DOI:10.26974/j.cnki.XBGC.2026.02.009

银川市2014—2023年干旱灾害风险评估

禹心悦, 简孟雨, 杨美玲*
(宁夏大学 地理科学与规划学院,宁夏 银川 750021)

摘 要:为了系统开展干旱半干旱区城市的干旱灾害风险评估,以宁夏银川市为研究区,从致灾因子危险性、承灾体脆弱性、孕灾环境易损性与抗灾减灾能力4个维度构建了干旱灾害风险评估指标体系;然后综合运用组合赋权法及综合指数法,定量评估2014—2023年银川市干旱灾害风险时空演变特征,并引入耦合协调度模型探讨了准则层间的交互作用。结果表明,研究期内银川市干旱灾害综合风险呈前期较高、后期下降、阶段性波动显著的特征,风险等级由高风险逐步向中、低风险过渡;空间上呈现南北高、中部低的态势,灵武市与贺兰县为高风险集聚区,主城区风险相对较低;承灾体脆弱性与致灾因子危险性是风险演化的主导因素,降水量、受灾面积及黄河取水量对综合风险贡献显著;各准则层间耦合度较高(0.786),但协调度整体偏低(0.276),长期处于失调阶段,反映出区域防灾减灾体系的系统协同性仍有待提升。研究可为银川市干旱灾害防控、水资源调度与风险管理提供科学参考。

关键词:干旱灾害;风险评估;耦合协调度;时空演变;银川市
中图分类号:P426.616 **文献标志码**:A

干旱是全球最具破坏力且影响最为广泛的气候灾害之一,其危害已从传统的农业减产逐步扩展至生态系统退化、水资源短缺以及区域社会经济可持续发展受限等多个层面。全球变暖背景下,极端干旱事件发生频率与强度显著增加[1-2]。干旱正逐渐由偶发性灾害向高频化、常态化风险演变。与此同时,人口增长、经济发展及水资源开发强度不断加大,进一步放大了干旱对农业生产、生态系统稳定、水资源安全及区域社会经济发展的综合影响。系统开展干旱灾害风险评估,是推动区域防灾减灾由被动应对向主动防控转变的重要基础,也是提升灾害治理现代化水平的关键支撑[3]。

国际上,干旱灾害研究已形成较为成熟的理论与方法体系,主要集中于干旱监测指标构建、灾害影响评估、脆弱性建模及遥感与地理信息技术应用等方向。已有研究从作物生理响应与适应机制、卫星降水数据在干旱监测中的适用性、大都市区干旱风险识别与政策响应、致灾性与脆弱性耦合分析,以及长期干旱事件综合影响评估等方面开展了深入探索[4-8],并在植被响应、社区脆弱性及多源遥感监测等领域不断拓展[9-11]。总体来看,国外研究在指标体系整合、风险机理分析及情景模拟等方面具有较强的系统性和定量化特征。国内研究主要围绕干旱监测识别、风险评估框架构建、指标体系完善及区域风险分区等方面展开。相关研究通常从致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体脆弱性及防灾减灾能力等维度构建指标体系,并结合GIS、多源气象数据及统计模型定量评估干旱风险[12-16]。现有成果涵盖农业区干旱风险模型构建与时空演变特征分析、城市与区域尺度气象灾害风险评估、干旱时空变化特征分析及历史干旱风险重建等内容[14-20]。同时,农业干旱风险研究在作物产量损失评估与风险区划等方面形成了较为成熟的技术路径[21-25]。

综上,国内干旱灾害风险研究体系日趋完善,但仍存在一定不足:一是研究尺度多集中于省域或大尺度区域,对典型干旱区城市的综合风险评估相对薄弱;二是指标量化方法、权重客观化处理及经济社会系统脆弱性识别方面仍有待提升。这些问题为开

收稿日期:2026-01-08
基金项目:宁夏自然科学基金项目(2023AAC03047)
作者简介:禹心悦(2000—),女,硕士研究生,主要从事人文地理学研究(2455143665@qq.com)。
* **通信作者**:杨美玲(1979—),女,博士,教授,主要从事人文地理学研究(nxdxyml@163.com)。
引用格式:禹心悦,简孟雨,杨美玲.银川市2014—2023年干旱灾害风险评估[J].西北工程技术学报(中英文),2026,25(2):168-176,187.

展干旱区城市干旱灾害风险评估提供了重要研究切入点。

银川市位于我国西北干旱半干旱区,是黄河灌区的重要城市之一,对气象干旱与农业干旱高度敏感。在气候变化与人类活动双重影响下,区域水资源供需矛盾加剧,生态系统脆弱性不断增加,干旱灾害对农业生产和社会经济发展的约束作用日益凸显。因此,有必要对银川市开展系统性干旱灾害风险评估研究。基于此,本文从致灾因子、承灾体脆弱性、孕灾因子易损性及防灾减灾能力 4 个维度,选取 17 项指标构建银川市干旱灾害风险评估指标体系,定量分析 2014—2023 年银川市干旱灾害风险时序变化特征,并揭示银川市干旱风险的空间格局,旨在为区域干旱灾害防控、水资源调控及应急管理提供科学依据。

1　数据来源与研究方法

1.1　研究区概况

银川市位于宁夏平原中部(37°29′N—38°52′N,105°48′E—106°52′E),总面积9 025.38 km^2,下辖三区两县一市,即兴庆区、金凤区、西夏区及永宁县、贺兰县和灵武市,本研究以三区两县一市为研究单元。市域东临鄂尔多斯台地西缘,西依贺兰山脉,黄河自西北向东南贯穿全境,形成典型的山-川-沙的地貌格局,区域地势西高东低,生态环境脆弱。银川市属温带大陆性气候,降水稀少、蒸发强烈,水热资源时空分布不均,具有显著的干旱半干旱气候特征,是我国干旱灾害影响较为突出的地区之一。

1.2　数据来源

以 2014—2023 年为研究时段,所用数据主要来源于气象、水资源、农业与社会经济等领域的统计资料与监测数据,具有较好的连续性和可靠性。其中,气象数据中降水量、蒸发量等指标来源于《中国气象灾害年鉴(宁夏卷)》及宁夏回族自治区气象局发布的相关气象资料;水资源数据,包括黄河取水量、地下水开采量及水资源利用规模等,来源于中国水利部及宁夏回族自治区水利厅发布的水资源监测资料;社会经济与农业数据,包括人口规模、GDP、耕地面积、粮食产量等指标,来源于《银川市统计年鉴》《宁夏统计年鉴》等;灾害数据,包括受灾人口、受灾面积及直接经济损失等,来源于《中国气象灾害年鉴(宁夏卷)》《中国水旱灾害公报》等。在数据整理过程中,对个别年份缺失的数据与异常值,采用分段插值法和相邻年份均值法校正,以确保时序数据的连续性与一致性。所有数据均以年度尺度处理,以增强不同指标间的可比性。

区域农业生产高度依赖灌溉水源,在干旱背景下,其对降水异常、水资源短缺及高温蒸发高度敏感。根据 2014—2023 年气象及灾情统计资料(表 1),银川市多次发生不同程度干旱灾害,造成农业减产、饮水困难人口增加及经济损失扩大,干旱已成为制约区域生态安全与社会经济发展的重要环境风险。

表 1　2014—2023 年银川市旱灾受损情况

Tab. 1　Damage situation of drought disasters in Yinchuan from 2014 to 2023

年　份	饮水困难人口/万人	受灾人口/万人	受灾面积/万 hm^2	绝收面积/万 hm^2	直接经济损失/亿元
2014	63.1	160.1	36.7	4.3	13.9
2015	48.7	85.8	10.4	1.0	1.7
2016	47.7	112.4	19.4	10.6	3.4
2017	51.3	120.1	22.8	1.3	5.8
2018	36.5	99.6	17.2	2.3	4.7
2019	13.0	38.4	24.3	2.1	1.3
2020	53.1	188.6	13.1	2.3	8.0
2021	42.1	75.6	10.1	2.2	1.6
2022	0.2	1.0	0.6	0.1	0.1
2023	0.1	0.6	0.5	0.3	0.5

1.3　研究方法

1.3.1　*评价指标体系构建*　结合银川市干旱灾害特征,在系统梳理国内外相关研究成果的基础上,构建由目标层、准则层和指标层组成的干旱灾害风险评估指标体系(表 2)。准则层包含致灾因子危险性(B_1)、承灾体脆弱性(B_2)、孕灾环境易损性(B_3)和抗灾减灾能力(B_4)。致灾因子危险性主要反映干旱发生的自然驱动条件,用于表征区域水分供需平衡状况。降水量与蒸发量两者共同反映区域水分输入与消耗状况;土壤蒸散量则是连接气象干旱与农业干旱的核心环节,是衡量干旱发生强度与潜在影响的重要基础。承灾体脆弱性用于衡量区域人口、农业及经济系统在干旱胁迫下的敏感性及潜在损失程度。选取饮水困难人口、因旱受灾人口、受灾面积、直接经济损失、绝收面积等 5 项指标,综合反映承灾体在干旱事件中的暴露水平与脆弱性特征。孕灾环境易损性用于表征区域自然与社会环境在干旱胁迫下的易损程

表2 银川市干旱灾害风险评估指标体系

Tab. 2 Index system for drought disaster risk assessment in Yinchuan City

目标层	准则层	指标层	单位	指标属性
银川市干旱灾害风险综合评估	致灾因子危险性B_1	蒸发量C_1	mm	+
		降水量C_2	mm	−
		土壤蒸散量C_3	mm	+
	承灾体脆弱性B_2	饮水困难人口C_4	万人	+
		直接经济损失C_5	万元	+
		因旱受灾人口C_6	万人	+
		受灾面积C_7	hm^2	+
		绝收面积C_8	hm^2	+
	孕灾环境易损性B_3	城乡收入比C_9	%	−
		人口密度C_{10}	人/km^2	+
		有效灌溉面积C_{11}	hm^2	+
		第一产业占GDP比值C_{12}	%	+
		经济密度C_{13}	万元/km^2	+
	抗灾减灾能力B_4	工程供水能力C_{14}	m^3	+
		人均GDP C_{15}	元/人	+
		城市化率C_{16}	%	+
		黄河取水量C_{17}	m^3	−

度,选取人口密度、有效灌溉面积、城乡收入比、第一产业占 GDP 比值、经济密度等指标,分别从人口分布特征、农业用水条件及经济结构差异等方面表征区域对干旱灾害的敏感程度。抗灾减灾能力用于衡量城市在干旱条件下的综合应对与调控能力,通过工程供水能力、人均 GDP、城市化率、黄河取水量等指标,表征区域基础设施建设水平及经济与社会系统对干旱灾害的抵御与恢复能力;银川市作为黄河灌区之一,黄河取水量直接决定其灌溉供水保障能力。

1.3.2 *指标权重的确定* 多指标综合评价中,权重确定方法主要包括主观赋权法与客观赋权法。主观赋权法(如 AHP)依据专家经验判断指标重要性,但易受主观因素影响。客观赋权法(如熵值法)基于指标数据的离散程度与信息特征确定权重,具有较强的客观性[26-29]。为克服单一方法的局限,本研究采用熵值法 + AHP 的组合赋权。首先,利用 AHP 构建判断矩阵并通过一致性检验,获得主观权重;其次,采用熵值法计算客观权重;最后,基于最小信息熵原理对两类权重进行耦合,得到综合权重,从而兼顾专家认知与数据特征,提高结果的科学性与稳定性[30]。

1.3.3 *综合指数法* 综合指数法作为多指标综合评价中应用较为广泛的方法之一,通过将标准化后的指标值与其对应权重加权求和,实现不同量纲指标的综合表征。该方法能够将多维信息整合为单一综合指数,便于对评价对象进行横向比较与时序分析,其评价模型[31]为

$$Q=\left[q_1,q_2,q_3,q_4\right]。\tag{1}$$

式中:Q 为干旱灾害综合水平;q_1、q_2、q_3、q_4 分别为致灾因子、承灾体脆弱性、孕灾体易损性和抗灾减灾能力。q 的计算公式为

$$q=\sum W_iX_i。\tag{2}$$

式中:W_i、X_i 分别为第 i 个指标的权重和标准化值,由于各指标计量单位及指标正负类型不同,所以需要对数据进行归一化处理[32]。指标值越大,表明银川市干旱风险越大时,采用正向指标计算式(式 1)进行标准化处理;指标值越小,表明干旱风险越小时,采用负向指标计算式(式 2)进行标准化处理,从而有效体现各个指标的重要程度。

正向指标为

$$C_i=\frac{C_i-C_{\min}}{C_{\max}-C_{\min}}。\tag{3}$$

逆向指标为

$$C_i=\frac{C_{max}-C_i}{C_{max}-C_{min}}。\quad(4)$$

式中:C_i表示第 i 个指标的原始值;C_{max}和 C_{min}分别表示第 i 个指标的最大值和最小值;C 为原始数据消除量纲后的值,取值范围为(0,1)。

1.3.4　耦合协调度模型　耦合协调度模型可以反映两个及以上系统间耦合协调程度,本文引用此模型测算协调度,用于表征致灾因子危险性与承灾体脆弱性降低耦合对综合风险的影响[33]。公式为

$$C=4\times\left[\frac{U_1\times U_2\times U_3\times U_4}{(U_1+U_2+U_3+U_4)^4}\right]^{1/4},\quad(5)$$

$$T=\alpha U_1+\beta U_2+\gamma U_3+\delta U_4,\quad(6)$$

$$D=\sqrt{C\times T}。\quad(7)$$

式中:C 为耦合度;U_1、U_2、U_3、U_4分别为致灾因子危险性、承灾体脆弱性、孕灾环境易损性及抗灾减灾能力 4 个准则层的综合得分;D 为协调度;T 为 4 个系统的评价指数,因其在耦合协调过程中同等重要,故将 α、β、γ、δ 分别取 0.25。借鉴相关研究[33],将协调度分为严重失调[0,0.20)、中度失调[0.20,0.40)、轻度失调[0.40,0.60)、勉强协调[0.60,0.80)、初级协调[0.80,1.00)5 个等级。

2　结果与分析

2.1　指标权重分析

依据计算结果(表 3),各指标信息效用值差异明显。总体上,承灾体脆弱性(B_2)与致灾因子危险性(B_1)权重相对较高,是干旱风险的主导因素;防灾减灾能力(B_4)次之,孕灾环境易损性(B_3)权重相对较低,对风险差异的解释作用相对有限。指标层面,降水量、受灾面积、黄河取水量、土壤蒸散量及因旱受灾人口等权重较高。这些指标年际波动显著,能够较为敏感地反映气象变化、水资源压力及农业生产受干旱影响的特征。相比之下,城乡收入比、第一产业占 GDP 比值及有效灌溉面积变化较为平稳,信息熵较低,对综合评价贡献有限。总体而言,研究期银川市干旱灾害风险主要受气象波动与农业水资源依赖驱动,防灾减灾能力相关指标相对稳定,对风险差异影响较小。

表3　银川市干旱灾害风险评估指标权重

Tab. 3　Weight of indicators for drought disaster risk assessment in Yinchuan City

准则层	权重	指标层	权重		
			层次分析法	熵权法	组合法
B_1	0.241	C_1	0.083	0.027	0.054
		C_2	0.166	0.048	0.101
		C_3	0.175	0.033	0.086
B_2	0.353	C_4	0.042	0.060	0.057
		C_5	0.023	0.094	0.052
		C_6	0.078	0.055	0.074
		C_7	0.042	0.100	0.074
		C_8	0.042	0.172	0.097
B_3	0.169	C_9	0.011	0.047	0.026
		C_{10}	0.022	0.049	0.038
		C_{11}	0.043	0.023	0.035
		C_{12}	0.022	0.034	0.031
		C_{13}	0.022	0.055	0.039
B_4	0.237	C_{14}	0.060	0.031	0.049
		C_{15}	0.032	0.043	0.042
		C_{16}	0.032	0.060	0.049
		C_{17}	0.103	0.069	0.096

2.2　干旱灾害风险分析

2.2.1　干旱灾害风险等级划分　为揭示 2014—2023 年银川市干旱灾害风险时序演变特征,采用自然断点法对综合风险指数进行分级,包括低风险[0.250,0.370)、中等风险[0.370,0.480)、高风险[0.480,0.640)3 个等级。结果表明,研究期内干旱灾害综合风险指数呈前期较高、后期下降、阶段性波动显著的特征,反映出干旱灾害风险在气象水文条件变化与社会经济系统调节共同作用下的动态响应过程(图 1)。

(1)高风险阶段(2014—2016 年)。该阶段综合风险指数整体处于较高水平,属中风险等级。受持续降水偏少与蒸发量维持高位的共同影响,区域水分亏缺显著。同时,受灾面积、绝收面积、受灾人口及直接经济损失均处于较高水平,显著抬升了承灾体脆弱性。该阶段总体表现为气象干旱-农业干旱-社会影响的链式放大特征,是综合风险处于高位的主要原因。

(2)风险快速下降阶段(2017—2019 年)。该阶段综合风险指数和风险等级明显降低。一方面,降水条件相对改善,农业受灾程度有所减轻;另一方面,节水灌溉推广、农村饮水安全工程建设及水资源调控能力提升逐步发挥作用,有效降低了承灾体脆弱性。同时,经济发展与城市化进程加快增强了社会系统的应对与恢复能力,共同推动综合风险快速

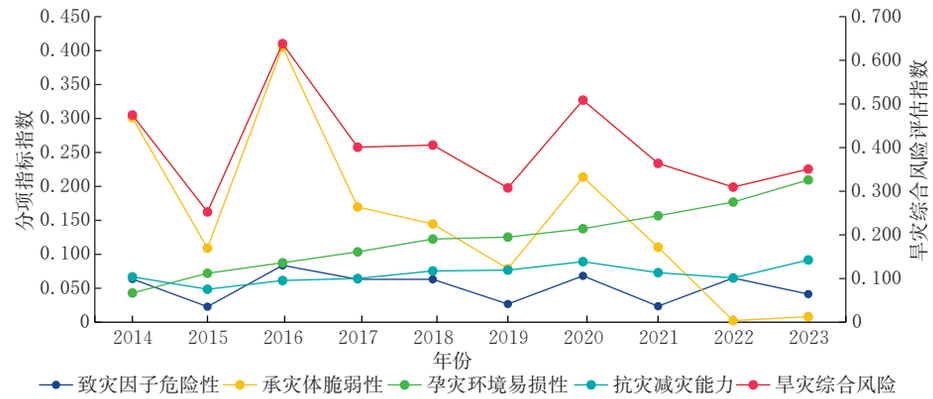


图 1　2014—2023 年银川市旱灾综合风险评估指数变化

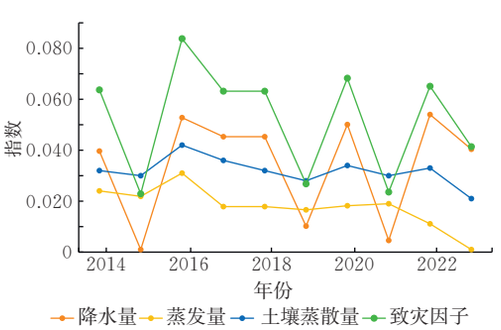
Fig. 1　Comprehensive risk assessment index variation of drought disasters in Yinchuan City from 2014 to 2023

下降。

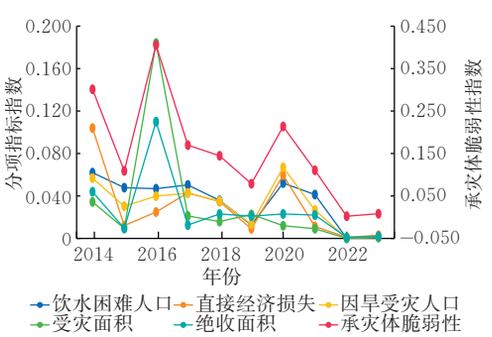
(3)相对稳定阶段(2020—2023 年)。该阶段综合风险指数维持在 0.25~0.35,表现为低-中风险区间内的小幅波动。尽管气象干旱仍时有发生,但农业结构调整、有效灌溉面积增加及防灾减灾基础设施持续完善,使得干旱对农业生产和人口系统的冲击程度减弱。同时,城乡收入差距缩小、经济密度提升及人均 GDP 增长,在一定程度上提高了承灾体与孕灾环境的综合抗风险能力,使得区域风险水平趋于稳定。

总体上,银川市干旱灾害风险下降主要受降水条件阶段性改善、农业用水方式与结构调整以及防灾减灾能力持续提升等因素的共同影响。然而,受高蒸发背景长期存在及人口与产业空间集聚等结构性因素制约,区域干旱风险仍维持在中等水平,并在极端气候年份表现出一定波动性。这表明,银川市干旱灾害风险具有长期性、结构性与阶段性叠加的显著特征。

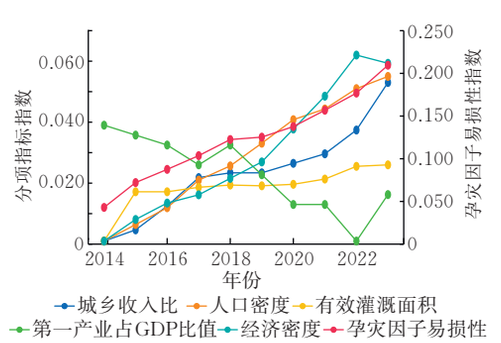
2.2.2　干旱灾害风险时序特征　2014—2023 年,银川市干旱灾害风险指数呈波动下降趋势(图 2),数值介于 0.25~0.55,表现出明显阶段性。其中,2014—2016 年处于高值阶段,随后逐步下降并稳定在中风险水平,表明干旱风险总体有所缓解,但仍存在波动性和不确定性。



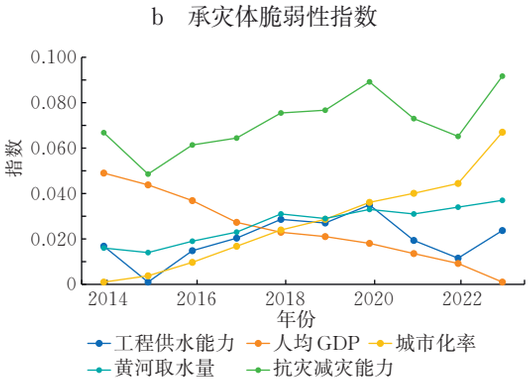
a　致灾因子危险性指数



b　承灾体脆弱性指数



c　孕灾因子易损性指数



d　抗灾减灾能力指数

图 2　2014–2023 年银川市干旱灾害风险评估准则层指数

Fig. 2　Criteria layer indices for drought disaster risk assessment in Yinchuan City from 2014 to 2023

(1)致灾因子危险性。研究期内呈现降水偏少、蒸发量偏高、土壤蒸散量高位波动且年际波动明显的特征。2014—2016 年降水偏少,对应风险值高;2017 年后降水有所增加,但仍波动大且分布不均。蒸发量始终维持在高位且变化平稳,这是区域水分失衡的长期约束因素。在降水偏少与蒸发高位的共同影响下,土壤蒸散量呈高位波动、缓慢下降的整体特征。整体上,致灾因子危险性由高等转为中等,但未发生根本性改善。

(2)承灾体脆弱性。承灾体脆弱性呈前期高、中期波动、后期相对稳定的特征。其中,受灾人口与饮水困难人口面临的风险前期较高,后随供水工程完善显著下降;受灾面积与绝收面积虽整体下降,但在偏旱年份仍波动明显;经济损失受气候与农业产值共同影响,波动较大。总体上,承灾体脆弱性虽有所降低,但农业系统对干旱仍高度敏感。

(3)孕灾环境易损性。研究期内孕灾环境易损性整体呈缓慢下降趋势。其中,人口密度持续上升导致受灾风险提高;有效灌溉面积虽呈增长趋势,但作为典型的黄河灌区城市之一,农业生产对外部水源依赖度较高,干旱气候背景下仍受到水资源刚性约束,因此,孕灾环境易损性降低幅度相对有限;随着产业结构调整,第一产业比例下降,区域经济对农业依赖度减弱,这在一定程度上降低了经济系统对干旱灾害的敏感性,对孕灾环境易损性下降具有积极作用;经济密度提升增加了潜在损失,城乡收入差距缩小则增强了抗风险能力。总体上,研究期内,银川市孕灾环境易损性总体呈缓慢下降趋势,但人口持续集聚、农业灌溉对水资源的高度依赖及经济活动密度提升等结构性因素,使得研究区对干旱事件的敏感性仍然存在。上述特征表明,结构性约束仍然存在。

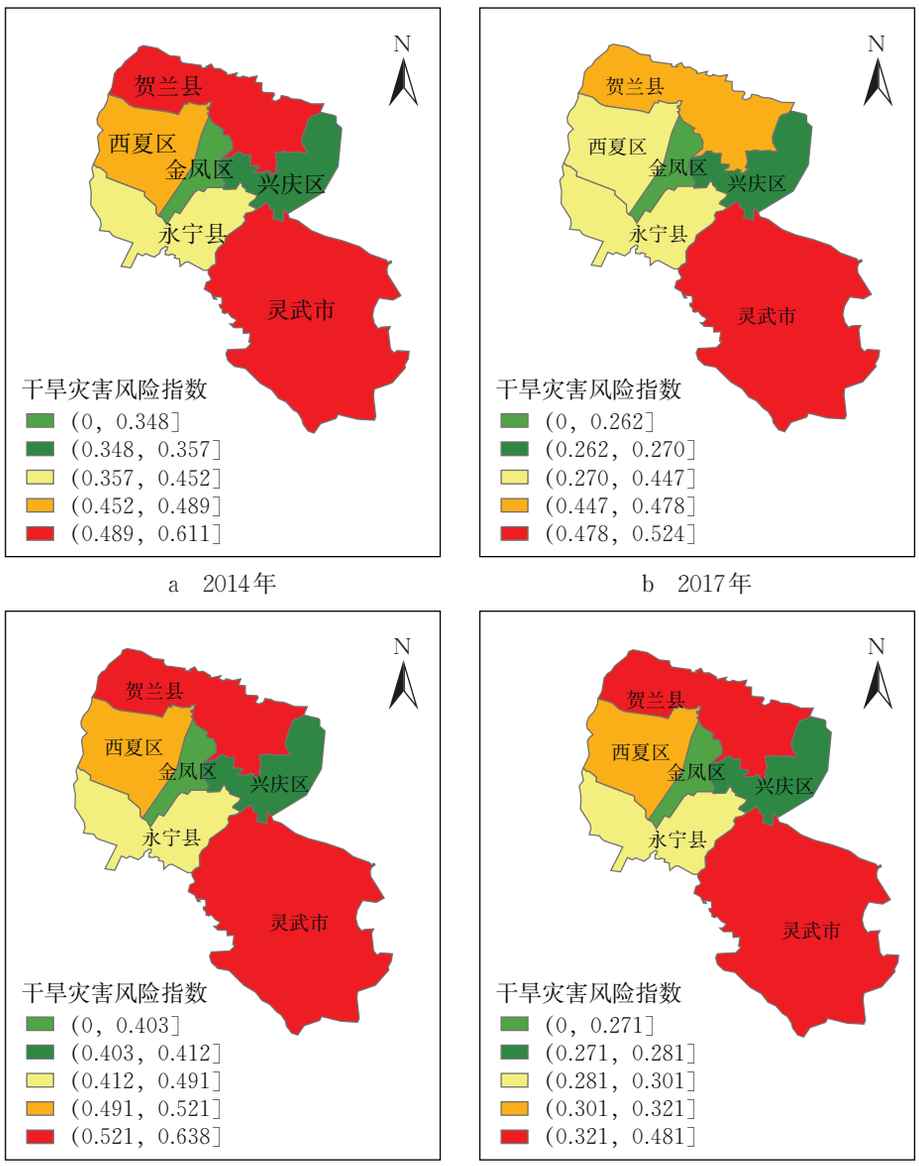
(4)抗灾减灾能力。研究期内,区域抗灾减灾能力呈稳步提升、波动较小的特征,这在一定程度上对干旱灾害综合风险起到缓冲作用。得益于黄河调水能力加强、城市供水工程完善、灌区基础设施升级等工程性措施的推进,黄河取水量稳定增长,这也体现了工程供水能力的持续提升;城市化水平和人均 GDP 稳步提高,提升了系统应对与恢复的能力。综合来看,防灾减灾能力相关指标在研究期内整体呈持续改善且相对稳定的变化态势,年际差异较小,因而在熵值法权重计算中占比较低。但从干旱灾害风险构成角度看,该类指标构成了降低综合风险水平的重要基础条件,对研究期内干旱灾害风险由高等向中等水平转变发挥了支撑作用。

2.2.3　千旱灾害风险综合指数空间分布特征　基于 2014,2017,2020,2023 年 4 期干旱灾害风险综合指数空间分布结果(图 3),发现银川市干旱风险总体呈现出显著的空间分异特征与阶段性演变规律。研究期内干旱灾害风险整体呈现南北高、中部低的分布特征。其中,灵武市在 4 个时段均表现为高风险区,风险等级稳定且指数值较高,说明该区域长期面临较强的干旱胁迫;贺兰县整体处于中、高风险水平,呈现一定波动性;永宁县是区域内相对稳定的低风险单元。西夏区风险水平相对较高,金凤区与兴庆区整体处于中等或较低风险水平,空间差异较为明显。贺兰县、灵武市为高风险核心区,这与其以能源化工和农业种植为主的产业结构密切相关,同时,这些区域受降水偏少、蒸发量大的气候条件的影响显著;兴庆区、金凤区作为核心主城区,防灾减灾能力与工程供水能力较强,干旱风险始终处于低位,各年份得分均显著低于全市均值,体现了城市防灾能力对干旱风险的缓冲作用;西夏区、永宁县两地受干旱气候影响较为显著,但依托靠近城市核心区的区位优势,水资源调配与抗旱保障能力相对较强,因此,风险水平介于高风险区与低风险区之间,形成中间过渡地带。

2.3　耦合、协调度

2014—2023 年银川市致灾因子危险性、承灾体脆弱性、孕灾环境敏感性与防灾减灾能力 4 个准则层的耦合度(C)均值达 0.786,但协调度(D)整体偏低,年均值仅为 0.276(表 4),处于轻度失调阶段。这表明 4 个准则层间虽存在较强的相互作用与关联程度,但整体尚未形成高效协同机制,其交互作用对干旱灾害综合风险的影响未能实现优化调控。

从时序来看,2014—2023 年银川市致灾因子危险性、承灾体脆弱性、孕灾环境敏感性与防灾减灾能力 4 个准则层的协调度呈现先升后降的演化特征。依据协调等级,大致可将研究时限分为 3 个阶段:2014—2016 年,协调度介于 0.234~0.341,处于轻度失调阶段,此阶段致灾因子危险性呈波动上升态势,承灾体脆弱性先降后升,整体处于较高水平,4 个准则层耦合度维持在较高区间,交互作用推动综合干旱风险持续升高;2017—2021 年,协调度介于 0.259~0.340,整体处于轻度失调阶段,此阶段致灾因子危险性波动变化,承灾体脆弱性逐步下降,孕灾环境敏感性与防灾减灾能力稳步提升,4 个准则层耦合度对干旱风险的放大效应有所减弱,综合干旱



注:底图来源于中华人民共和国自然资源部标准地图服务网站,审图号为GS(2024)0650号。

图 3 2014—2023年银川市干旱灾害风险指数的空间分布

Fig. 3 Spatial pattern of drought disaster risk index in Yinchuan City from 2014 to 2023

表 4 2014—2023年银川市干旱灾害风险评估准则层耦合度、协调度

Tab. 4 Coupling coordination degree of criteria layers for drought disaster risk assessment in Yinchuan City from 2014 to 2023

项目	2014年	2015年	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年	2021年	2022年	2023年
B_1	0.064	0.023	0.084	0.063	0.063	0.027	0.068	0.024	0.065	0.041
B_2	0.301	0.109	0.406	0.170	0.145	0.079	0.214	0.110	0.002	0.008
B_3	0.043	0.072	0.088	0.104	0.122	0.125	0.138	0.157	0.177	0.210
B_4	0.067	0.049	0.061	0.064	0.075	0.077	0.089	0.073	0.065	0.092
C	0.727	0.862	0.728	0.917	0.944	0.874	0.909	0.815	0.453	0.572
D	0.294	0.234	0.341	0.303	0.309	0.259	0.340	0.272	0.187	0.224

风险较 2016 年峰值回落并趋于相对平稳;2022—2023 年,协调度跌至 0.187～0.224,进入严重失调区间,此阶段承灾体脆弱性大幅降至极低水平,致灾因子危险性与防灾减灾能力同步回落,4 个准则层耦合度骤降促使交互作用强度显著减弱,综合干旱风险处于研究期低位。整体而言,银川市干旱灾害风险评估指标 4 个准则层的耦合、协调水平及演化趋势共同支配着综合干旱风险的变化,而承灾体脆弱性的剧烈波动是驱动综合干旱风险演变的关键因素。

3　结论与讨论

3.1　结论

基于自然灾害风险理论,构建了涵盖致灾因子危险性、承灾体脆弱性、孕灾环境易损性与防灾减灾能力的综合评价框架,对 2014—2023 年银川市干旱灾害风险进行定量评估,主要结论如下:

(1)银川市干旱灾害综合风险呈现显著的阶段性演化特征,由研究初期的高风险水平逐步下降并稳定于中风险区间;空间上表现为南北高、中部低的格局,高风险区具有明显的稳定性与集聚性。

(2)承灾体脆弱性与孕灾环境易损性是影响干旱风险变化的核心因素,其作用强于致灾因子与防灾减灾能力,二者的耦合、协调水平及演化趋势共同支配着综合干旱风险的变化,表明干旱风险主要受农业水资源依赖、人口与经济集聚等结构性因素的控制;高蒸发背景叠加引黄灌溉依赖,构成了干旱风险的基本约束条件,使风险的长期性与波动性并存;防灾减灾能力持续提升在缓解干旱风险方面发挥了重要支撑作用,尤其在极端干旱年份对风险的扩散具有显著抑制作用,但尚未从根本上改变区域干旱风险格局。

3.2　讨论

2014—2023 年,银川市干旱灾害风险呈现由高风险向中风险转变并趋于稳定的阶段性演化特征,其形成受气象条件、农业系统与社会经济因素的共同驱动。

(1)气象条件的阶段性改善是风险下降的直接原因。中后期降水增加,叠加部分年份蒸发减弱,使得区域水分亏缺状况有所缓解,抑制了干旱危险性。这与张强等[34]关于干旱半干旱区气候变化对干旱风险影响研究所得结论一致,即降水量的阶段性回升可在短期内显著降低干旱发生概率。但由于蒸发整体仍处于高位,自然干旱背景未发生根本性转变,风险仍具有波动性。因此,气象条件的改善仅为风险下降提供了外部契机,而非风险下降的决定性因素。

(2)农业暴露度下降削弱了承灾体脆弱性。研究期内,银川市有效灌溉面积增加,受灾与绝收面积总体下降,表明灌溉改进与结构调整提升了农业抗旱能力。此外,农业种植结构的优化调整也在一定程度上减少了干旱暴露。因此,农业系统的适应性调整是银川市干旱风险阶段性下降的重要内在驱动力。

(3)经济发展与城市化提升了系统恢复能力。研究期内,银川市人均 GDP 持续增长,城乡居民收入差距逐步缩小,社会应对干旱灾害的经济韧性得以增强。同时,城市化进程推进了供水与水利基础设施的完善,有效缓解了干旱压力。此外,引黄供水与水利工程建设在一定程度上阻滞了干旱向农业与社会系统的传导。

总体而言,银川市干旱灾害风险的阶段性下降并非是单一因素作用的结果,而是自然条件变化与人类调控能力提升共同作用的结果,体现出干旱风险演化的多因素耦合特征。其中,气象条件的阶段性改善为风险缓解提供了外部自然条件支撑;农业系统的适应性调整降低了承灾体脆弱性,并构成了干旱风险降低的内在驱动力;而社会经济发展水平的提升与水利工程设施的完善,则显著增强了系统恢复力;三者的协同作用共同推动了区域干旱风险的阶段性降低。

本研究仍存在一定局限性:首先,受数据条件限制,部分关键过程变量未能纳入分析,因此,对干旱风险形成机制的解释仍有待深化;其次,本研究主要基于历史统计数据开展静态评估,尚未结合未来气候变化情景开展动态模拟,对银川市干旱风险的前瞻性评估能力仍有不足。

参考文献:

[1] Nohrstedt D, Mazzoleni M, Parker C F, et al. Exposure to natural hazard events unassociated with policy change for improved disaster risk reduction[J]. Nature Communications, 2021, 12: 193.

[2] Lu C, Zhang Q, Woolway R I, et al. Global warming will increase the risk of water shortage in northwest China [J]. Earth's Future, 2025, 13(5): e2025EF006199.

[3] Yang W T, Chen J F, Ding T H, et al. Probabilistic assessment for drought risk: Integrating drought hazard, ecological sensitivity, economic vulnerability, and their

coupling coordination[J]. Journal of Hydrology, 2026, 664: 134451.
[4] Gebrechorkos S H, Sheffield J, Vicente-Serrano S M, et al. Warming accelerates global drought severity[J]. Nature, 2025, 642(8068): 628-635.
[5] 张耀宗, 张勃, 刘艳艳, 等. 1960—2012年宁夏强干旱时空格局及影响因素分析[J]. 灾害学, 2016, 31(1): 120-127.
[6] 王星明, 褚彦琪, 杨的山, 等. 广西干旱灾害风险评估及区划[J]. 节水灌溉, 2024(1): 60-68.
[7] 褚越, 薛晓萍, 张丽娟, 等. 山东省干旱灾害风险评估与区划[J]. 中国农学通报, 2023, 39(10): 101-112.
[8] Dimkpa C O, Singh U, Bindraban P S, et al. Zinc oxide nanoparticles alleviate drought-induced alterations in sorghum performance, nutrient acquisition, and grain fortification[J]. Science of the Total Environment, 2019, 688: 926-934.
[9] de Brito C S, da Silva R M, Guimarães Santos C A, et al. Monitoring meteorological drought in a semiarid region using two long-term satellite-estimated rainfall datasets: A case study of the Piranhas River basin, northeastern Brazil [J]. Atmospheric Research, 2021, 250: 105380.
[10] Campello Torres P H, Gonçalves D A, Mendes de Almeida Collaço F, et al. Vulnerability of the São Paulo macro metropolis to droughts and natural disasters: Local to regional climate risk assessments and policy responses[J]. Sustainability, 2021, 13(1): 114.
[11] Wilhite D A, Svoboda M D, Hayes M J. Understanding the complex impacts of drought: A key to enhancing drought mitigation and preparedness[J]. Water Resources Management, 2007, 21(5): 763-774.
[12] Cunha A P M A, Zeri M, Deusdará Leal K, et al. Extreme drought events over Brazil from 2011 to 2019 [J]. Atmosphere, 2019, 10(11): 642.
[13] Belal A A, El-Ramady H R, Mohamed E S, et al. Drought risk assessment using remote sensing and GIS techniques[J]. Arabian Journal of Geosciences, 2014, 7(1): 35-53.
[14] 张玉静, 王春乙, 张继权. 基于SPEI指数的华北冬麦区干旱时空分布特征分析[J]. 生态学报, 2015, 35(21): 7097-7107.
[15] Salam R, Towfiqul Islam A R M, Shill B K, et al. Nexus between vulnerability and adaptive capacity of drought-prone rural households in northern Bangladesh [J]. Natural Hazards, 2021, 106(1): 509-527.
[16] 石界, 姚玉璧, 雷俊. 基于GIS的定西市干旱灾害风险评估及区划[J]. 干旱气象, 2014, 32(2): 305-309.
[17] 张强, 李栋梁, 姚玉璧, 等. 干旱形成机制与预测理论方法及其灾害风险特征研究进展与展望[J]. 气象学报, 2024, 82(1): 1-21.
[18] 闫俊, 李兴阳, 黄冬梅, 等. 天津市静海区暴雨灾害风险精细化评估[J]. 气象科学, 2022, 42(6): 844-852.
[19] 韩兰英. 气候变暖背景下中国农业干旱灾害致灾因子、风险性特征及其影响机制研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2016.
[20] 谢岷, 高聚林, 孙继颖, 等. 基于SPEI指数的内蒙古多时空尺度干旱特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2022, 41(6): 140-146.
[21] 张艳明. 甘肃省干旱灾害风险评估及区划研究[D]. 西安: 西安科技大学, 2021.
[22] 李兴华, 陈素华. 内蒙古草地干旱损失评估方法研究[J]. 草业科学, 2012, 29(7): 1033-1038.
[23] 贾慧聪, 王静爱, 潘东华, 等. 基于EPIC模型的黄淮海夏玉米旱灾风险评价[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 643-652.
[24] 刘义花, 李林, 颜亮东, 等. 基于灾损评估的青海省牧草干旱风险区划研究[J]. 冰川冻土, 2013, 35(3): 681-686.
[25] 赵志龙, 张镱锂, 刘峰贵, 等. 青藏高原农牧区干旱灾害风险分析[J]. 山地学报, 2013, 31(6): 672-684.
[26] 汪超, 罗喜平. 基于GIS的贵州省道路结冰灾害风险区划分析[J]. 高原山地气象研究, 2017, 37(3): 71-77.
[27] 塔依尔江·吐尔浑, 安瓦尔·买买提明. 新疆喀什地区城市自然灾害综合风险评估[J]. 冰川冻土, 2014, 36(5): 1321-1327.
[28] 肖继东, 王智, 师庆东, 等. 基于熵权法的土地覆被动态遥感监测与评价: 以新疆伊犁地区和博州为例[J]. 中国沙漠, 2011, 31(5): 1286-1292.
[29] 刘晓冉, 康俊, 王颖, 等. 基于GIS和FloodArea水动力模型的重庆市山洪灾害风险区划[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2): 206-211.
[30] 吴开亚, 金菊良. 区域生态安全评价的熵组合权重属性识别模型[J]. 地理科学, 2008, 28(6): 754-758.
[31] 褚越, 薛晓萍, 张丽娟, 等. 山东省干旱灾害风险评估与区划[J]. 中国农学通报, 2023, 39(10): 101-112.
[32] 卢晓宁, 洪佳, 王玲玲, 等. 复杂地形地貌背景区干旱风险评价[J]. 农业工程学报, 2015, 31(1): 162-169.
[33] 盖美, 秦冰, 郑秀霞. 经济增长动能转换与绿色发展耦合协调的时空格局演化分析[J]. 地理研究, 2021, 40(9): 2572-2590.
[34] 张强, 黄建平, 杨金虎, 等. 中国干旱、半干旱区气候变化及影响研究百年进展[J]. 气象学报, 2025, 83(3): 699-715.

(下转第187页)