[8] [9] [18] [19];同时在指标选取的时候也考虑其能否可操作以及是否具有系统性和结构性的特征等,通过遵循上述的原则选取才能够使得更加全面地反映出一个区域的承灾体易损失性。因此本文将理论与长三角地区的实际情况相结合,在所收集到的现有资料中,对承载体易损失性的指标选取中,主要以长三角地区人口密度、经济密度来作为衡量干旱风险评估的指标。

根据长三角地区社会经济统计数据(GDP、各省市总人口)计算得到单位土地面积的值、单位土地面积的人口,即地均 GDP 和人口密度[11]。分别利用层次分析法计算得到两种损失在不同土地类型上的系数,根据系数生成经济易损失性和人口易损失性,加权计算得到干旱承灾体脆弱性等级,长三角地区干旱承灾体脆弱性风险区划见图 3。

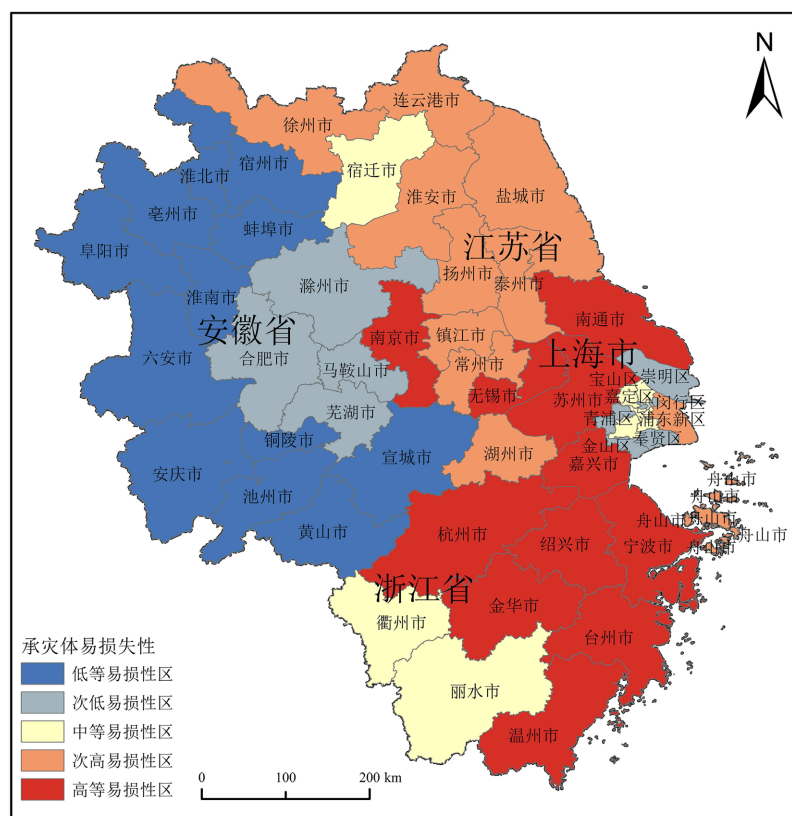


Figure 3. Vulnerability of disaster-bearing bodies in Yangtze River delta region
图 3. 长三角地区承灾体易损失性

3.4. 长三角地区防灾减灾能力

防灾减灾能力主要是指某区域在受到自然灾害的侵蚀时能够抵御灾害的能力[20]。一般情况下,防灾减灾能力主要是通过发生在灾害后当地区域的重建和恢复原状的形式来表现。防灾减灾能力主要表现为

区域的经济现状以及投入的资金能力和人力等。对于一个区域的防灾救灾能力越强，那么对于自然灾害发生时，造成的损失就越小，相对应的灾害的风险性也随之减少，反之则受到的灾害的损失性以及风险性也越大。一般情况下，防灾减灾能力主要通过当地的财政收入，水库的数目以及容量等来评判一个区域的防灾减灾能力[17]。

本文结合长三角地区的情况以及在现有资料的基础上，主要通过对长三角地区的财政收入、所拥有的水利设施数来建立防灾减灾能力模型，得到长三角地区干旱防灾减灾能力风险区划见下图 4。

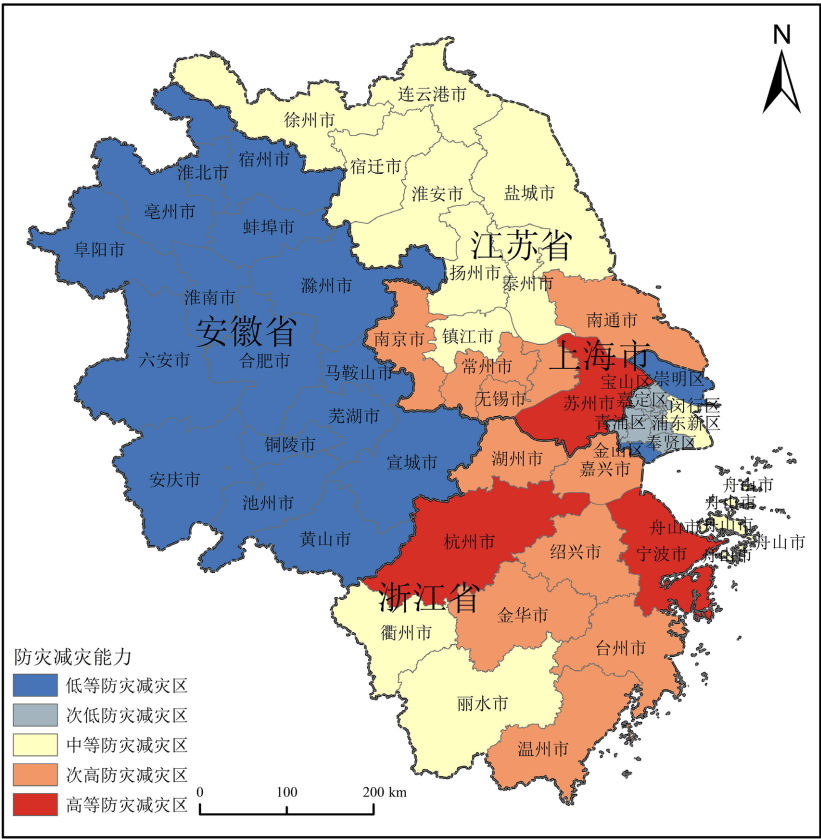


Figure 4. Disaster prevention and mitigation capacity in Yangtze River delta region
图 4. 长三角地区防灾减灾能力

3.5. 长三角地区干旱综合风险区划

在对一个区域的干旱灾害风险研究时主要通过从致灾因子危险性(H)、孕灾环境敏感性(S)、承灾体脆弱性(B)、防灾减灾能力(D) 4 个方面综合作用构成长三角地区干旱综合风险区划模型[21]。

用层次分析法分析得出各因子对应的权重系数，如表 2：

Table 2. Weight coefficient of drought risk factors in Yangtze River delta region
表 2. 长三角地区干旱风险各因子权重系数

因子	致灾因子危险性	孕灾环境敏感性	承灾体脆弱性	防灾减灾能力
权重系数	0.35	0.25	0.3	0.1

长三角地区干旱灾害风险划分具体见图 5。

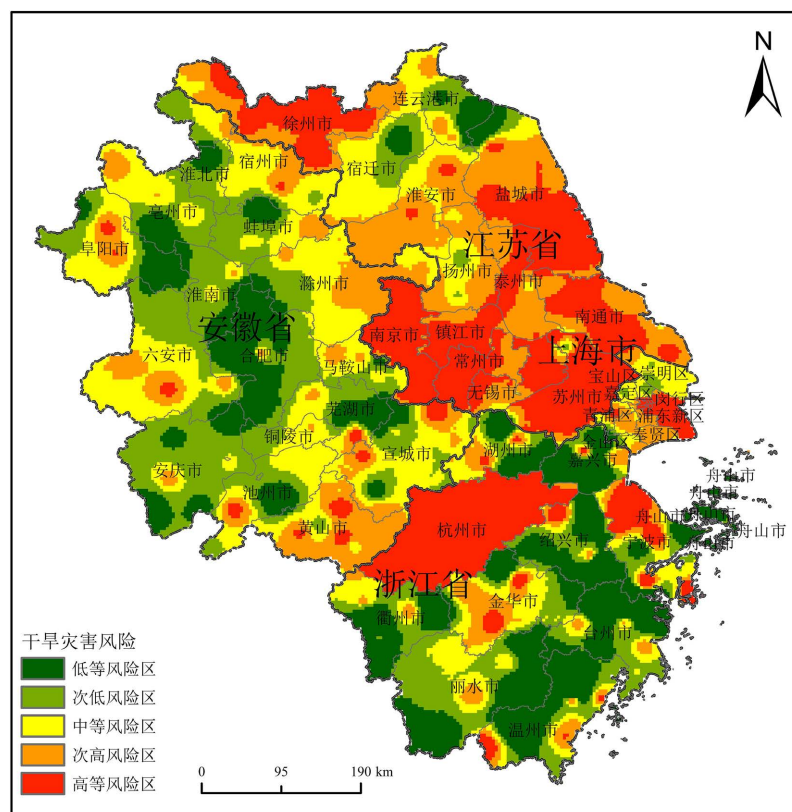


Figure 5. Drought disaster risk in Yangtze River delta region
图 5. 长三角地区干旱灾害风险

4. 讨论

本研究基于自然灾害风险原理,以长三角地区为例,综合考虑影响长三角地区主要气象数据、地形地貌等地理特征信息,依托层次分析法等构建长三角地区干旱灾害风险评估体系,运用 ArcGis 技术实现长三角地区干旱灾害风险分布分析,主要结论如下:

1) 本文通过结合所收集到的资料,在大量参考文献的基础上,基于干旱灾害风险理论方法,对四大指标因子做出选取评价。对于致灾因子危险性中,通过结合标准降水量指标与干旱年份数据进行处理,最后以轻旱、中旱、重旱以及特旱发生的频率作为致灾因子危险性评估因子;对于孕灾环境敏感性的评价,选取降水距平百分率以及植被覆盖率来进行定量分析评估;对于承灾体易损失性,选取经济密度以及人口密度等因素作为评价指标来分析评估;对于防灾减灾能力采取各县的财政收入以及大型水利设施作为评价指标来分析评估,并通过结合使用层析分析法,对各个因素因子做出权重值的确定。

2) 从四大指标分别说明:江苏省泰州市、南通市和上海市宝山区和杭州市金华市、绍兴市、潮州市等区域干旱频率较高,致灾因子危险性较高,属于高等危险区域。江苏省宿迁市、徐州市、淮安市、常州市和安徽省阜阳市、宿州市、马鞍山市、黄山市、芜湖市等区域孕灾环境敏感性较高,属于高敏感区域。江苏省南京市、无锡市、南通市、苏州市和上海市宝山区和浙江省嘉兴市、杭州市、金华市、台州市、绍兴市、宁波市、温州市等区域干旱承灾体损失风险较高。江苏省苏州市和浙江省杭州市、宁波市等区域防灾减灾能力较强。结合以上分析,因其干旱频率高,致灾因子危险性高,长三角地区干旱综合风险最高的地方为江苏省南京市、镇江市、常州市、苏州市、南通市、盐城市、徐州市和浙江省杭州市、舟山市以及上海市闵行区、浦东新区等区域。因其人均 GDP 高或财政收入高或附近有大型水利设施,防

灾减灾能力较强, 长三角地区干旱综合风险最低的地方为江苏省连云港市和安徽省合肥市、淮北市、芜湖市、沧州市和浙江省嘉兴市、绍兴市、衢州市、台州市等区域。

3) 进行长三角地区干旱风险评估与区划对长三角地区农业种植布局调整、干旱防灾减灾人力物力资源合理分配有着重要意义。有利于构建长三角地区旱灾管理机制体系, 加强对长三角地区干旱灾害的风险监测, 提高长三角地区应对旱灾的能力, 加强人们的防灾意识和防灾措施。在结合科学技术的进步以及社会经济的发展同时研究更加准确, 得到更加准确的区划分布, 可以有效地抵制灾害的发生, 为有关部门对于干旱的管理上能够提供很大的帮助, 也能够保障区域农业的发展。

基金项目

国家自然科学基金(41905026); 江苏省自然科学基金(BK20170945); 南京信息工程大学人才启动基金(2016r028); 中国博士后科学基金第 63 批面上课题(2018M631554); 江苏省 333 高层次人才培养工程资助。

参考文献

- [1] 史继清, 杨霏云, 边多, 等. 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.
- [2] 高操, 陈希, 张方敏, 等. 基于 GIS 的沧州市小麦干旱气象灾害风险评估[J]. 安徽农业科学, 2019, 47(21): 223-226.
- [3] 屈艳萍. 旱灾风险评估理论及技术研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2018.
- [4] Xie, Z., Xu, J. and Deng, Y. (2016) Risk Analysis and Evaluation of Agricultural Drought Disaster in the Major Grain-Producing Areas, China. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7, 1691-1706. <https://doi.org/10.1080/19475705.2015.1091387>
- [5] Liu, C., Yang, C., Yang, Q. and Wang, J. (2021) Spatiotemporal Drought Analysis by the Standardized Precipitation Index (SPI) and Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) in Sichuan Province, China. *Scientific Reports*, 11, Article No. 1280. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80527-3>
- [6] Chen, Q., Liu, F., Chen, R., et al. (2019) Trends and Risk Evolution of Drought Disasters in Tibet Region, China. *Journal of Geographical Sciences*, 29, 1859-1875. <https://doi.org/10.1007/s11442-019-1993-z>
- [7] 廖春贵, 秦年秀, 胡宝清, 等. 基于 GIS 和加权综合指数模型的 2015 年广西旱灾风险暴露度评估[J]. 安徽农业科学, 2017, 45(8): 69-73.
- [8] 刘小艳. 陕西省干旱灾害风险评估及区划[D]: [硕士学位论文]. 西安: 陕西师范大学, 2010.
- [9] 姚玉璧, 张强, 李耀辉, 等. 干旱灾害风险评估技术及其科学问题与展望[J]. 资源科学, 2013, 35(9): 1884-1897.
- [10] 刘琰琰, 李佳星, 代逸冰, 等. 基于 GIS 的四川盆周北部山区夏玉米农业气象灾害风险评估——以旺苍县为例[J]. 应用生态学报, 2022, 33(9): 2457-2465.
- [11] 何梦莎, 徐锦山, 陈莹, 等. 基于 GIS 的杭州市富阳区水稻干旱风险区划[J]. 农技服务, 2016, 33(6): 137-138.
- [12] 中国气象局. GBT20481-2017 气象干旱等级[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [13] 杨易诚. 基于 GIS 的山丹县气象灾害风险区划研究[J]. 农业灾害研究, 2019, 9(1): 32-36.
- [14] 陈晶. 黑龙江省气象灾害风险区划与灾害评估研究[D]: [硕士学位论文]. 兰州: 兰州大学, 2016.
- [15] 吴双, 姜丽霞, 李宇光, 等. 基于自然灾害风险理论的黑龙省玉米干旱风险评价[J]. 气象与环境学报, 2019, 35(6): 139-144.
- [16] 王莺, 沙沙, 王素萍, 等. 中国南方干旱灾害风险评估[J]. 草业学报, 2015, 24(5): 12-24.
- [17] 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]. 西安科技大学: 西安科技大学.
- [18] 邹敏. 基于 GIS 技术的黄水河流域山洪灾害风险区划研究[D]: [硕士学位论文]. 济南: 山东师范大学, 2007.
- [19] 樊高峰, 苗长明, 毛燕军, 张小伟. 浙江干旱特征及其与区域气候变化关系[J]. 气象科技, 2008, 36(2): 180-184.
- [20] 杨丰政. 基于 GIS 的徐水县气象灾害风险评估研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [21] 徐雅. 基于 3S 技术的柳州市雨雪冰冻灾害风险评估[J]. 科技广场, 2017(7): 22-25.