

DOI: 10.20040/j.cnki.1000-7709.2026.20250440

基于区域灾害系统论的全国县级农业旱灾多要素风险评估

李 远

(中国水利电力对外有限公司, 北京 101117)

摘要: 农业旱灾风险评估是农业旱灾风险管理的前提,农作物生长易受干旱、洪涝、台风等自然灾害威胁,其中旱灾导致的损失占农业自然灾害总损失的50%以上。基于区域自然灾害系统理论,构建了包含危险性、脆弱性和暴露性三要素的农业旱灾风险评估指标体系,共选取年降水量等22个指标因子,在全国范围内以县级行政区为研究单元,结合模糊综合评判法构建了农业旱灾风险指标评估体系。结果表明,旱灾危险性空间分布与年均降水量显著相关,呈现西北高、东南低的趋势;脆弱性最高的省份为黑龙江、贵州和宁夏,而广东、浙江因经济水平高且受灾指数低,脆弱性最低;河南、河北、黑龙江及宁夏因农业暴露度高,旱灾风险综合评级较高;青海、西藏、福建和浙江等地因农业规模较小或水资源充沛,风险等级最低。研究成果可为有针对性地制定农业防灾减灾政策提供依据。

关键词: 农业旱灾; 风险评估; 防灾减灾; 多要素

中图分类号: S423

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2026)01-0029-04

Multi-factors Risk Assessment of Agricultural Drought at the County Level Across China Based on Regional Disaster System Theory

LI Yuan

(China International Water&Electric Corp., Beijing 101117, China)

Abstract: Agricultural drought risk assessment is the prerequisite for agricultural drought risk management. Crop growth is highly vulnerable to threats from natural disasters such as droughts, floods, and typhoons, with drought-induced losses accounting for over 50% of the total agricultural natural disaster losses. Based on the regional natural disaster system theory, this study constructs an agricultural drought disaster risk assessment indicator system comprising three components of hazard, vulnerability, and exposure. A total of 22 indicators including annual precipitation were selected. The study adopts county-level administrative regions across China as research units and integrates the fuzzy comprehensive evaluation method to establish the agricultural drought disaster risk assessment framework. The results indicate that the spatial distribution of drought hazard is significantly correlated with annual precipitation, showing a trend of higher hazard in the northwest and lower in the southeast. Provinces with the highest vulnerability include Heilongjiang, Guizhou, and Ningxia, while Guangdong and Zhejiang exhibit the lowest vulnerability due to their strong economic resilience and low disaster impact indices. Henan, Hebei, Heilongjiang, and Ningxia demonstrate higher comprehensive drought risk ratings owing to high agricultural exposure levels. In contrast, regions such as Qinghai, Tibet, Fujian, and Zhejiang exhibit the lowest risk levels due to smaller agricultural scales or abundant water resources. This research can provide a basis for targeted agricultural disaster prevention and mitigation strategies.

Key words: agricultural drought; risk assessment; disaster prevention and mitigation; multi-factors

1 引言

我国地处季风气候区,地理环境复杂,农业自然灾害频发^[1]。旱灾是系统性风险,旱灾发生频率虽仅占自然灾害的5%,但其造成的农业损失

占比超50%^[2]。气候变化与人类活动叠加影响下,旱灾风险呈加剧趋势,亟需系统评估农业旱灾风险以支撑防灾减灾^[3]。农业旱灾风险评估是农业旱灾风险管理的前提,目前农业旱灾风险评估整体上分为两类,一类是基于风险构成要素的评

收稿日期: 2025-03-11,修回日期: 2025-04-12,接受日期: 2025-04-17

作者简介: 李远(1991-),男,工程师,研究方向为水利工程, E-mail: liyuan_hydro@163.com

估方法^[4-7],另一类是基于概率统计的评估方法^[8-9]。IPCC第5次报告定义风险是由灾害事件发生的概率与其影响的乘积。风险来源于危险性、脆弱性和暴露性(即风险“三要素”)的相互内在作用^[10]。基于农业旱灾风险构成要素的农业旱灾风险评估方法建立致灾因子危险性、承灾体的脆弱性(包括抗旱能力等)及孕灾环境暴露性等评估指标体系,评估农业旱灾风险等级^[11]。该方法在指标选取、数据获取、确定权重方法等方面具有一定主观性,导致风险评估结果差异。基于概率统计的农业旱灾风险评估方法,主要利用统计概率的方法综合评估干旱发生的可能性、可能造成的损失及影响。该方法对历史灾害序列数据要求较高,其次在干旱强度与损失率统计关系拟合时,有一定的主观性,主要体现在拟合的曲线函数选取不同导致的风险结果差异,如目前常用的分布包括伽马分布、皮尔逊Ⅲ分布等。现有研究在范围上多聚焦省级尺度,全国范围研究较少,多数研究未考虑农业抗旱减灾能力。本文在全国范围以县级行政区为单位,建立评价指标体系评估全国县级农业旱灾致灾因子危险性、孕灾环境暴露性及承灾体脆弱性,提升了在全国范围内农业旱灾风险评估的分辨率,引入模糊综合评判法,降低了指标因子权重确定的主观性。研究成果可为农业防灾减灾决策提供参考。

2 数据与方法

2.1 数据来源

研究所需数据主要包括历史气象数据、水文数据、农业数据、社会经济数据等。气象数据来源于中国气象数据共享网2160个站点1980~2010年气候统计数据,包括累计年平均气温、累计年平均气温标准差、累计年降水量、累计年降水量标准差等。水文数据主要包括全国水资源量、农业用水量等。农业数据包括粮食作物种植面积、产量、单产、灌溉水平、农业生产投入、农业机械化程度等。社会经济数据主要包括农村可支配收入、农业产值、乡村人口占比等。水文数据主要来源于中国水资源公报及各地市水资源公报。农业数据、社会经济数据主要来源于各地市统计年鉴(<https://data.cnki.net/>)。水文数据、农业数据、社会经济数据若存在县级数据缺失情况(如农业用水、灌溉、用电、产量等数据),则按照粮食作物种植面积为权重对市级该数据要素进行补充,即假设该县亩均要素与所属市级亩均要素相同,

可表示为:

$$f_i = FA_i/A \quad (1)$$

式中, f_i 为*i*县缺失指标; F 为该县所属地市对应指标; A_i 为*i*县粮食作物种植面积; A 为该县所属地市粮食作物种植总面积。

2.2 研究方法

2.2.1 农业旱灾风险评估模型建立

农业旱灾风险评估是衡量地区以目前的气候条件、下垫面条件及社会经济条件等农业因为旱灾所面临的损失风险。从农业旱灾风险的致灾机理来看。致灾因子的表达一般可表述为:

$$H = f(M, D, A) \quad (2)$$

式中, H 为危险性; M 为致灾因子的强度,可以用频率、干旱指标大小等表示; D 为干旱事件的时间范围; A 为干旱事件的空间范围,即农业受旱面积。

对式(2)模型概化,使用干旱综合指标即年均降雨量、年均气温及指标标准差、水资源等综合表示致灾因子强度。

农业干旱的脆弱性水平反映的农业承灾体对旱灾的敏感程度:

$$V = f(V_h, V_e) \quad (3)$$

式中, V 为脆弱性; V_h 、 V_e 分别为所采取的抗旱措施及农业承灾体自身的一种抵抗能力、恢复能力。

采用经济发展水平、农业生产水平等反映地区农业旱灾脆弱性,经济及生产水平越高,抵抗力越强,抗旱减灾能力越强,恢复能力越强。

农业旱灾风险暴露度反映了研究区作物种植结构、种植品种、作物经济价值,种植密度等。可表达为:

$$E = f(p, v, \dots) \quad (4)$$

式中, E 为暴露性; p 、 v 分别为种植密度、种植作物经济价值,展现农业承灾体在干旱面前的暴露程度。

采用乘法模型评估农业旱灾风险,即:

$$R = \int HVE dx = \sum HVE \quad (5)$$

$$\begin{cases} H = \sum \alpha_i h_i \\ V = \sum \beta_i v_i \\ E = \sum \lambda_i e_i \end{cases} \quad (6)$$

式中, α_i 、 β_i 、 λ_i 分别为各单指标因子的权重、各指标均为归一化后的无量纲数据; h 为危险性指标; v 为脆弱性指标; e 为暴露性指标。

2.2.2 指标体系标准化

对于负向因子,数据标准化公式为:

$$S_{SI} = (D_{DI_{\max}} - D_{DI}) / (D_{DI_{\max}} - D_{DI_{\min}}) \quad (7)$$

对于正向因子,数据标准化公式为:

$$S_{SI} = (D_{DI} - D_{DI_{min}}) / (D_{DI_{max}} - D_{DI_{min}}) \quad (8)$$

式中, S_{SI} 为标准化后的指标因子, 其大小为 $0 \sim 1$; D_{DI} 为县级该指标的值; $D_{DI_{\max}}$ 为所有县级该指标的最大值; $D_{DI_{\min}}$ 为所有县级该指标的最小值。

2.2.3 指标权重确定方法

采用模糊综合评判法确定指标权重,其步骤包括建立相应因素和评价集合及评价等级集合:

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n\} \quad (9)$$

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_n\} \quad (10)$$

式中, U 、 V 分别为评价集合、等级集合; u_i 、 v_i 分别为评价因子、等级阈值。

通过判断和选取各影响因素集合及可能判断结果的集合,建立因素集合对不同评价结果的隶属度函数,如对于致灾因子越大,旱灾风险越严重的隶属度函数可以构造为:

$$\mu_{ij}(x_i) = \begin{cases} 1 - \mu_{i,j-1}(x_i) & s_{i,j-1} < x_i \leq s_{i,j} \\ \frac{s_{i,j+1} - x_i}{s_{i,j+1} - s_{i,j}} & s_{i,j} < x_i \leq s_{i,j+1} \\ 0 & x_i > s_{i,j+1} \end{cases} \quad (11)$$

式中, $\mu_{ij(x_i)}$ 为隶属度指标; x_i 为因子真实值; $s_{i,j}$ 为各等级值。

将各因子的评价结果组成集合,同时赋予各因子指标权重,在确定指标权重的基础上,利用模糊变换原理确定模糊综合评判,根据最大贴近度原则确定评价结果^[12]。

3 结果与分析

选取年均降水量共 22 个指标因子建立农业旱灾风险评估指标体系(图 1)。

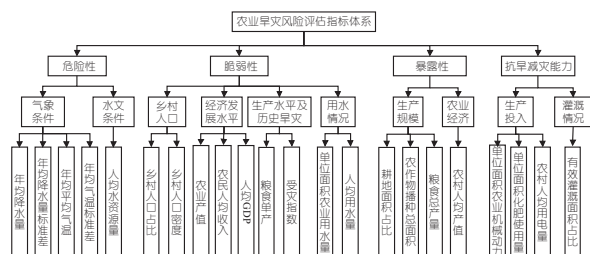


图 1 全国农业旱灾风险评估指标体系

Fig. 1 National agricultural drought disaster risk assessment indicator system

图 2 为全国县级农业旱灾危险性、脆弱性、暴露性及综合旱灾风险评估结果。由图 2(a)可知, 农业旱灾危险性整体呈现从西北向东南减少的趋

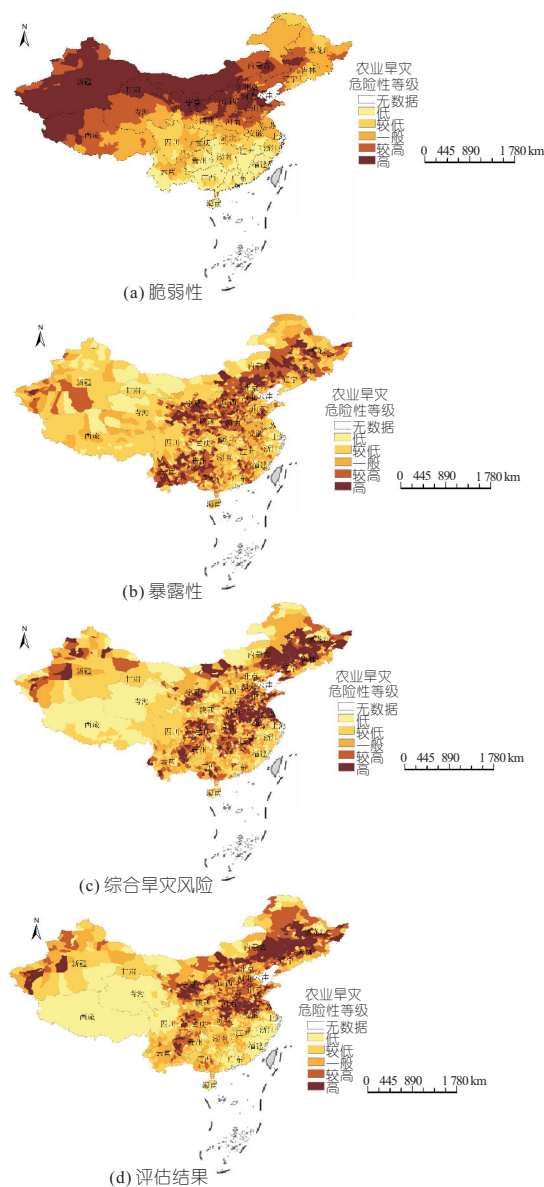


图 2 全国县级农业旱灾危险性
Fig. 2 National county-level agricultural drought disaster hazard

势,与多年平均降水量趋势分布一致,可以看出年均降水量对于旱灾危险性影响较大,是决定旱灾危险性的主要致灾因子。新疆、内蒙古、宁夏、甘肃、山西及河北平均气温较高,年均降水量少,人均水资源不足,年降水量及年均气温变差系数大等因素共同导致旱灾危险性处于最高等级;东南沿海省份旱灾致灾危险性较低。

由图 2(b)可知,黑龙江、贵州、宁夏三省旱灾脆弱性最高,三省人均 GDP 均较低,其中黑龙江农业用水量少,受灾指数较高;贵州粮食单产低,受灾指数高,人口密度较低;宁夏农业用水量、人口密度较低,受灾指数较高。其次是吉林、辽宁和云南省,而广东和浙江省农业旱灾脆弱性较低,广东和浙江历史农业受旱影响较小,受灾指数较小,农业用水量及农村人均可支配收入较高等因素共

同造成了广东和浙江省旱灾脆弱性较低。

由图 2(c)可知,农业旱灾高暴露性出现在华北平原的河南、河北省,东北的黑龙江省以及宁夏回族自治区,这些省份农作物播种面积占比较高,青海和西藏两省份旱灾暴露性较低,青海和西藏农业种植面积占比较小。

由图 2(d)可知,河南、河北、黑龙江及宁夏农业旱灾风险最高,这些省份均为农业种植大省且旱灾频发、历史旱灾损失严重,农业用水量不足,人均 GDP 较低,抗旱减灾能力较弱,农业风险暴露较高等综合造成了农业旱灾风险较高。而青海、西藏、福建、浙江等省份农业旱灾风险较低,这些省份水资源充沛或降雨充足,农业种植占比较小等因素,导致农业旱灾风险较低。

4 结论

a. 选取农业旱灾风险指标体系评估全国县级农业旱灾风险,根据自然灾害风险的形成机制,从水文条件、气象条件、生产投入、灌溉情况、经济发展水平等方面共选取 22 个指标因子,利用模糊综合评判法等综合数学方法确定指标权重,评价农业旱灾的危险性、暴露性、脆弱性,并最终评估全国县级农业旱灾风险。结果表明,危险性整体呈现出从西北向东南减少的趋势;暴露性和旱灾风险在分布上具有较高一致性;黑龙江、河南、河北、宁夏等省份旱灾风险最高,而水资源丰富且农业种植暴露性较小的地区如青海、西藏等省份农业旱灾风险较低,浙江、福建及海南省由于降雨充足,农业旱灾风险较低。

b. 基于三要素旱灾风险评估结果可进一步阐述旱灾风险高的原因,并基于此制定有针对性的防灾减灾措施。针对黑龙江、河南、河北,可进一步增强农业灌溉等防灾减灾措施,增强农民收入,增加农业用水量,多举措降低农业旱灾风险。

参考文献:

- [1] 陈启亮. 农业自然灾害社会脆弱性评价与管理[D]. 重庆: 西南大学, 2017. (CHEN Q L. Evaluation and management of social vulnerability of agricultural natural disasters[D]. Chongqing: Southwest University, 2017. (in Chinese))
- [2] HE B, LV A F, WU J J, et al. Drought hazard assessment and spatial characteristics analysis in China[J]. Journal of geographical sciences, 2011, 21(2): 235-249.
- [3] WANG Q F, WU J J, LEI T J, et al. Temporal-spatial characteristics of severe drought events and their impact on agriculture on a global scale[J]. Quaternary international, 2014, 349: 10-21.
- [4] 张继权, 严登华, 王春乙, 等. 辽西北地区农业干旱灾害风险评价与风险区划研究[J]. 防灾减灾工程学报, 2012, 32(3): 300-306. (ZHANG J Q, YAN D H, WANG C Y, et al. A study on risk assessment and risk regionalization of agricultural drought disaster in northwestern regions of Liaoning Province[J]. Journal of disaster prevention and mitigation engineering, 2012, 32(3): 300-306. (in Chinese))
- [5] 赵静. 气候变化背景下豫北地区干旱灾害风险分析[D]. 长春: 东北师范大学, 2012. (ZHAO J. Analysis of drought disaster risk to climate change in the northern Henan Province[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2012. (in Chinese))
- [6] ZHANG D, WANG G L, ZHOU H C. Assessment on agricultural drought risk based on variable fuzzy sets model[J]. Chinese geographical science, 2011, 21(2): 167-175.
- [7] 屈艳萍, 高辉, 吕娟, 等. 基于区域灾害系统论的中国农业旱灾风险评估[J]. 水利学报, 2015, 46(8): 908-917. (QU Y P, GAO H, LU J, et al. Agricultural drought disaster risk assessment in China based on the regional disaster system theory[J]. Journal of hydraulic engineering, 2015, 46(8): 908-917. (in Chinese))
- [8] 乌日娜. 松嫩草原干旱灾害风险动态评价及其保险纯费率厘定研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2017. (WU R N. Study on the dynamic risk assessment and insurance premium rating of grassland drought disaster in Songnen[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2017. (in Chinese))
- [9] WHITE D A, BEADLE C L, WORLEDGE D. Leaf water relations of Eucalyptus globulus ssp. globulus and E. nitens: Seasonal, drought and species effects[J]. Tree physiology, 1996, 16(5): 469-476.
- [10] FIELD C B, BARROS V R, DOKKEN D J, et al. Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.
- [11] 屈艳萍. 旱灾风险评估理论及技术研究——以辽宁省农业干旱为例[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2018. (QU Y P. Study on drought disaster risk assessment theory and method[D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2018. (in Chinese))
- [12] 张震, 于天彪, 梁宝珠, 等. 基于层次分析法与模糊综合评价的供应商评价研究[J]. 东北大学学报(自然科学版), 2006, 27(10): 1142-1145. (ZHANG Z, YU T B, LIANG B Z, et al. AHP-based vendor evaluation in combination with FCE[J]. Journal of Northeastern University (natural science), 2006, 27(10): 1142-1145. (in Chinese))