

成渝地区双城经济圈县域高温热浪脆弱性空间分异格局及主导类型研究

林雅欣, 徐一菡, 赵紫涵

重庆工商大学公共管理学院, 重庆

收稿日期: 2025年4月24日; 录用日期: 2025年5月28日; 发布日期: 2025年6月5日

摘要

随着全球气候变化, 极端高温事件发生的频率与强度持续增加, 对居民健康产生重要影响。本文基于县域尺度, 从暴露度、敏感性和适应能力3个维度构建成渝地区双城经济圈县域高温热浪脆弱性评价指标体系, 探究研究区内高温热浪脆弱性空间分布特征及其主导类型, 并进一步提出差异化的适应性规划策略。结果发现: 1) 成渝地区双城经济圈的暴露度指数空间分布呈现自西向东递增的梯度分异特征; 敏感性指数空间分布呈现显著的逆核心-边缘结构; 适应能力指数呈现核心-外围分异格局; 高温脆弱性分布大体上呈现西低东高, 还存在以重庆市主城区为核心的核心-外围结构; 2) 研究区内高温脆弱性主导类型有8类, 且以综合主导型、低脆弱型、适应能力不足型及潜在脆弱型为主; 3) 研究区脆弱性主导类型的分布具有一定的空间集聚特征, 其分异特点是自然条件、经济结构、社会资源等多因素综合作用的结果。

关键词

高温脆弱性, 空间分异, 主导类型, 成渝地区双城经济圈

Study on the Spatial Differentiation Pattern and Dominant Type of High Temperature Heat Wave Vulnerability in Counties of Chengdu-Chongqing Economic Circle

Yixin Lin, Yihan Xu, Zihan Zhao

School of Public Administration, Chongqing Technology and Business University, Chongqing

Received: Apr. 24th, 2025; accepted: May 28th, 2025; published: Jun. 5th, 2025

文章引用: 林雅欣, 徐一菡, 赵紫涵. 成渝地区双城经济圈县域高温热浪脆弱性空间分异格局及主导类型研究[J]. 地理科学研究, 2025, 14(3): 473-483. DOI: 10.12677/gser.2025.143047

Abstract

With global climate change, the frequency and intensity of extreme heat events continue to increase, which has a significant impact on residents' health. This article is based on the county-level scale, and constructs a vulnerability evaluation index system for high-temperature heat waves in the Chengdu Chongqing Economic Circle from three dimensions: exposure, sensitivity, and adaptability. It explores the spatial distribution characteristics and dominant types of high-temperature heat wave vulnerability in the study area, and further proposes differentiated adaptive planning strategies. The results showed that: 1) The spatial distribution of the exposure index of the Chengdu Chongqing economic circle in the Chengdu Chongqing region exhibited a gradient differentiation characteristic increasing from west to east; the spatial distribution of sensitivity index shows a significant inverse core edge structure; the adaptability index shows a core periphery differentiation pattern; the distribution of high temperature vulnerability is generally low in the west and high in the east, with a core periphery structure centered around the main urban area of Chongqing. 2) There are 8 dominant types of high-temperature vulnerability in the research area, mainly including comprehensive dominant type, low vulnerability type, insufficient adaptability type, and potential vulnerability type. 3) The distribution of dominant types of vulnerability in the research area has certain spatial clustering characteristics, and its differentiation characteristics are the result of the comprehensive effects of multiple factors such as natural conditions, economic structure, and social resources.

Keywords

High Temperature Fragility, Spatial Differentiation, Dominant Type, Chengdu Chongqing Economic Circle

Copyright © 2025 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

在全球气候变化背景下，极端高温事件发生频率和强度呈现增多增强趋势[1]，且城市高温热浪灾害会给人类健康带来了极大的负面影响[2]。在我国，据中国国家气候中心监测评估，2022年6月13日到8月底的区域性高温事件综合强度是1961年有完整气象观测记录以来的最大强度，预计至2100年，高温灾害高风险区面积将扩展至全国总面积的63%[3]。极端高温灾害是与天气有关的人类死亡的原因之一。2003年夏季，欧洲高温热浪事件中有35,000人被夺去生命[4]；2013年中国遭遇罕见高温热浪天气，其中上海作为重灾区，热浪相关死亡人数达到1347人。预计到2030年，世界范围内热相关死亡人数将超过90,000人[5]。除了直接导致死亡，高温天气下心血管、呼吸道、消化道等疾病的发病率都会显著增加。特别是儿童和老年人群体，他们对环境温度变化尤为敏感，且适应能力较弱，在高温热浪下更为脆弱[6]。

由于地形及环流系统等影响，川渝地区易出现高温酷暑天气[7]。因此，对成渝地区进行高温热浪脆弱性评估，因地制宜地制定应对气候变化的政策体系，协同应对高温热浪灾害，提高城市系统适应性具有重要意义。

2. 数据来源及研究方法

2.1. 研究区概况

成渝地区双城经济圈地处中国西南腹地(图1)，区域自西向东依次跨越成都平原、川中丘陵、川东平

行岭谷三大地貌单元，地势起伏显著。该区域属亚热带季风气候区，夏季受西太平洋副热带高压和青藏高原热力作用叠加影响，高温热浪事件频发且强度突出[8]。近年来，受全球气候变化与城市化进程加速的双重驱动，成渝地区极端高温日数持续增加。该区域作为国家“双循环”战略的重要支点，地区生产总值占西部地区总量的30%以上，但县域发展不平衡的特征显著。核心城市群产业集聚成都较高、人口密度较大，热岛效应加剧了局地高温强度；而外围县域以农业为主，老龄化率较高、基础设施相对薄弱，应对高温的能力较弱。区域内县域间经济水平、产业结构、生态本底及公共服务资源配置差异显著。这种自然-社会经济的空间异质性，使其高温热浪暴露度、敏感性与适应能力的耦合关系呈现复杂分异格局。综上，对成渝经济圈进行高温热浪风险评估具有重要实际意义。



底图来源(下同): 该图基于重庆市规划和自然资源局标准地图服务网站下载的, 审图号为渝S(2022)062号的标准地图制作, 底图无修改。

Figure 1. Location map

图1. 区位图

2.2. 数据来源

气象数据来源于中国国家级地面气象站基本气象要素日值数据集(V3.0)，通过对数据筛选整理，剔除观测时序缺失较长、建站较晚和部分难以利用的数据，最终确定了2020年成渝地区双城经济区县域内的18个气象站点的气象数据。住房条件、卫生和社会工作人口比例、建筑业从业人口比例、65岁及以上老年人口占比、初中以上学历比例、高龄人口比例、儿童人口比例等数据均来源于2020年中国人口普查分县数据集。数字高程模型和归一化植被指数来自资源环境科学与数据平台。人均GDP来自2021年四川省统计年鉴与重庆市统计年鉴。

2.3. 指标体系

本文参考黄晓军等提出的自然灾害脆弱性评估框架[9]，从暴露性、敏感性、适应能力3个维度选取

相应的指标,构建了高温热浪脆弱性的评价指标体系(如表1),对成渝地区双城经济圈县域空间单元的高温热浪脆弱性进行评价。

Table 1. Evaluation index system of urban high temperature social vulnerability
表 1. 城市高温社会脆弱性评价指标体系

维度层	指标层	指标释义	指标性质	权重
暴露度	高温日数(天)	日最高气温 $\geq 35^{\circ}\text{C}$ 的天数	+	0.074
	热浪频次(次)	高温热浪事件(连续 3 天 $\geq 35^{\circ}\text{C}$)发生次数	+	0.072
	热浪持续时间(天)	高温热浪过程持续的总天数	+	0.087
	热浪强度($^{\circ}\text{C}$)	高温热浪过程中日最高气温超过 35°C 的气温累积数	+	0.088
敏感性	平均海拔(m)	海拔高度与暴露度存在负相关	-	0.051
	65 岁以上人口比例(%)	反映老年人口的敏感特征	+	0.067
	建筑业从业人口比例(%)	反映户外工作人员的敏感特征	+	0.086
	高龄人口比例(%)	反映 80 岁以上高龄人口的敏感特征	+	0.062
	儿童人口比例(%)	反映 0~14 岁儿童人口的敏感特性	+	0.088
	人均 GDP(元)	城乡居民收入替代指标	-	0.044
	初中以上学历比例(%)	高温认知水平和应对能力替代指标	-	0.061
适应能力	住房有洗澡设施户比例(%)	居民是否具有降温设施替代指标	-	0.055
	住房内有管道自来水比例(%)	居民是否具有降温设施替代指标	-	0.047
	归一化植被指数(NDVI)	应对高温的设施水平替代指标	-	0.068
	卫生和社会工作人口比例(人)	应对高温灾害健康保障水平替代指标	-	0.048

3. 研究方法

3.1. 综合评价法

综合评价法是通过构建多维度指标体系,将复杂系统转化为可量化比较值的分析方法。在高温热浪脆弱性研究中,可从暴露度、敏感性和适应能力三个维度建立评价体系,综合反映县域单元的系统脆弱性。

本文采用综合评价法按照权重进行累加得出研究区内各县域的敏感性、适应能力以及高温暴露度。各区县暴露度指数在此前需利用 ArcGIS 软件中的克里格空间插值方法并通过分区统计得到研究区内县域的高温日数、热浪频次、热浪持续时间、热浪强度。

$$S_i = \sum_{j=1}^n W_j Z_{ij} \quad (1)$$

式中: S_i 为第 i 个县域的综合指数, W_j 为第 j 项指标的权重(由熵权法确定), Z_{ij} 为标准化后的指标值。

3.2. 熵权法

熵权法客观确定指标权重,其原理为根据各指标反映的数据熵值信息量大小,结合指标的变异程度,确定指标权重,具有克服指标变量间信息重叠以及人为主观性的特点[10]。本文运用熵权法分别计算各维度层的指标权重。

① 数据标准化:为消除各指标间的量纲、量级和性质差异的影响,采用极差标准化方法对原始数据

进行标准化处理。正向指标标准化公式为:

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

负向指标标准化公式为:

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

式中: X_{ij} 、 $X_{j\max}$ 、 $X_{j\min}$ 和 Y_{ij} 分别为第 i 研究对象第 j 指标的原始值、最大值、最小值和标准化值。本文中高温暴露度以及敏感性为正向指标, 适应能力为负向指标。

② 计算第 j 项指标下第 i 个样本值的比重

$$P_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^n X_{ij}} \quad (4)$$

③ 计算各指标的信息熵

$$e_j = -K \times \sum_{i=1}^n (P_{ij} \times \ln(P_{ij})) \quad (5)$$

$$\text{其中 } K = \frac{1}{\ln(n)}$$

④ 计算信息效用值 d

$$d_j = 1 - e_j \quad (6)$$

⑤ 计算权重系数值 W

$$W_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \quad (7)$$

3.3. 高温脆弱性函数模型

高温脆弱性的函数模型构建主要分为加减法和乘除法。本文选择乘积法构建高温脆弱性函数模型, 与加减法相比, 此法有利于避免中某一因子的高值被其他因子的低值“抵消”, 而掩盖真实风险; 与乘除法相比, 此法能够产生协同放大作用, 这种效应更符合实际灾害风险的累积特征。模型表达式如下:

$$SoVI = EI \times SI \times AI \quad (8)$$

式中: $SoVI$ 为城市高温热浪脆弱性指数; EI 、 SI 、 AI 分别为暴露度指数、敏感性指数和适应能力指数。暴露度与敏感性之和代表了潜在的社会脆弱性, 具有正向作用, 适应能力则对其具有抵消作用, 三者共同反映了评价单元的实际社会脆弱性, 各指数通过乘积计算得出。

3.4. 空间叠置法

运用空间叠置法划分成渝地区双城经济圈县域高温热浪脆弱性的主导类型, 需对三个指数(暴露度、敏感性、适应能力)分别进行分级, 并通过组合规则确定主导类型。

① 标准化与分级公式

对每个指数进行标准化, 然后使用自然断点法划分高(H)、低(L)两级。例如:

$$Class(X_i) = \begin{cases} H, X_i \geq Q_1 \\ L, X_i < Q_1 \end{cases} \quad (9)$$

其中, Q_1 为间断点。

② 本文中涉及的主导类型组合规则(见表 2)

Table 2. Combination rule table of dominant types of high temperature social vulnerability
表 2. 高温社会脆弱性主导类型组合规则表

暴露度指数	敏感性指数	适应能力指数	脆弱性主导类型
<i>H</i>	<i>L</i>	<i>H</i>	暴露主导型
<i>L</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	敏感主导型
<i>H</i>	<i>H</i>	<i>H</i>	适应能力不足型
<i>L</i>	<i>L</i>	<i>H</i>	低脆弱型
<i>L</i>	<i>H</i>	<i>L</i>	敏感 - 适应能力不足型
<i>L</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	潜在脆弱型
<i>H</i>	<i>H</i>	<i>L</i>	综合主导型
<i>H</i>	<i>L</i>	<i>L</i>	暴露 - 适应能力不足型

4. 结果分析

4.1. 高温热浪社会脆弱性空间分异格局

分别计算成渝地区双城经济圈各区县高温暴露度指数、敏感性指数和适应能力指数, 将结果代入公式计算得出经济圈内各县域的高温社会脆弱性指数, 采用自然断点方法将其划分为高、较高、中、较低、低 5 个等级, 进而得出各城市 3 个维度指数以及高温社会脆弱性的空间分异结果(见图 2)。

暴露度指数空间分布呈现梯度分异特征, 整体上呈现自西向东递增的趋势。高值区与较高值区集中分布于四川省东部、重庆市主城区及周边区域。一方面这些地区由于城市化程度较高、人口密集, 热岛效应显著; 另一方面这些地区位于副热带高气压带, 7~8 月受西太平洋副热带高压持续影响, 盛行下沉气流, 导致晴天多、日照强, 地表辐射增温明显, 并地处四川盆地东部, 受地形影响热量不易散失, 导致高温日数多、热浪频次高、持续时间长且强度大, 暴露度水平显著提升; 中值区主要沿成渝城市群间的次级城市带分布, 其高温暴露度受城市规模与地形过渡影响, 表现为中等水平; 低值区多位于经济圈西部及重庆东北部山区, 得益于较高的海拔、良好的植被覆盖, 高温日数少且热浪强度较弱, 暴露度相对较低。整体格局呈现自西向东递增的趋势, 反映了城市化进程、地形特征与大气环流条件的综合作用。

敏感性指数空间分布呈现显著的逆核心 - 边缘分异特征。高值区与较高值区主要集中于成渝两大核心城区周边的城镇化区域, 由于成都市市辖区、重庆市市辖区等核心城市以服务业和高新技术产业为主, 拥有强大的人口吸引作用, 吸引大量年轻劳动力流入, 因而 65 岁以上和 80 岁高龄人口比例相对较低, 儿童人口比例适中, 经济韧性强, 敏感性较低; 而周边县域如安岳县、威远县等地因青壮年人口流失较严重, 人口老龄化程度较高, 儿童比例偏低且就业集中于劳动密集型产业, 建筑业依赖度高, 医疗资源相对紧张, 抗风险能力弱, 导致敏感性指数居高不下。此外, 还存在分别以峨眉山市、南充市、名山县等区域为核心的小规模逆核心 - 边缘结构。这种分异反映了核心城市与外围县域在产业升级、人口流动和资源分配上的结构性差异及对高温敏感性的复合影响。

为体现适应能力对高温热浪脆弱性的负向作用, 在对其取倒数后, 进行可视化, 得到适应能力指数空间分异格局。低值区如成都市市辖区、重庆市市辖区适应能力较强, 主要因其较高的人均 GDP 支撑了住房降温设施的普及率, 同时卫生和社会工作人口比例较高, 提升了高温健康保障水平, 此外, 这些区

域初中以上学历人口占比大,认知能力和灾害应对意识较强,形成了应对高温的系统性能力。中等适应能力区主要分布在城市拓展带,如南充市、绵竹市。因经济实力和医疗资源相对中等,适应能力次之。高值区如平武县、马边彝族自治县多位于山区或经济欠发达县域,人均GDP偏低导致降温设施覆盖率不足,且卫生服务可及性较差;尽管部分区域归一化植被指数(NDVI)较高,但受限于经济与基础设施短板,生态降温效应未能有效转化为综合适应能力。整体上,适应能力与经济实力、基础设施水平及公共服务资源分布呈正相关,而NDVI仅在结合其他社会经济指标时方能发挥协同作用。特别值得注意的是,在城市群连接带存在明显的适应能力断层现象,这暴露出区域协同发展机制的不足。这种空间分布格局,深刻反映了区域经济发展水平、公共服务能力及植被覆盖率的综合影响。

综合了3个维度的城市高温社会脆弱性指数空间分布集聚特征较为显著。城市高温脆弱性指数分布大体上呈现西低东高,与城市高温暴露度格局相似,表明经济圈内城市高温脆弱性的分布主要还是受控于自然气候环境。与此同时,还存在以重庆市主城区为核心的核心-外围结构,重庆市核心城市市区凭借其强大的人口吸引作用,老龄化程度较低且经济条件较为发达,脆弱型指数较低,而外围地区脆弱性指数较高。整体上高值区与较高值区占比约35%,集中分布于经济圈的中东部,这些区域高温暴露度与社会敏感性叠加,导致社会脆弱性较高;中值区占比约30%,主要沿成渝双城间的次级城市分布;较低值区与低值区占比约35%,多位于经济圈西部,处于川西高原过渡带,其优良的自然通风条件和较强的生态韧性有效降低了高温社会脆弱性。

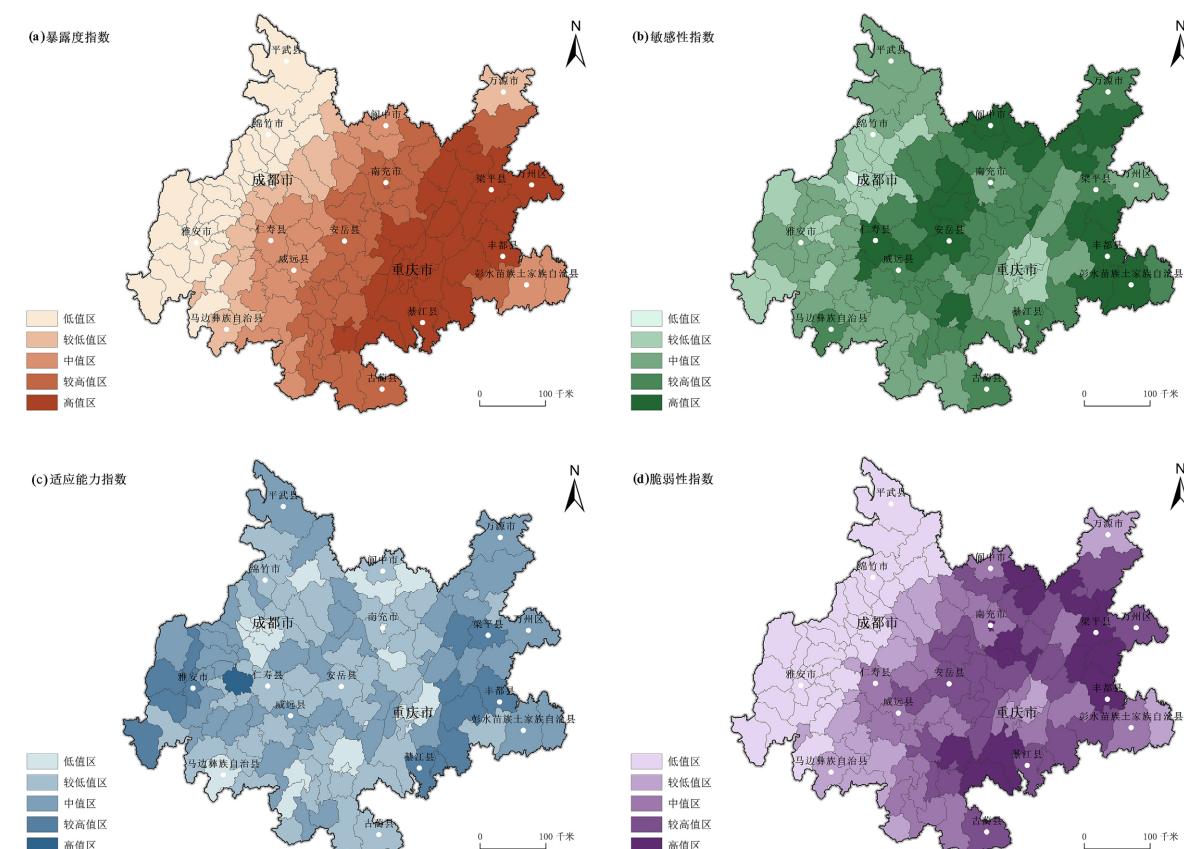


Figure 2. Exposure, sensitivity, adaptability and social vulnerability index distribution of counties in Chengdu-Chongqing economic circle

图2. 成渝地区双城经济圈各县域暴露度、敏感性、适应能力及社会脆弱性指数分布

4.2. 高温热浪社会脆弱性主导类型

为了衡量暴露度、敏感性和适应能力3个维度对城市高温社会脆弱性的影响,根据空间叠置法确定各城市高温社会脆弱性的致脆主导类型,包括暴露主导型、敏感主导型、综合主导型、适应能力不足型、低脆弱型、潜在脆弱型、敏感-适应能力不足型以及暴露-适应能力不足型8种类型,为制定差异化防灾策略提供依据。

从各脆弱型主导类型的数量上看,暴露主导型涉及10个区县、敏感主导型涉及7个区县、综合主导型涉及30个区县、适应能力不足型涉及25个区县、潜在脆弱型涉及17个区县、敏感-适应能力不足型涉及6个区县、暴露适应能力不足型涉及12个区县、低脆弱型涉及28个区县(见表3)。可见研究区以综合主导型、低脆弱型、适应能力不足型及潜在脆弱型为主,属于这四种类型的区县占总数的74%。

Table 3. The number and proportion of vulnerable dominant types in each district and county in the study area
表3. 研究区各区县脆弱型主导类型数量及占比表

脆弱性主导类型	数量	占比
暴露主导型	10	7.4%
敏感主导型	7	5.2%
适应能力不足型	25	18.5%
低脆弱型	28	20.7%
敏感-适应能力不足型	6	4.5%
潜在脆弱型	17	12.6%
综合主导型	30	22.2%
暴露-适应能力不足型	12	8.9%

从各脆弱型主导类型的空间分布上看,研究区城市高温社会脆弱性主导类型的空间分布具有一定的集聚特征(见图3)。低脆弱型主要分布在研究区西部(如名山县、洪雅县、雅安市、汶川县、宝兴县、绵竹市、平武县、北川县、石棉县等),上文提到研究区内高温脆弱性的分布主要受控于自然气候环境,该区域因自然环境条件较好且海拔较高,高温暴露度水平低,因而脆弱性水平较低,属于低脆弱型。潜在脆弱型处于低脆弱型与其它类型的过渡区(如峨边彝族自治县、成都市市辖区、德阳市、绵阳市、安县、梓潼县、广汉市等),该类型区内暴露度、敏感性及适应能力均较低,若发生极端高温事件,其潜在灾害风险较高。敏感-适应能力不足型则呈现散点状分布在研究区中西部(如马边彝族自治县、仁寿县、中江县、三台县及阆中市),这些区县主要是由于其老年人口比例较高且经济欠发达导致其敏感性较高、适应能力较弱,形成敏感-适应能力不足型区域。综合主导型集聚特征较为明显,主要分布在经济圈中部(如仪陇县、蓬安县、西充县、安岳县、资中县、荣县、高县、广安市、富顺县等),其低海拔导致高温暴露、老龄化及建筑业从业人口比例占比较高导致高敏感、经济发展较落后与降温设施不足又导致其适应能力较弱,因而形成暴露度、敏感性和适应能力均较差的区域。适应能力不足型主要集聚在研究区东部、部分呈点状分布在中部(如万州区、长寿区、渠县、梁平县、涪陵区、黔江土家族自治县、达县、綦江县等),这些地区由于人均GDP较高而具有较高的适应能力,但又由于平均海拔较低、老龄化程度较高导致暴露度及敏感性指数均较高,从而其适应能力呈现明显不足。暴露-适应能力不足型主要包括重庆市主城区、宜宾市、叙永县、筠连县等地区,这些地区高温热浪指数均较高而出现高暴露度,适应能力不足的原因则分为两类,重庆市主城区主要是由于其归一化植被指数较低而导致的适应能力较弱,而叙永县、筠连县等地则由于经济欠发达导致其适应能力较弱。暴露主导型主要分布暴露-适应能力不足型周围(如巴南

区、大足县、邻水县、荣昌县、兴文县、珙县等)，因其高温热浪直接暴露风险较高，而呈现暴露主导型。敏感主导型呈现散点状分布在老年或儿童人口比例高、传统产业所占比重较高的县域(如万源市、简阳市、眉山县、井研县、盐亭县、黔江土家族苗族自治县等)。

总体来看，成渝经济圈的脆弱性分异是自然条件、经济结构、社会资源等多因素综合作用的结果，未来需针对不同类型区的短板制定差异化策略，推动全域韧性提升。

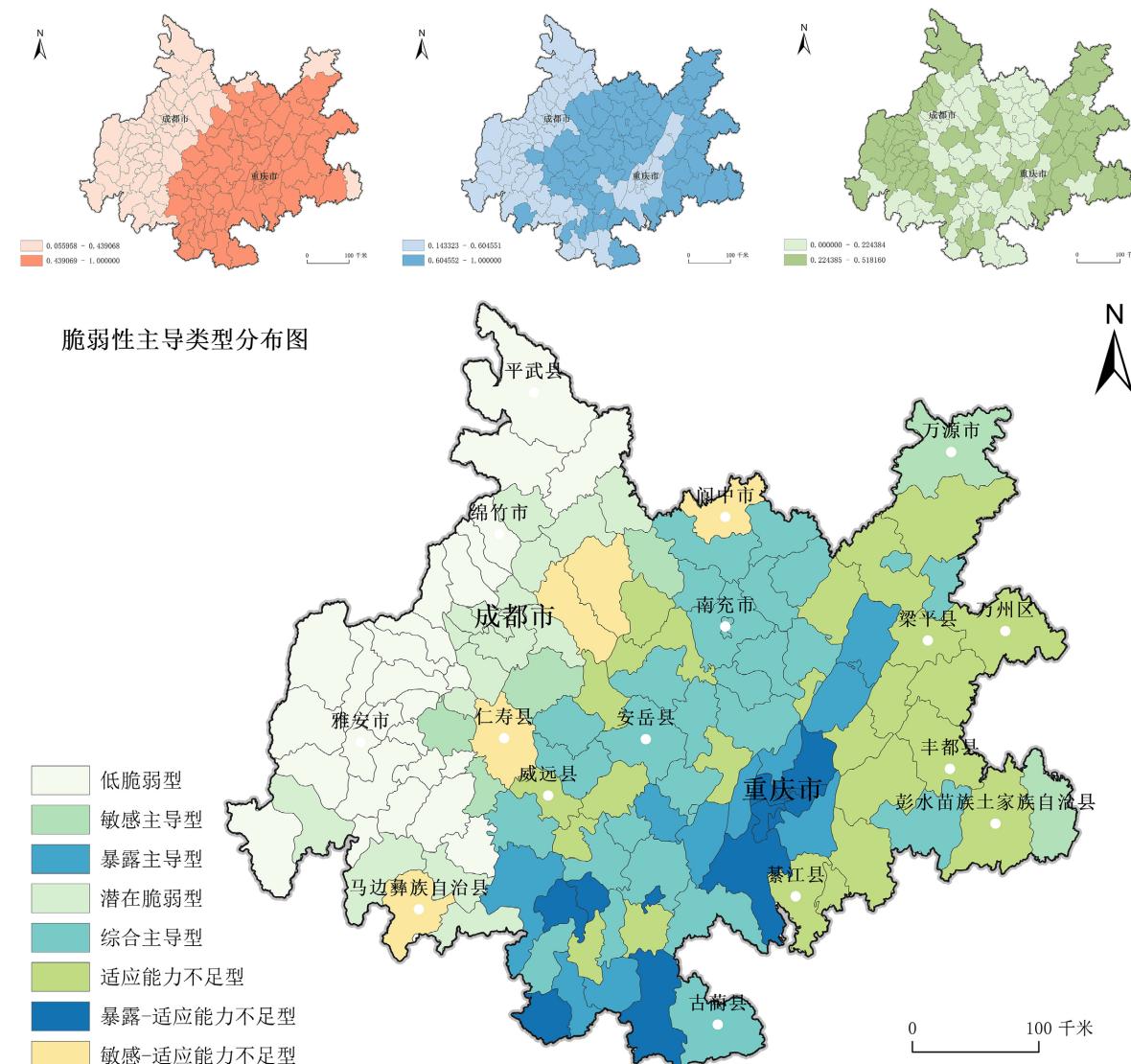


Figure 3. Distribution map of social vulnerability to high temperature and heat wave in Chengdu-Chongqing economic circle
图3. 成渝地区双城经济圈高温热浪社会脆弱性致脆类型分布图

5. 结论与对策

5.1. 结论

当前，我国高温热浪研究尺度主要是城市尺度，而本文以成渝地区双城经济圈为研究区域，基于区县尺度，补充丰富多层级的脆弱性理论体系。通过构建“暴露度-敏感性-适应能力”评估框架，运用

综合评价法、熵权法、高温脆弱性函数模型评估研究区的高温脆弱性，揭示经济圈高温脆弱性的空间分异格局，并采用空间叠置法进行脆弱性主导类型分类，以便于针对不同类型区制定差异化策略，推动全域韧性提升。研究结论如下：

(1) 成渝地区双城经济圈各区县高温暴露度指数空间分布呈现梯度分异特征，整体上呈现自西向东递增的趋势；敏感性指数空间分布整体上呈现以成渝两大核心城区为核心的显著逆核心-边缘分异特征，且存在分别以峨眉山市、南充市、名山县等区域为核心的小规模逆核心-边缘结构；适应能力指数也呈现明显的以成渝两大核心城区为核心的核心-外围分异格局；研究区高温脆弱性指数分布大体上呈现西低东高，与城市高温暴露度格局相似，表明经济圈内城市高温脆弱性的分布主要还是受控于自然气候环境，与此同时，脆弱性指数的分布还存在以重庆市主城区为核心的核心-外围结构，重庆市核心城区的高温脆弱性明显低于其周边区县。

(2) 研究区内高温社会脆弱性的脆弱性主导类型主要有8类，分别为暴露主导型、敏感主导型、综合主导型、适应能力不足型、低脆弱型、潜在脆弱型、敏感-适应能力不足型以及暴露-适应能力不足型8种类型。从各类型的数量上看，研究区以综合主导型、低脆弱型、适应能力不足型及潜在脆弱型为主，属于这四种类型的区县占总数的74%。

(3) 从各脆弱型主导类型的空间分布上看，低脆弱型主要分布在研究区西部，潜在脆弱型处于低脆弱型与其它类型的过渡区，敏感-适应能力不足型则呈现散点状分布在研究区中西部，综合主导型集聚特征较为明显，主要分布集聚在经济圈中部，适应能力不足型主要集聚在研究区东部、部分呈点状分布在中部，暴露-适应能力不足型主要包括重庆市主城区、宜宾市、叙永县、筠连县等地区，暴露主导型主要分布暴露-适应能力不足型周围，敏感主导型呈现散点状分布在老年或儿童人口比例高、传统产业所占比重较高的县域。从研究区高温脆弱性的分布格局来看，其空间分布格局与高温暴露度指数分布格局大致相似，这说明成渝地区双城经济圈地区高温脆弱性的空间分布主要受到自然因素的影响，且脆弱性指数具有一定空间集聚特征。该研究结果进一步验证了已有研究的相关发现(包微等, 2024; 郭禹慧等, 2021) [11] [12]。这一研究结论对各地区提出差异化策略，具有重要参考价值。

5.2. 对策

面对成渝经济圈内日益频发的极端高温事件，加之主城区内城市热岛效应显著，社会经济要素分布密集等问题，积极主动制定相关策略，推动双核引领与全域协同发展，减缓高温热浪胁迫，构建更具韧性的区域经济生态体系，具有重要意义。本文提出如下对策：

对于暴露主导型区县，一方面应尽快建立精细化高温热浪天气预警系统，划分风险等级，通过电视广播、互联网等方式实时推送预警，加强群众对高温热浪天气的防范意识与能力，在极端高温灾害发生时，医疗机构做好紧急响应措施，提供健康保障，降低高温热浪事件对地区经济发展与人群健康的危害。另一方面可通过实行分时段弹性工作制，动态调整工作时间，对于学生群体，可通过动态调整学校上课时间及户外活动安排时间如暂停午间体育课、延迟上下学时间，以减少极端高温时段的暴露危害。

对于敏感主导型区县，应加强对重点敏感人群，尤其是老年、儿童敏感人群的关爱援助，进而提高其适应能力是脆弱性治理的主要方向。在高温热浪频发时期，社区层面可采取电话访问、登记信息、建立健康档案等方式追踪敏感群体的身体健康状况[13]。同时，可在老年人群中普及防暑知识与急救技能，提高老年人等敏感群体的高温认知能力；另一方面，还需要优化公共空间设计，可通过利用透水铺装、设置遮阳设施和喷雾降温系统，为户外工作者(如建筑业从业人员)提供休息和避暑空间。

对于适应能力不足型脆弱社区，适合采取多种综合措施以提高其适应能力。在建成环境方面，应合理规划不同城市区域的蓝绿空间，充分挖掘绿色基础设施潜力，加强微观层面上的垂直绿化、凉爽屋顶、

浅色屋面、喷水景观、街头绿地等改造设计，与此同时，优化建筑设计和施工，推广绿色建筑、低碳建筑、避免大规模的建筑密度等方式来减少人为热排放，降低高温热浪胁迫。当地政府应注重公共设施和空间的改造，完善纳凉场所规划，以延长纳凉场所开放时间等方式提升高温适应能力，并进一步对低收入群体和弱势群体的关注，保障公共资源分布的公平性和公正性，逐步解决高温灾害下资源分配不足的问题[11]。

本文尚存在以下不足：其一，研究数据准确性方面，受研究尺度和数据获取限制的影响，各区县暴露度指标中的高温热浪指标是通过18个气象站点的数据通过克里金插值及分区统计得出的，数据准确性存在一定局限。其二，研究结果方面，高温脆弱性指数分布与城市高温暴露度格局相似，原因可能为：一方面本文选取的适应能力指标及敏感性指标尚不能反映实际的高温适应能力及敏感性，如缺少空调拥有率等切实缓解高温影响并提高适应能力的指标、缺少人口密度或农业人口比例进一步反映敏感性指标；另一方面可能是敏感性及适应能力指标的权重相对较低。其三，本文对高温脆弱性的研究仍停留在静态评价，而高温脆弱性是一个动态演变过程，本文缺乏时间动态演变过程的脆弱性评价，尚无法判断研究区的高温脆弱性变化趋势。

本文仍有待进一步完善，今后可通过提高研究数据可靠性、在微观尺度上深入分析人口密度、空调拥有率等因素对高温脆弱性的影响，并进一步从时空动态角度预测城市脆弱性。

基金项目

重庆市大学生创新创业训练计划项目(S202311799047)。

参考文献

- [1] Cowan, T., Purich, A., Perkins, S., Pezza, A., Boschat, G. and Sadler, K. (2014) More Frequent, Longer, and Hotter Heat Waves for Australia in the Twenty-First Century. *Journal of Climate*, **27**, 5851-5871.
<https://doi.org/10.1175/jcli-d-14-00092.1>
- [2] 谢盼, 王仰麟, 彭建, 刘焱序. 基于居民健康的城市高温热浪灾害脆弱性评价——研究进展与框架[J]. 地理科学进展, 2015, 34(2): 165-174.
- [3] 贺山峰, 戴尔阜, 葛全胜, 吴绍洪, 李明启. 中国高温致灾危险性时空格局预估[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(2): 91-97.
- [4] 张楠, 王建鹏. 西安高温热浪特征及对人体健康影响浅析[C]//中国气象学会. 第 28 届中国气象学会年会——S14 气候环境变化与人体健康. 2011: 345-352.
- [5] 陈敏, 耿福海, 马雷鸣, 周伟东, 施红, 马井会. 近 138 年上海地区高温热浪事件分析[J]. 高原气象, 2013, 32(2): 2597-2607.
- [6] Chow, W.T.L., Chuang, W. and Gober, P. (2012) Vulnerability to Extreme Heat in Metropolitan Phoenix: Spatial, Temporal, and Demographic Dimensions. *The Professional Geographer*, **64**, 286-302.
<https://doi.org/10.1080/00330124.2011.600225>
- [7] 彭京备, 陈烈庭. 青藏高原移动性高压对夏季川东地区高温天气的影响[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(5): 665-678.
- [8] 肖递祥, 杨康权, 俞小鼎, 王佳津. 四川盆地极端暴雨过程基本特征分析[J]. 气象, 2017, 43(10): 1165-1175.
- [9] 黄晓军, 黄馨, 崔彩兰, 杨新军. 社会脆弱性概念、分析框架与评价方法[J]. 地理科学进展, 2014, 33(11): 1512-1525.
- [10] 王富喜, 毛爱华, 李赫龙, 贾明璐. 基于熵值法的山东省城镇化质量测度及空间差异分析[J]. 地理科学, 2013, 33(11): 1323-1329.
- [11] 包微, 黄晓军, 纪王迪. 关中地区高温脆弱性评估及其时空变化研究[J]. 干旱区地理, 2024, 47(11): 1863-1875.
- [12] 郭禹慧, 黄晓军, 郑殿元, 等. 极端高温胁迫下中国城市脆弱性格局与影响因素[J]. 热带地理, 2021, 41(3): 596-608.
- [13] 陈恺, 唐燕. 城市高温热浪脆弱性空间识别与规划策略应对——以北京中心城区为例[J]. 城市规划, 2019, 43(12): 37-44, 77.