

# 乡村人居环境综合韧性指数构建及实证研究\* ——以江苏省为例

## Construction and Empirical Study of Comprehensive Resilience Index of Rural Human Settlements: A Case Study of Jiangsu Province

郭佳 翟国方 葛懿夫 GUO Jia, ZHAI Guofang, GE Yifu

**摘要** 基于韧性概念内涵与人居环境科学理论,确定了乡村人居环境系统韧性和灾害危险性的测度方法,提出综合韧性指数用以测度乡村人居环境韧性,并以江苏省为例开展研究。基于现有江苏省范围内自然灾害危险性的分析,选取地震、地质、洪水和台风作为主要灾害威胁,结合乡村人居环境韧性指标体系,测度2016年与2020年江苏省乡村人居环境综合韧性指数并开展空间相关性和泰尔指数(Theil index)分析。研究发现:(1)综合韧性指数整体呈上升趋势,5大系统中除了人类系统均有所提升;(2)江苏省人居环境综合韧性指数在空间上呈现出明显的集聚特征;(3)江苏省内综合韧性指数水平的区域差异明显,且苏南地区内部差异性显著大于苏中和苏北地区。从韧性与灾害危险性的综合视角,为乡村人居环境韧性研究提供新的研究思路 and 方向。

**Abstract** Based on the concept of resilience and the scientific theory of human settlements, this study proposes the measurement method of hazard and the resilience index of human settlements system. We put forward a comprehensive resilience index to measure the resilience of rural human settlements, and carry out an empirical study with Jiangsu Province as an example. Based on the analysis of existing natural disaster hazards in Jiangsu Province, four hazards are selected as the main disaster threats, namely, earthquake, geological disaster, flood and typhoon. We construct an index system to measure the comprehensive resilience index of rural human settlements in Jiangsu Province in 2016 and 2020. Furthermore, the Moran's Index and Theil index analysis are carried out to systematically discuss the evolution characteristics of the spatial pattern of rural human settlements resilience in Jiangsu Province. The results show that: (1) The comprehensive resilience index presents an overall upward trend, with all sub-systems increasing except for the human system; (2) The comprehensive index of human settlements resilience in Jiangsu Province presents a significant spatial clustering characteristic; (3) The regional difference in the level of the comprehensive index within the province is significant, and the variability within southern Jiangsu area is significantly larger than that in the central and northern Jiangsu areas. From the comprehensive perspective of resilience and hazards, this paper provides a new research idea and direction for the study of resilience in rural human settlements.

**关键词** 乡村人居环境;综合韧性指数;灾害危险性;空间自相关性分析

**Key words** rural human settlements; comprehensive resilience index; hazard; spatial autocorrelation analysis

文章编号 1673-8985 (2023) 02-0015-08 中图分类号 TU984 文献标志码 A

DOI 10.11982/j.supr.20230203

### 作者简介

郭佳

南京大学建筑与城市规划学院

硕士研究生

翟国方(通信作者)

南京大学建筑与城市规划学院教授

博士生导师, guofang\_zhai@nju.edu.cn

葛懿夫

南京大学建筑与城市规划学院 博士研究生

### 0 引言

人居环境科学起源于希腊学者道萨迪亚斯(Doxiadis),其诞生的初衷是建设可持续发展且宜居的居住环境<sup>[1]</sup>。在我国特殊的政策背景下,城乡二元结构的形成导致人居环境在城市与乡村呈现截然不同的形态与特征。乡村人居环境意指人类在乡村中进行居住、

耕作、交通文化、教育、卫生、娱乐等活动,并在利用和改造自然的过程中创造的环境<sup>[2]</sup>,是包含乡村区域内农户生产生活所需物质和非物质的有机复杂系统<sup>[3]</sup>。随着城镇化进程的不断推进,极端天气与自然灾害频发,乡村人居环境面临一系列危机,涵盖土地与人口的快速非农化、生态环境严重污损化、社会主体过

\*基金项目:日本学术振兴会项目“中国における災害時パニックならびに災害時クレーズの発生要因についての研究(中国灾害情境下恐慌行为及其危害机制相关研究)”(编号18K03022)资助。

快老弱化、传统文化空虚化等多方面<sup>[4-6]</sup>。在自然生态和人类活动的双重扰动下,乡村人居环境系统亟待重构<sup>[7]</sup>。目前已有的研究多关注乡村人居环境的概念、内涵、质量<sup>[8]</sup>、空间格局<sup>[9]</sup>与提升路径<sup>[10]</sup>等。随着研究领域的拓宽和理论方法的完善,韧性开始成为乡村兼顾经济性与可持续性发展的研究视角和分析工具<sup>[11-12]</sup>。当前,国内外学者聚焦于韧性与脆弱性的相关关系,通过田野调查或社区参与的方式定性分析人居环境系统脆弱性与韧性的演化路径<sup>[13-14]</sup>;或者通过构建韧性测度模型,从社会、环境、基础设施等多个维度选定指标定量分析乡村在抗灾方面的韧性表现<sup>[15-16]</sup>;还有学者利用实地调查、遥感数据或是统计数据,通过定性与定量相结合的方式探索乡村社区社会—生态系统及其韧性的影响因素<sup>[17-18]</sup>。现有研究在基于“指标—评价”模型定量评估乡村社区系统及其韧性方面形成丰富的成果,但聚焦于我国乡村地域特性、针对特定风险扰动下的乡村人居环境韧性的研究较少,且测度模型以针对特定地区构建的评价框架为主,缺乏一定的代表性。

由此,本文基于乡村人居环境系统韧性(resilience)和灾害危险性(hazard)指标体系,构建乡村人居环境的综合韧性指数,以江苏省为例测度乡村人居环境韧性,探讨其时空格局并进一步提出乡村人居环境韧性提升策略。江苏省位于我国东部长三角经济带内,是我国经济最为发达的省份之一。在拥有优厚的自然条件的同时,也面临多灾种的自然灾害风险<sup>[19]</sup>;总体社会经济发展水平在全国较为领先,但省域内也一直存在显著的区域差异,其社会经济发展现状在国内具有一定的代表性。因此,开展江苏省的乡村人居环境韧性研究有利于为其他地区未来的人居环境建设提供参考。

## 1 人居环境韧性指数的概念及相关理论基础

### 1.1 韧性与人居环境韧性

联合国国际减灾署将韧性定义为暴露在

灾害中的系统、社区或社会及时有效地抵御、吸收、适应和从灾害影响中恢复的能力<sup>[20]</sup>,在社会与生态领域中常被用来探究系统通过自组织适应学习、适应及改变系统自身在风险灾害的影响下抵抗、维持或者更新的能力<sup>[21]</sup>。作为典型的社会—生态系统,人居环境系统涉及居民生产、生活、生态的各个方面<sup>[22]</sup>。与城市相比,乡村人居环境在建设过程中以自建模式为主<sup>[23]</sup>,具有自发性的集聚特征和自组织特性。综上,本文认为乡村人居环境韧性特指暴露在自然环境和人类活动的交互扰动中时,乡村人居环境系统依据自身结构与功能,在适应扰动、维持自身稳定或转型更新的过程中所体现出来的能力。

基于吴良镛<sup>[24]</sup>提出的人居环境科学理论,乡村人居环境系统是自然、人类、居住、支撑和社会5个子系统共同组成的复杂系统。自然系统包括乡村地域的自然环境、生态环境以及人类所聚居的人工环境,是人居环境的基础,对其他系统的稳定性有重要影响。人类是人居环境的主要聚居者,人类系统是灾害侵袭中主要的承灾体,也是人居环境系统的重要内核。居住系统主要包括住宅、村集体设施等物质环境,是人居环境发展情况的重要外在表现,人类系统韧性和居住系统韧性直接影响到系统抵抗灾难的能力。支撑系统主要指乡村住区的基础设施系统,包括水、电、道路和通讯设施等,是人居环境各系统之间的重要纽带,支撑系统韧性显示了系统维持自身功能的能力。社会系统主要指公共管理和法律、社会关系、人口趋势、文化特征等,是人居环境可持续发展的顶层保障,社会系统韧性反映了系统自身的内在更新能力。从人居环境各个组成系统出发,通过调整内部要素、结构等方式,应对内外环境的扰动,对于建设具有鲁棒性、自组织性和创新性的韧性乡村具有重要作用(见图1)。

### 1.2 乡村人居环境韧性的测度

国内外学者将灾害风险以指标的形式纳入韧性测度体系,用以分析针对特定灾害

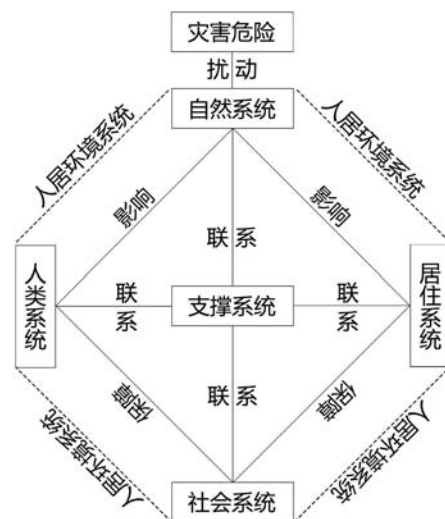


图1 乡村人居环境系统各子系统间的内在关系  
Fig.1 The inner relation among the subsystems of rural human settlements system

资料来源:笔者自绘。

风险的韧性特征。Simpson<sup>[25]</sup>将社区准备度(preparedness)与脆弱性(vulnerability)的比值作为韧性指数,通过最大限度地发挥准备潜力和最大限度地减少脆弱性来提高社区韧性;Anelli等<sup>[26]</sup>利用风险三角模型,从危险(hazard)、暴露度(exposure)和脆弱性(vulnerability)3个维度来评估罗马地区在自然灾害影响下的韧性水平;郭小东等<sup>[27]</sup>结合灾害风险,将社区灾后的可恢复性与灾害的易损性比值作为社区韧性的评价标准。为了提出应对自然灾害风险的乡村人居环境韧性的提升策略,体现出在灾害风险中系统韧性能力的特征,本文采用人居环境系统韧性值和灾害危险性的比值来定义综合韧性指数(Comprehensive Resilience Index),并以此表征综合考虑灾害风险的乡村人居环境韧性(见公式1)。若两个研究单元对同一强度的灾害风险具有相同的抵御、吸收、适应和恢复能力,那么处于更低风险的研究单元将具备更高的综合韧性指数。

$$\text{综合韧性指数 (Comprehensive Resilience Index)} = \frac{\text{韧性值 (Resilience)}}{\text{灾害危险性 (Hazard)}}$$

(1)

3个变量之间的关系如图2所示,横轴代表危险性,纵轴代表韧性,  $CRI$ 代表研究单元*i*的人居环境综合韧性指数。当危险性( $H_2$ )相

同时,韧性越大 ( $R_3 > R_1$ ),韧性指数也就越大 ( $CRI_1 > CRI_2$ );当韧性 ( $R_2$ ) 相同时,危险性越大 ( $H_3 > H_1$ ),韧性指数越小 ( $CRI_2 < CRI_1$ )。

人居环境韧性测度通常根据系统构成要素、资源与能力、外部影响因素等方面来构建指标体系<sup>[26]</sup>,本文将人居环境5大系统作为测量维度,设置5个准则层,22个指标层,以此表征乡村人居环境系统韧性值。灾害风险的评估中,本文综合考虑研究区的灾种类型、自然环境,筛选出高程、风力值、空气湿度、坡度、降雨量、河网密度、土壤侵蚀度、土壤质地、植被覆盖度和历年发生频率等因素作为灾害危险性的评价指标。

## 2 研究区概况与数据来源

### 2.1 研究区概况

江苏省位于长江三角洲地区,处于长江和淮河的下游,是我国地势最低的省份。气候属于东亚季风气候区,四季分明,雨量集中,河网密布,洪涝、台风等气象灾害多发<sup>[29]</sup>;省域内人口分布密集,资源有限,地质环境脆弱,滑坡、崩塌、地面塌陷等地质灾害频发、危害严重<sup>[30]</sup>;此外,江苏省是我国东部地区中等强度地震活动水平较高的省份之一,有史以来小震活动不断,且呈现时空不均匀性<sup>[31]</sup>。据统计,2021年江苏省内生活在农村地区的人口超过1/4,是重要的人口资源。江苏省地区经济发达、人口密集,自然灾害的侵袭所造成的损失将不可估量,因此建设具有韧性的乡村人居环境至关重要。以《中国县域统计年鉴(乡镇卷)》中收录的乡镇为县市统计范围,包括南京市六合区等62个县市区。为了分析乡村人居环境韧性指数的区域和内部差异,将研究范围进一步分为苏南、苏中和苏北(见图3)。

### 2.2 数据来源与处理

#### 2.2.1 数据来源与说明

本文以江苏省地区62个市县为基本研究单元,选取2016年和2020年作为“十三五”期间江苏省乡村人居环境韧性水平变化及空

间格局演变的研究截面。综合韧性指数涉及的社会经济数据、栅格数据等指标的说明、来源和精度如表1。

#### 2.2.2 数据预处理

相关数据预处理主要包括栅格数据和社会经济数据。为了消除不同量纲的数据指标对危险性和韧性指标的影响,对原始数据采用标准化处理。通过中国资源环境数据云平台获取风力值、空气湿度值、降雨量等基础数据,并对其进行研究范围提取;对于坡度、高度与河网密度等数据,利用ArcGIS 10.8对DEM数据进行坡度、高度以及水文等分析工具进行处理从

而得到相应的地理数据;灾害历年发生频率通过根据获取的地质灾害的位置在ArcGIS 10.8中的克里金插值法进行空间插值得到。最终将不同量纲的栅格数据在ArcGIS 10.8中进行坐标统一与归一化处理,并将所有指标图层重采样至3 km×3 km空间分辨率,以便后续数据的叠加处理分析。

## 3 乡村人居环境韧性指标体系构建方法

### 3.1 灾害危险性指标体系

基于《中国自然灾害区划研究》危险性区划结果,选取地震、地质、洪水和台风作

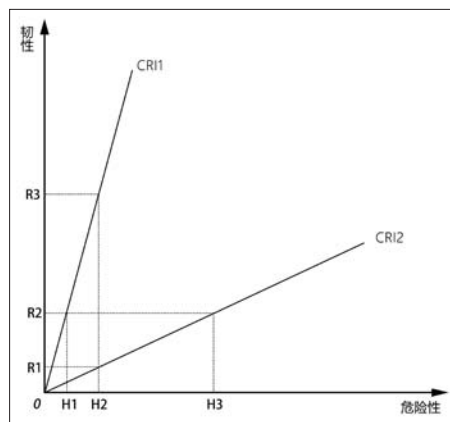


图2 综合韧性指数说明示意图  
Fig.2 Schematic illustration of comprehensive resilience index

资料来源:笔者自绘。

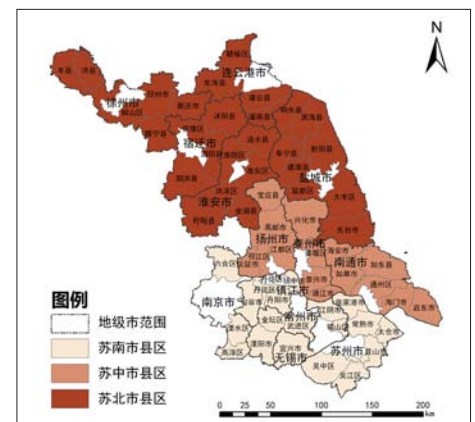


图3 研究区范围  
Fig.3 Study area scope

资料来源:笔者自绘。

表1 主要数据指标的原始数据说明、来源和精度

Tab.1 Original data description, source and accuracy of key data indicators

| 数据指标       | 原始数据说明   | 数据来源  | 精度   |
|------------|--|---|------|
| 高差         | DEM高程数据  | <a href="http://www.gscloud.cn">http://www.gscloud.cn</a>     | 30 m |
| 风力值        | 中国气象要素年度空间插值数据集  | <a href="http://www.resdc.cn/">http://www.resdc.cn/</a>       | 1 km |
| 空气湿度值      | 中国气象要素平均状况空间插值数据集  | <a href="http://www.resdc.cn/">http://www.resdc.cn/</a>       | 1 km |
| 坡度         | DEM高程数据  | <a href="http://www.gscloud.cn">http://www.gscloud.cn</a>     | 30 m |
| 降雨量        | 中国气象要素年度空间插值数据集  | <a href="http://www.resdc.cn/">http://www.resdc.cn/</a>       | 1 km |
| 河网密度       | DEM高程数据  | <a href="http://www.gscloud.cn">http://www.gscloud.cn</a>     | 30 m |
| 土壤侵蚀度      | 中国土壤侵蚀空间分布数据   | <a href="http://www.resdc.cn/">http://www.resdc.cn/</a>       | 1 km |
| 土壤质地       | 中国土壤质地空间分布数据   | <a href="http://www.resdc.cn/">http://www.resdc.cn/</a>       | 1 km |
| 植被覆盖度      | 中国年度植被指数(NDVI)空间分布数据集  | <a href="http://www.gscloud.cn">http://www.gscloud.cn</a>     | 1 km |
| 地质灾害历年发生频率 | 地质灾害点空间分布数据  | <a href="http://www.resdc.cn/">http://www.resdc.cn/</a>       | —    |
| 地震灾害历年发生频率 | 地震灾害点  | <a href="http://news.ceic.ac.cn/">http://news.ceic.ac.cn/</a> | —    |
| 土地利用数据     | 中国多时期土地利用遥感监测数据集   | <a href="http://www.resdc.cn/">http://www.resdc.cn/</a>       | 1 km |
| 社会经济数据     | 《江苏省农村统计年鉴》《中国县域统计年鉴》《江苏省统计年鉴》以及各县市统计年鉴、政府工作报告和国民经济与社会发展统计公报 |   |      |

资料来源:笔者自制。



为江苏省乡村地区主要灾害威胁,并按照灾害危险性赋予权重<sup>[32]</sup>(见表2)。洪涝灾害危险性以高差、坡度、空气湿度值、降雨量、河网密度等表征致灾因子和孕灾环境,并考虑到土壤条件和地貌条件会加重洪涝带来的灾害影响<sup>[33]</sup>,增加土壤侵蚀度和植被覆盖指标;地震危险性以高程、坡度、土壤质地指标表征<sup>[34]</sup>,增加地震发生频率指标来表征灾害再次发生的可能性;台风灾害危险性以风力值、空气湿度和降雨量来表征<sup>[35]</sup>;地质灾害危险性主要参考洪涝和地震灾害危险性中表征致灾因子和孕灾环境的指标<sup>[36]</sup>。通过层次分析法得到综合各灾种的灾害危险性指标权重(见表3),加和后即为某研究单元的危险性指数(见公式2)。

$$H = \sum f_i(H_i \times Z_i) \quad (2)$$

式中:H表示某研究单元的灾害危险性,i表示灾种类型,  $H_i$ 表示指标归一化后的数值,  $Z_i$ 表示某一灾害下指标所占的权重。

表2 江苏省地区不同灾害的危险性以及所赋予的权重  
Tab.2 The risk and the corresponding weight of different hazards in Jiangsu Province

| 指标   | 洪涝   | 地震   | 台风   | 地质   |
|------|------|------|------|------|
| 危险性  | 3    | 3    | 2    | 1    |
| 赋予权重 | 0.33 | 0.33 | 0.22 | 0.11 |

资料来源:笔者自制。

表3 灾害危险性指标体系  
Tab.3 Hazard index system of disaster-causing factors

| 指标     | 洪涝    | 地震    | 台风    | 地质    |
|--------|-------|-------|-------|-------|
| 高差     | 0.029 | 0.077 | —     | 0.016 |
| 风力值    | —     | —     | 0.061 | —     |
| 空气湿度值  | 0.043 | —     | 0.040 | —     |
| 坡度     | 0.029 | 0.051 | —     | 0.024 |
| 降雨量    | 0.065 | —     | 0.121 | 0.011 |
| 河网密度   | 0.129 | —     | —     | 0.005 |
| 土壤侵蚀度  | 0.019 | —     | —     | 0.007 |
| 土壤质地   | —     | 0.051 | —     | 0.007 |
| 植被覆盖度  | 0.019 | —     | —     | 0.007 |
| 历年发生频率 | —     | 0.154 | —     | 0.035 |

资料来源:笔者自制。

### 3.2 乡村人居环境韧性指标体系

结合乡村地区特殊的自然地理和社会经济条件,考虑到数据的可获取性,遵循指标选取的系统性、完整性、代表性、有效性和等量可比性原则,从乡村人居环境5大系统出发,构建乡村人居环境韧性测度指标体系(见表4)。较高的森林覆盖面积和生态保育面积有助于自然系统在受到灾害冲击后具备一定的自我调适能力,而化肥的施用量和耕地面积的增加则不利于这一过程<sup>[37]</sup>;由于乡村地区地广人稀的特殊性,住房面积、住房密度、建设面积和通讯条件的提高有助于提升乡村人居环境在灾害时抵御、预警与响应的能力,进而提升居住系统的韧性水平<sup>[38]</sup>;家庭规模、乡村人口密度与劳动力规模越大,人口老龄化程度越小,对灾害来临时采取的行动响应能

力越强,人类系统的韧性水平越高<sup>[39]</sup>;医疗卫生、基础教育、政府调控能力与电力设施水平越强,应对灾害前预警、灾害时抵御、灾害后恢复重建的能力越强,支撑系统韧性越强<sup>[40]</sup>;农业机械化水平、农业发展、产业结构反映了乡村产业发展的水平和均衡性,同时也反映了系统适应外界扰动的社会能力水平,即社会系统韧性水平<sup>[41]</sup>。

将各个指标进行归一化处理,采取层次分析法对乡村人居环境韧性的指标体系进行赋权。

## 4 研究结果

### 4.1 乡村人居环境韧性空间格局总体特征

笔者使用阈值法对原始数据进行标准化后,通过计算得到2016年与2020年危险性、

表4 乡村人居环境韧性指标体系  
Tab.4 Index system of human settlements resilience

| 目标层  | 准则层 | 指标层      | 计算方法/指标解释         | 指标性质 | 权重     |
|------|-----|----------|-------------------|------|--------|
| 自然系统 |     | 森林覆盖面积   | 森林面积/总面积          | +    | 0.0244 |
|      |     | 乡村化肥使用情况 | 每单位面积土地化肥施用量      | -    | 0.0108 |
|      |     | 生态保育面积   | 草地、林地、水域湿地面积/行政面积 | +    | 0.0244 |
|      |     | 耕地面积占比   | 耕地面积占比/行政面积       | -    | 0.0162 |
| 居住系统 |     | 住房面积     | 人均住房面积            | +    | 0.0709 |
|      |     | 住房密度     | 住房用地与乡村面积之比       | +    | 0.1595 |
|      |     | 通讯条件     | 固定电话用户/总人口        | -    | 0.0472 |
|      |     | 建设面积     | 建设面积/行政面积         | +    | 0.1063 |
|      |     | 乡村劳动力水平  | 乡村劳动力数量/乡村总人口     | +    | 0.0709 |
| 人类系统 |     | 家庭规模     | 乡村总人口/乡村总户数       | +    | 0.0315 |
|      |     | 人口老龄化情况  | 60岁以上人群占比         | -    | 0.0472 |
|      |     | 乡村人口密度   | 人口数/乡镇行政面积        | +    | 0.1063 |
| 支撑系统 |     | 医疗卫生     | 每万人医疗卫生机构床位数      | +    | 0.0655 |
|      |     | 道路建设     | 市县内道路长度/行政面积      | +    | 0.0437 |
|      |     | 基础教育     | 乡村每万人中小学生在校数      | +    | 0.0129 |
|      |     | 政府调控     | 乡镇政府人均财政支出        | +    | 0.0194 |
|      |     | 电力设施水平   | 乡村用电量/乡村总人口       | +    | 0.0291 |
|      |     | 农业机械化    | 设施农业种植占地面积/农用地面积  | +    | 0.0194 |
|      |     | 社会保障     | 乡村每万人社会福利院床位数     | +    | 0.0086 |
| 社会系统 |     | 社会不平等问题  | 乡村与市区之间的人均可支配收入差距 | -    | 0.0129 |
|      |     | 农业发展     | 第一产业增加值           | +    | 0.0291 |
|      |     | 产业结构     | 第二三产业产值/地区生产总值    | +    | 0.0437 |

资料来源:笔者自制。

人居环境韧性和综合韧性指数(见表5)。利用ArcGIS 10.8将测算结果进行空间可视化表达,采用自然断点法将各地区危险性划分为

“低—较低—中—较高—高”5个等级,各指标不同年份之间的分级相同(见图4)。

从时间上看,江苏省乡村人居环境综合韧

性指数的变化情况整体呈上升趋势,平均值由1.1633上升到1.4323,各市县的差距逐渐拉大。危险性从2016年至2020年呈下降趋势。这主要得益于植被覆盖度的提高。乡村人居环境韧性总体上升趋势明显,平均值由0.3853上升到0.4088。5年间,5大系统除了人类系统之外均有所上升,且上升比例高于危险性,因此综合韧性指数呈上升趋势。而乡村劳动力水平减少、家庭规模缩减、乡村人口老龄化及人口密度的减少都是导致人类系统分值下降的原因。

从空间上看,江苏省乡村人居环境综合韧性指数呈现南北高、中间低的空间格局。2016年,省内高韧性地区沿苏南张家港市至吴中区、苏北邳州市至淮阴区呈带状分布,扬州市、南通市和盐城市的整体韧性水平较低。2020年高低值集聚空间格局相似,苏北与苏中地区韧性水平有所提升,尤其是苏北地区,其主要原因是危险性的降低与人居环境韧性的显著提升。

结合灾害危险性计算后的综合韧性指数和人居环境韧性值相比,整体地区的韧性等级有显著差异。苏南地区的大部分县市具有较高的乡村人居环境韧性,即使面对高灾害危险性,在江苏省范围内仍具有较高的综合韧性指数,少数地区本身具有较高的人居环境韧性水平,但相比其他地区,其面临的危险性较高,使得综合韧性指数相较其他地区略低,变为韧性指数数值较低区域;苏中地区韧性受危险性的影响不大,本身韧性等级在综合危险性的考虑之后在江苏省范围内相对来说没有较大的改变;苏北地区的人居环境韧性水平中等,但由于其面临的危险性较低,导致综合韧性指数显著提高,大部分达到中等以上水平,说明该区域人居环境所具备的抗灾防灾能力与本身的危险性相匹配。

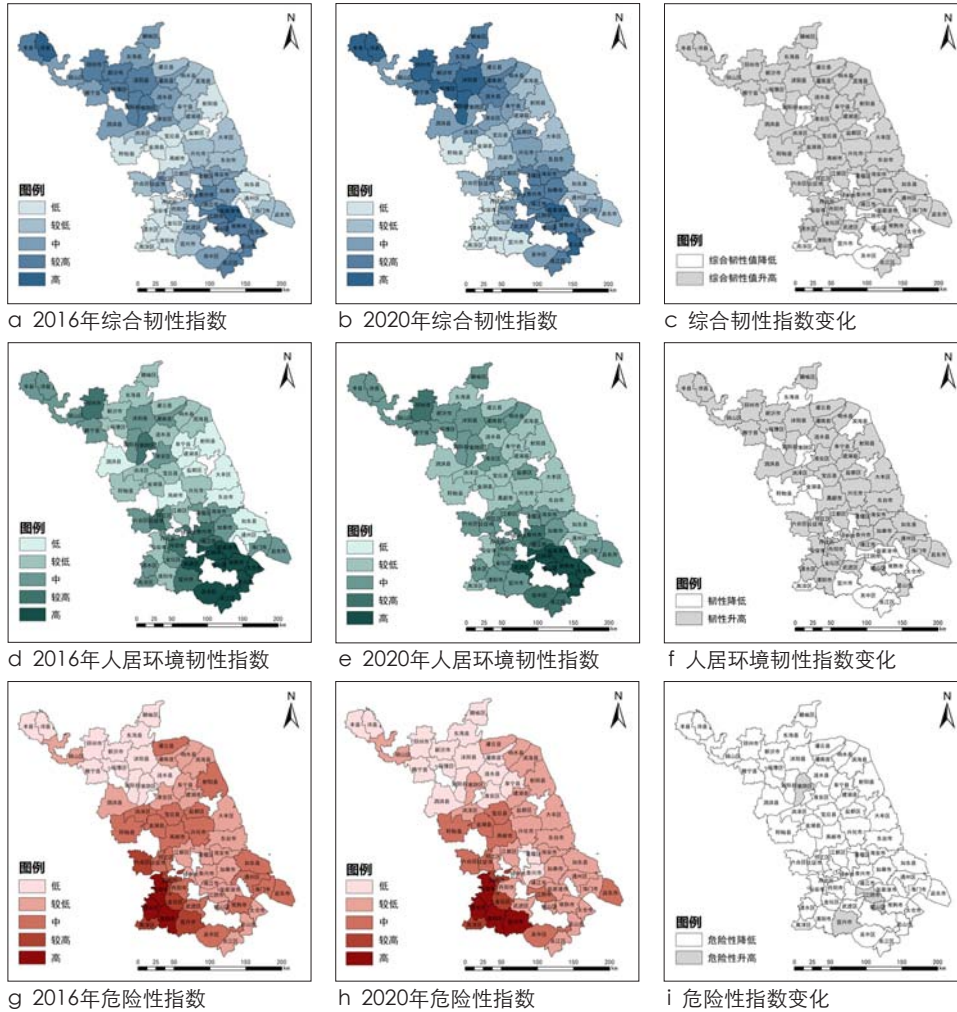


图4 江苏省乡村人居环境韧性时空格局变化

Fig.4 Changes in spatial and temporal patterns of rural human settlements resilience of Jiangsu Province

资料来源:笔者自绘。

表5 各指数不同年份结果

Tab.5 The results of each index in different years

| 指标名称 | 综合韧性指数 |        | 人居环境韧性 |        | 灾害危险性  |        |
|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|      | 2016年  | 2020年  | 2016年  | 2020年  | 2016年  | 2020年  |
| 最大值  | 2.0502 | 2.9048 | 0.7115 | 0.6613 | 0.7033 | 0.6537 |
| 最小值  | 0.4358 | 0.5413 | 0.2314 | 0.2783 | 0.1762 | 0.1414 |
| 平均值  | 1.1633 | 1.4323 | 0.3853 | 0.4088 | 0.3590 | 0.3179 |
| 标准差  | 0.4420 | 0.5763 | 0.1133 | 0.0958 | 0.1160 | 0.1176 |
| 苏南均值 | 1.2077 | 1.3287 | 0.4855 | 0.4893 | 0.4505 | 0.4173 |
| 苏中均值 | 1.0235 | 1.2963 | 0.3590 | 0.3982 | 0.3622 | 0.3167 |
| 苏北均值 | 1.1000 | 1.4540 | 0.3209 | 0.3480 | 0.3111 | 0.2629 |

资料来源:笔者自制。

## 4.2 乡村人居环境韧性空间效应分析

### 4.2.1 江苏省人居环境综合韧性指数的空间集聚性分析

江苏省内乡村的自然地理、社会经济与人文环境条件各不相同,不同村庄人居环境

状态呈现较大差异,对区域进行空间自相关性分析有助于厘清灾害视角下江苏省乡村地区人居环境韧性在整个区域的空间特征。Moran's I的取值范围为[-1, 1],当为正值时说明乡村人居环境综合韧性指数较高(或较低)的区域在空间上显著集聚,当为负值时说明区域之间乡村人居环境综合韧性指数在空间上差异显著,当值为0时代表不存在空间自相关性。

分别计算出2016年和2020年江苏省乡村人居环境综合韧性指数的Moran's I,结果表明,两年间Moran's I分别为0.6217和0.5666(见表6),显著为正,且均通过了显著性检验,表明江苏省人居环境综合韧性指数呈现出明显的空间集聚特征。

各县市乡村人居环境韧性的局部空间关联模式如图5所示。2016年低值集聚区域主要分布在苏中和苏南地区,呈带状由西南向东北方向延伸,贯穿于江苏省中部地区,该集聚区由于丰沛的降雨量与复杂的地形环境,比周围县市具有更高的灾害危险性;高值集聚区域

主要在苏北和苏南地区,该集聚区比周边地区拥有更低的灾害危险性或者是更高的人居环境韧性值,通常是经济发达地区或者是自然灾害少发的欠发达地区。2020年低值集聚范围缩小,仍集中于苏中和苏南地区,呈南北向分布;高值集聚区域在苏北范围扩张,在苏南范围减小,由于危险性变化不大,体现出苏北整体乡村人居环境水平建设在灾害风险方面有较大提升。

#### 4.2.2 江苏省人居环境综合韧性指数的区域差异性分析

采用泰尔指数衡量苏中、苏南和苏北的韧性差异水平,取值范围为[0, 1],数值越大,区域差异越明显<sup>[42]</sup>。从发展趋势来看,2016年至2020年泰尔指数由0.0295增大至0.0311(见表7),江苏省各县市之间的均衡性呈下降趋势。其中,苏北地区的泰尔指数上升24.57%,各地区间的差异在显著增大,苏中和苏南分别下降14.29%和5.35%,各地区间的差异在减小。从江苏省层面的分解结果来看,虽然组内贡献率从96.5%下降至94.24%,

但仍远大于组间贡献率的占比,因此区域内的不均衡性仍是导致江苏省乡村人居环境韧性差异的首要因素。分区域来看,苏南地区内的泰尔指数要显著大于苏北和苏中地区,内部韧性水平的差异最大,苏中地区的均衡性最强且有增强趋势,苏南和苏北地区同有高值区域集聚,但苏北地区的乡村人居环境韧性发展水平更为均衡。

## 5 结论与讨论

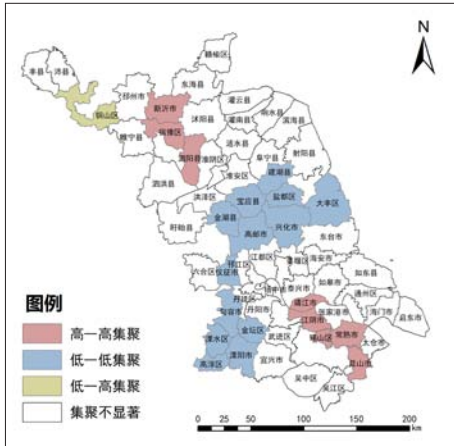
### 5.1 结论

本文基于灾害危险性,对2016与2020年江苏省乡村人居环境韧性状态及其发展情况进行探讨。结果表明,“十三五”期间,江苏省综合韧性指数整体提高,其中人类系统是制约乡村人居环境韧性发展的重要因素。在空间分布上,综合韧性指数呈现南北高、中间低的特点,区域上苏南的综合指数最高,苏北最低;在空间关联特征上,乡村人居环境韧性存在显著的空间正向集聚特征,低值集聚区域有所减少,高值集聚区域有所增加;在空间差异上,江苏省整体区域差异来自区域内部差异,区域间差距经过5年的发展有增大的趋势,其中苏南地区内的差异性显著大于苏北和苏中地区。

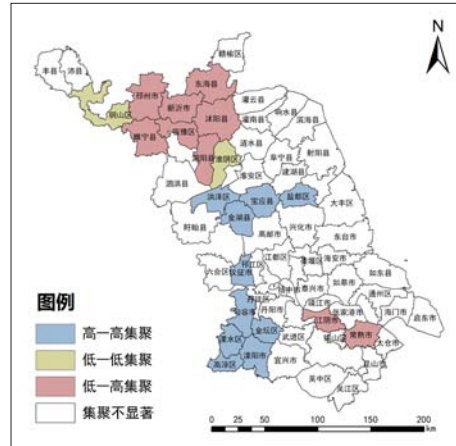
基于以上结论,笔者提出以下针对灾害危险的江苏省乡村人居环境提升策略:

第一,江苏省内部分地区人居环境抵抗灾害危险的能力有待加强。苏南高淳区、溧水区、溧阳市、金坛区,苏中宝应县、高邮市,苏北盱眙县、金湖县等地区具有较高的灾害危险性,而人居环境韧性水平相对同一区域的其他地区来说仍有提升的空间。

第二,通过提升乡村劳动力规模进一步促进乡村人居环境韧性建设。研究表明,



a 2016年高低集聚图



b 2020年高低集聚图

图5 江苏省乡村人居环境综合韧性高低聚类模式

Fig.5 High and low clustering pattern of human settlements resilience of Jiangsu Province

资料来源:笔者自绘。

表6 江苏省乡村人居环境综合韧性的Moran's I

Tab.6 Moran's Index of rural human settlements resilience of Jiangsu Province

| 年份    | Moran's I指数 | 预期指数    | 方差     | Z得分    | P值     |
|-------|-------------|---------|--------|--------|--------|
| 2016年 | 0.6217      | -0.0164 | 0.0884 | 7.2505 | 0.0010 |
| 2020年 | 0.5666      | -0.0164 | 0.0898 | 6.5376 | 0.0010 |

资料来源:笔者自制。

表7 2016年、2020年泰尔指数及其分解结果

Tab.7 Theil index and its decomposition results for 2016 and 2020

| 年份    | 泰尔指数   | 组内贡献率/% | 组间贡献率/% | 苏北     | 苏中     | 苏南     |
|-------|--------|---------|---------|--------|--------|--------|
| 2016年 | 0.0295 | 96.50   | 3.50    | 0.0232 | 0.0154 | 0.0449 |
| 2020年 | 0.0311 | 94.24   | 5.76    | 0.0289 | 0.0132 | 0.0425 |

资料来源:笔者自制。



由于劳动力规模缩减、老年人口占比增加、乡村家庭规模缩减等原因,江苏省乡村地区人类系统韧性值显著下降。通过调整产业结构,提升住房保障、教育、医疗等公共服务,提高乡村劳动需求量的同时吸引人才返乡,借此改善乡村人口情况,多举措促进乡村人居环境韧性建设。

第三,通过差异化调控最大程度地缩减省内乡村人居环境发展的差异。目前江苏省内乡村人居环境发展仍存在较大差异,通过加强区域内与区域间的协作,增强高韧性地区的辐射带动作用,有助于缩小区域差异。与苏南相比,苏中和苏北地区面临的自然灾害风险较小,且经济发展相对较弱,因此更需要通过提升乡村经济来保障乡村人居环境生活质量,进而带动乡村韧性建设。

## 5.2 讨论

本文基于人居环境科学理论对乡村人居环境韧性的概念和内涵进行探讨,提出灾害风险下不同系统之间的相互关系与相互作用,有利于提升对乡村人居环境韧性的整体认知。区别于以往的韧性测度研究,本文关注到不同灾种对人居环境的作用机制,并对乡村人居环境系统可能面临的灾害危险性进行评估,反映了综合考虑自然灾害风险的人居环境韧性水平,对促进乡村人居环境韧性建设及其可持续发展具有一定的借鉴作用。

同时,本文也存在一定的局限性。在灾种的风险评估方面没有考虑到灾害之间存在的触发情况和对居民的生命和财产安全的影响程度<sup>[43]</sup>。另外,由于县域尺度数据获取的局限性,本文仅选取部分具有代表性的重要指标。未来需要细化灾害风险的评估体系,深化人居环境韧性的时空格局演化路径和形成机理,为提升乡村韧性、建设高质量乡村人居环境提供更高层次的理论基础和实践探索。■

## 参考文献 References

- [1] DOXIADIS C. Ekistics, the science of human settlements: ekistics starts with the premise that human settlements are susceptible of systematic investigation[J]. *Science*, 1970, 170(3956): 393-404.
- [2] 胡伟,冯长春,陈春. 农村人居环境优化系统研究[J]. *城市发展研究*, 2006 (6) :11-17.  
HU Wei, FENG Changchun, CHEN Chun. The study on system optimization of rural human settlements[J]. *Urban Development Studies*, 2006(6): 11-17.
- [3] 李伯华,曾菊新. 基于农户空间行为变迁的乡村人居环境研究[J]. *地理与地理信息科学*, 2009, 25 (5) :84-88.  
LI Bohua, ZENG Juxin. Research on rural human settlement environment based on the changes of the householders' spatial behaviors[J]. *Geography and Geo-information Science*, 2009, 25(5): 84-88.
- [4] 郑小玉,刘彦随. 新时期中国“乡村病”的科学内涵、形成机制及调控策略[J]. *人文地理*, 2018, 33 (2) :100-106.  
ZHENG Xiaoyu, LIU Yansui. Connotation, formation mechanism and regulation strategies of rural disease in the new epoch in China[J]. *Human Geography*, 2018, 33(2): 100-106.
- [5] 刘彦随. 中国新时代城乡融合与乡村振兴[J]. *地理学报*, 2018, 73 (4) :637-650.  
LIU Yansui. Research on the urban-rural integration and rural revitalization in the new era in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(4): 637-650.
- [6] 李伯华,曾菊新,胡娟. 乡村人居环境研究进展与展望[J]. *地理与地理信息科学*, 2008 (5) :70-74.  
LI Bohua, ZENG Juxin, HU Juan. Progress and prospects on the research of rural human settlement environment[J]. *Geography and Geo-information Science*, 2008(5): 70-74.
- [7] 杨晴青,杨新军,高岩辉. 1980年以来黄土高原半干旱区乡村人居环境系统脆弱性时序演变——以陕西省佳县为例[J]. *地理科学进展*, 2019, 38 (5) :756-771.  
YANG Qingqing, YANG Xinjun, GAO Yanhui. Change in vulnerability of rural human settlement in the semi-arid area of the Loess Plateau since 1980—a case study of Jiashan County, Shanxi Province[J]. *Progress in Geography*, 2019, 38(5): 756-771.
- [8] 朱彬,张小林,尹旭. 江苏省乡村人居环境质量评价及空间格局分析[J]. *经济地理*, 2015, 35 (3) :138-144.  
ZHU Bin, ZHANG Xiaolin, YIN Xu. Evaluation of rural human settlements quality and its spatial pattern in Jiangsu Province[J]. *Economic Geography*, 2015, 35(3): 138-144.
- [9] 罗洁琼. 2000年以来江苏省人居环境演变研究[D]. 南京:南京大学, 2018.  
LUO Jieqiong. Evolution of human settlements in Jiangsu Province since 2000[D]. Nanjing: Nanjing University, 2018.
- [10] 冯越峰,赵少俐. 山东省乡村人居环境可持续发展水平评价及提升策略研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2021, 42 (8) :155-162.  
FENG Yuefeng, ZHAO Shaoli. Study on the evaluation and promotion strategy of sustainable development level of rural human settlements in Shandong Province[J]. *Journal of China Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(8): 155-162.
- [11] DESOUZA K C, FLANERY T H. Designing, planning, and managing resilient cities: a conceptual framework[J]. *Cities*, 2013, 35: 89-99.
- [12] 赵瑞东,方创琳,刘海猛. 城市韧性研究进展与展望[J]. *地理科学进展*, 2020, 39 (10) :1717-1731.  
ZHAO Ruidong, FANG Chuanglin, LIU Haimeng. Progress and prospect of urban resilience research[J]. *Progress in Geography*, 2020, 39(10): 1717-1731.
- [13] MARU Y T, SMITH M S, SPARROW A, et al. A linked vulnerability and resilience framework for adaptation pathways in remote disadvantaged communities[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 28: 337-350.
- [14] 杨晴青,高岩辉,杨新军. 基于扎根理论的乡村人居环境系统脆弱性—恢复力整合研究——演化特征、路径与理论模型[J]. *地理研究*, 2023, 42 (1) :209-227.  
YANG Qingqing, GAO Yanhui, YANG Xinjun. Study on the integration of vulnerability and resilience of rural human settlements system based on Grounded theory: evolutionary characteristics, paths and theoretical model[J]. *Geographical Research*, 2023, 42(1): 209-227.
- [15] CUTTER S L, ASH K D, EMRICH C T. Urban-rural differences in disaster resilience[J]. *Annals of the American Association of Geographers*, 2016, 106(6): 1236-1252.
- [16] CUTTER S L, ASH K D, EMRICH C T. The geographies of community disaster resilience[J]. *Global Environmental Change*, 2014, 29: 65-77.
- [17] KELLY C, FERRARA A, WILSON G A, et al. Community resilience and land degradation in forest and shrubland socio-ecological systems: evidence from Gorgoglione, Basilicata, Italy[J]. *Land Use Policy*, 2015, 46: 11-20.
- [18] 杨新军,石育中,王子侨. 道路建设对秦岭山区社会—生态系统的影响——一个社区恢复力的视角[J]. *地理学报*, 2015, 70 (8) :1313-1326.  
YANG Xinjun, SHI Yuzhong, WANG Ziqiao. Exploring the impacts of road construction on a local social-ecological system in Qinling mountainous area: a resilience perspective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(8): 1313-1326.
- [19] 程晓昀. 江苏省自然灾害社会易损性的时空格局研究[D]. 重庆:重庆师范大学, 2011.  
CHENG Xiaoyun. Research on spatial-temporal pattern of the social vulnerability to natural disaster in Jiangsu Province[D]. Chongqing: Chongqing Normal University, 2011.

- [20] KUSUMASTUTI R D, HUSODO V Z A, SUARDI L, et al. Developing a resilience index towards natural disasters in Indonesia[J]. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 2014, 10: 327-340.
- [21] 王成, 任梅菁, 胡秋云, 等. 乡村生产空间系统韧性的科学认知及其研究域[J]. *地理科学进展*, 2021, 40 (1): 85-94.  
WANG Cheng, REN Meijing, HU Qiuyun, et al. Rural production space system resilience and its research domains[J]. *Progress in Geography*, 2021, 40(1): 85-94.
- [22] 代蕊莲. 乡村人居环境系统韧性的演变规律及驱动机制研究[D]. 重庆: 西南大学, 2022.  
DAI Ruilian. Study on the evolution of the resilience of rural habitat system and its driving mechanisms[D]. Chongqing: Southwest University, 2022.
- [23] 卢健松, 刘雅平, 魏春雨. 当代公共艺术与乡村人居环境的自组织发展[J]. *中外建筑*, 2012 (10): 42-45.  
LU Jiansong, LIU Yaping, WEI Chunyu. Self-organized development of contemporary public art and rural human settlement environment[J]. *Chinese and Overseas Architecture*, 2012(10): 42-45.
- [24] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2001.  
WU Liangyong. Introduction to sciences of human settlements[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2001.
- [25] SIMPSON D M. Indicator issues and proposed framework for a Disaster Preparedness Index (DPI)[R]. 2006.
- [26] ANELLI D, TAJANI F, RANIERI R. Urban resilience against natural disasters: mapping the risk with an innovative indicators-based assessment approach[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 371: 133496.
- [27] 郭小东, 安群飞, 王威. 基于韧性理论的老旧社区灾害风险评估及优化策略[C]//规划60年: 成就与挑战——2016中国城市规划年会论文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 2016.  
GUO Xiaodong, AN Qunfei, WANG Wei. Disaster risk assessment and optimization strategy of old communities based on resilience theory[C]//60 Years of planning: success and challenge 2016 China Annual National Planning Conference proceedings. Beijing: China Architecture & Building Press, 2016.
- [28] 唐彦东, 张青霞, 于沙. 国外社区韧性评估维度和方法综述[J]. *灾害学*, 2023 (1): 141-147.  
TANG Yandong, ZHANG Qingxia, YU Xi. Review of foreign community resilience assessment dimensions and methods[J]. *Journal of Catastrophology*, 2023(1): 141-147.
- [29] 朱明月. 江苏省主要气象灾害特征及风险评估研究[D]. 南京: 南京大学, 2013.  
ZHU Mingyue. Study on main meteorological disasters and risk assessment in Jiangsu Province[D]. Nanjing: Nanjing University, 2013.
- [30] 张丽, 黄敬军, 武健强, 等. 江苏省地质灾害区划评价[J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2015, 26 (2): 81-86.  
ZHANG Li, HUANG Jingjun, WU Jianqiang, et al. Zonation of geological hazards in Jiangsu Province[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2015, 26(2): 81-86.
- [31] 崔爱华. 江苏省地震灾害应急管理问题研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.  
CUI Aihua. Management research on seismic disaster emergency in Jiangsu Province[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2008.
- [32] 刘丽代, 宏霞. 中国自然灾害保险风险度综合评判与区划[J]. *山地学报*, 2004 (4): 477-482.  
LIU Lidai, HONG Xia. The comprehensive assessment and regionalization of natural disaster insurance risk in China[J]. *Mountain Research*, 2004(4): 477-482.
- [33] 杜鹃, 何飞, 史培军. 湘江流域洪水灾害综合风险评估[J]. *自然灾害学报*, 2006 (6): 38-44.  
DU Juan, HE Fei, SHI Peijun. Integrated flood risk assessment of Xiangjiang River Basin in China[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2006(6): 38-44.
- [34] 戴军, 陈文君, 申淑娟. 基于综合灾害风险评估的高原山区乡村聚落空间优化——以青海省海东市乐都区为例[J]. *灾害学*, 2021, 36 (4): 119-125.  
DAI Jun, CHEN Wenjun, SHEN Shujuan. Spatial optimization of rural settlements in Plateau Mountain Area based on comprehensive disaster risk assessment: a case study in Ledu District, Haidong City in Qinghai Province[J]. *Journal of Catastrophology*, 2021, 36(4): 119-125.
- [35] 牛海燕, 刘敏, 陆敏, 等. 中国沿海地区台风致灾因子危险性评估[J]. *华东师范大学学报(自然科学版)*, 2011 (6): 20-25.  
NIU Haiyan, LIU Min, LU Min, et al. Risk assessment of typhoon hazard factors in China coastal areas[J]. *Journal of East China Normal University (Natural Science)*, 2011(6): 20-25.
- [36] 王嘉君, 何亚伯, 杨琳, 等. 基于GIS的山区村镇多灾种耦合风险评估[J]. *中国地质灾害与防治学报*, 2018, 29 (1): 102-112.  
WANG Jiajun, HE Yabo, YANG Lin, et al. Comprehensive multi-hazard risk assessment of villages and towns in mountain areas based on GIS[J]. *The Chinese Journal of Geological Hazard and Control*, 2018, 29(1): 102-112.
- [37] 王成, 代蕊莲, 陈静, 等. 乡村人居环境系统韧性的演变规律及其提升路径——以国家城乡融合发展试验区重庆西部片区为例[J]. *自然资源学报*, 2022, 37 (3): 645-661.  
WANG Cheng, DAI Ruilian, CHEN Jing, et al. Research on the evolution law and promotion pathway of rural human settlements system resilience: a case study of western Chongqing, a national pilot area for urban-rural integration[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(3): 645-661.
- [38] 邹秀平. 基于韧性理论的乡村人居环境空间结构认知研究——以崇州市为例[D]. 成都: 西南交通大学, 2020.  
ZOU Xiuping. A cognitive study on the spatial structure of rural human settlements based on the resilience theory: a case study of Chongzhou City[D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2020.
- [39] 杨涛, 陈海, 刘迪, 等. 黄土丘陵沟壑区乡村社区恢复力时空演变及影响因素研究——以陕西省米脂县高渠乡为例[J]. *地理科学进展*, 2021, 40 (2): 245-256.  
YANG Tao, CHEN Hai, LIU Di, et al. Spatiotemporal change of rural community resilience in loess hilly-gully region and influencing factors: a case study of Gaoqu Township in Mizhi County, Shanxi Province[J]. *Progress in Geography*, 2021, 40(2): 245-256.
- [40] 彭鹏, 顾丹丹, 周国华. 湖南省乡村人居环境脆弱性格局变化及响应指数的影响机制[J]. *经济地理*, 2022, 42 (6): 168-178.  
PENG Peng, GU Dandan, ZHOU Guohua. Spatiotemporal pattern of rural human settlement vulnerability and influencing mechanism of response index in Hunan Province[J]. *Economic Geography*, 2022, 42(6): 168-178.
- [41] 杨忍, 潘瑜鑫. 中国县域乡村脆弱性空间特征与形成机制及对策[J]. *地理学报*, 2021, 76 (6): 1438-1454.  
YANG Ren, PAN Yuxin. Spatial patterns, formation mechanism and coping strategies of rural vulnerability in China at the county level[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2021, 76(6): 1438-1454.
- [42] 马军旗, 乐章. 乡村人居环境质量评价及其影响因素——基于2016年中国劳动力动态调查村居数据[J]. *湖南农业大学学报(社会科学版)*, 2020, 21 (4): 45-52.  
MA Junqi, YUE Zhang. Quality evaluation of rural human settlements and its influencing factors: based on the rural settlement data in CLDS(2016)[J]. *Journal of Hunan Agricultural University (Social Science)*, 2020, 21(4): 45-52.
- [43] KAPPES M S, KEILER M, VON ELVERFELDT K, et al. Challenges of analyzing multi-hazard risk: a review[J]. *Natural Hazards*, 2012, 64(2): 1925-1958.