

引用格式:王成,吴昕玥.重庆市乡村生产空间系统韧性扰动因素的空间效应及作用关系[J].资源科学,2022,44(8):1604-1614. [Wang C, Wu X Y. Spatial effect and relationship of disturbances to the resilience of rural production spatial system in Chongqing Municipality[J]. Resources Science, 2022, 44(8): 1604-1614.] DOI: 10.18402/resci.2022.08.06

重庆市乡村生产空间系统韧性扰动因素的空间效应及作用关系

王成^{1,2}, 吴昕玥^{1,2}

(1. 西南大学地理科学学院乡村人居环境研究实验室, 重庆 400715;

2. 西部乡村可持续发展新文科实验室, 重庆 400715)

摘要:乡村生产空间系统作为一个开放巨系统,其韧性水平既受到相邻空间要素之间相互干扰的影响,又受到空间内部各要素相互作用的影响,从空间之间以及空间内部剖析扰动因素作用关系对于韧性水平提升具有重要意义。本文在测度2020年重庆市37个区县乡村生产空间系统韧性水平并明晰其空间格局的基础上,运用空间杜宾模型和地理探测器交互探测方法分别对扰动因素的空间效应和相互作用关系进行分析,进而解构其作用机制。结果表明:①2020年重庆市各区县乡村生产空间系统韧性水平呈现“中心高,四周低”的空间格局,相邻区县韧性水平具有较高一致性且冷热点分布不均。②区域经济发展水平、二三产业发展水平及基础设施建设对乡村生产空间系统韧性具有显著正向影响,劳动力聚集度、地方财政支出具有显著负向影响。③运用扰动因素的空间效应及其相互间作用关系相结合的方法能更客观地解析扰动对乡村生产空间系统韧性水平的影响。本文阐释了乡村生产空间系统韧性扰动因素作用机制,以期为重庆市全面推进乡村振兴提供科学支撑。

关键词:乡村生产空间系统;韧性;空间杜宾模型;空间效应;地理探测器;重庆市

DOI: 10.18402/resci.2022.08.06

1 引言

乡村生产空间系统属于乡村地域系统重要组成部分^[1],是乡村多元主体开展各类生产活动的有机载体,具有韧性这一基本属性。伴随政策、资金、技术等多种要素注入乡村,乡村生产空间系统内部要素组成发生改变,原有的乡村多元主体行为方式及系统结构功能相应发生变化,乡村生产空间系统正面临着各种复杂、难以预测的自然或人为因素扰动。扰动作为乡村生产空间系统演化的驱动因素^[2],对乡村生产空间系统韧性具有正向或负向影响。扰动因素作用强度不同,乡村生产空间系统韧性水平亦不同,当扰动过于强烈超过系统承受范围时,系统原有结构断裂、功能破坏,系统逐渐衰落甚至消亡;当扰动在系统承受范围内时,系统内部要素

不断交流重组,结构优化功能更新,各类扰动因素累积结果在空间上差异化分布,促使系统朝新的平衡状态演化,实现可持续发展。乡村生产空间系统韧性是乡村韧性的组成部分,当前国内外学者关于乡村生产空间系统韧性研究较少。关于乡村韧性的研究主要集中于理论内涵解构^[3,4]、韧性水平测度及时空格局分析^[5-7]、韧性提升路径^[8-11]、农户生计多样性^[12]、土地利用^[13-15]、应用农业^[16]、气候变化^[17]等多视角多方面并取得丰富研究成果,而缺少扰动因素对韧性影响空间效应的深入研究。乡村生产空间系统作为一个开放巨系统,受到的扰动既有来自相邻空间要素之间的相互干扰,也有空间内部要素相互作用的影响,因而从空间之间以及空间内部去剖析扰动因素如何影响乡村生产空间系统韧性水平,更

收稿日期:2022-05-16;修订日期:2022-07-16

基金项目:国家重点研发计划项目(2018YFD1100804);重庆市社会科学规划项目(2022NDYB51)。

作者简介:王成,男,重庆荣昌人,博士,教授,主要从事土地利用与乡村发展、乡村人居环境研究。E-mail: wchorange@126.com

2022年8月

能全面揭示乡村生产空间系统韧性水平的变化规律,更利于科学地提出韧性水平提升针对性策略。基于此,本文在测度2020年重庆市37个区县乡村生产空间系统韧性水平、明晰其空间格局的基础上,运用空间杜宾模型和地理探测器交互探测方法分别对扰动因素的空间效应和相互作用关系进行探析,进而解构其作用机制,旨在为重庆市全面推进乡村振兴提供参考。

2 研究方法数据来源

2.1 研究思路

“系统论”认为系统内部各要素通过非线性相互作用紧密联系,使得系统具有整体性^[18]。任一局部的微小扰动通过系统的整体关联放大,影响其他要素部分,致使系统远离原有平衡状态,向新的平衡状态演变,从有序到无序再到高级有序,实现系统由低级循环向高级循环发展。乡村生产空间系统作为重要的人地关系地域系统,受到社会、经济、生态环境等多方面因素扰动,这些扰动通过系统非线性作用相互关联。在新型城镇化及乡村振兴的“双轮驱动”下,农村人居环境整治、基础设施建设等各项惠及乡村的政策颁布,促使资金、技术等要素在城乡间快速流动,乡村的经济发展、社会形态变化、配套基础设施完善等改变了以人为为主的乡村多元主体的生产生活方式,乡村多元主体行为决策反作用于乡村生产空间系统的社会、经济、生态环境。各扰动因素在系统间及系统内部的交流互动促进了资源要素在空间上的合理配置,优化了乡村生产空间系统组织结构功能,进而影响乡村生产空间系统韧性水平。

因此,本文基于理论基础—实证演绎—机制分析的逻辑进路,从现实需求出发,基于乡村生产空间系统理论、韧性理论,以乡村生产空间系统韧性水平测度切入,多角度探析乡村生产空间系统韧性扰动因素的作用机制,以期更具科学性地对提升韧性水平提出针对性策略。

2.2 研究区概况

重庆市位于中国西南地区,是长江上游地区经济中心、国家重要现代制造业基地,具有“大城市、大农村、大山区、大库区”的特征。2009年国务院发布《国务院关于推进重庆市统筹城乡改革和发展的

若干意见》将其确定为“国家统筹城乡综合配套改革试验区”。自党的十九大提出乡村振兴战略以来,重庆市围绕“五大振兴”全面实施乡村振兴战略,贯彻落实习近平总书记提出的“两点”定位、“两地”“两高”目标和“四个扎实”要求的重大任务。2019年重庆市被纳入国家城乡融合发展试验区西部片区,包括荣昌、潼南、大足等9个区县,试点示范建立健全城乡融合发展体制机制和政策体系,推动全市范围内城乡要素自由流动以实现高质量发展。根据《重庆市国土空间规划(2021—2035年)》,重庆市空间格局分为“一区两群”,“一区”指由都市功能核心区、都市功能拓展区和城市发展新区构成的大都市区,“两群”指以万州为中心城市的“渝东北三峡库区城镇群”与以黔江为中心城市的“渝东南武陵山区城镇群”。

2.3 数据来源

数据包含重庆市37个区县(渝中区城镇化水平已达到100%,不在研究范围内)矢量数据和截面数据。矢量数据来源于重庆市规划和自然资源局提供的行政边界数据等。截面数据包括社会经济数据与环境数据,其中,社会经济数据来源于2020年《重庆统计年鉴》《重庆调查年鉴》《重庆经济年鉴》、重庆市各区县地方统计年鉴等;环境数据来源于2020年《重庆市水土保持公报》《重庆市森林资源公报》等。

2.4 指标与模型

2.4.1 乡村生产空间系统韧性水平测度方法

乡村生产空间系统韧性包含抵御、适应、更新三大能力^[19]。三大能力综合作用,共同推进乡村生产空间系统由一种平衡状态向另一种新的平衡状态演化。借鉴相关研究成果,从抵御、适应、更新三大能力构建乡村生产空间系统韧性水平测度指标体系^[20-22](表1)。

抵御能力指乡村生产空间系统基于人口、资源禀赋、生态环境等本底条件主动吸收应对扰动,以保持系统原有结构和功能不变的能力。选取乡村人口流动率、人均耕地面积反映乡村生产空间系统人口及生产情况,选取人均住房面积、设村卫生室的村数占行政村数比重反映乡村生产空间系统社会保障条件,选取水网密度指数、水土流失率反映

表1 乡村生产空间系统韧性测度指标体系

Table 1 Resilience measurement indicator system of rural production spatial system

准则层	指标层	指标含义及性质	权重
抵御能力	乡村人口流动率	反映乡村人口流动情况(+)	0.114
	人均耕地面积	反映农业生产发展水平(+)	0.028
	人均住房面积	反映农民居住条件(+)	0.042
	设村卫生室的村数占行政村数比重	反映乡村医疗条件水平(+)	0.013
	水网密度指数	反映乡村水环境情况(+)	0.102
	水土流失率	反映乡村水土流失状况(-)	0.042
适应能力	人均农林牧渔服务业总产值	反映乡村生产力发展水平(+)	0.101
	农业机械化水平	反映农业现代化发展水平(+)	0.065
	乡村居民人均可支配收入	反映农民可支配收入水平(+)	0.058
	财政自给水平 ^(a)	反映政府财政实力(+)	0.064
	生物丰富度指数	反映乡村生物多样性(+)	0.071
	农药化肥使用强度	反映现代科技要素对乡村环境的影响程度(-)	0.019
更新能力	农业商品化率	反映农业商品化水平(+)	0.036
	道路密度	反映乡村对外通达性(+)	0.052
	乡村劳动力人均受教育年限	反映乡村劳动力受教育水平(+)	0.045
	乡村居民人均教育文化娱乐支出	反映农民对教育、文化产品或服务等的精神需求(+)	0.027
	社会保障支出占比	反映政府社会保障投入情况(+)	0.043
	森林覆盖率	反映乡村生态环境更新能力(+)	0.078

注:(a)财政自给水平=地方财政收入/地方财政支出。

乡村生产空间系统生态环境状况。其中,水土流失率为负向指标,其余均为正向指标。

适应能力指乡村生产空间系统通过内部要素交流互动、不断重组等方式以适应扰动的能力。选取人均农林牧渔服务业总产值、农业机械化水平反映农业发展情况,选取乡村居民人均可支配收入反映农民收入高低以应对扰动的资金保障水平,选取财政自给水平反映政府财政发展能力,选取生物丰富度指数、农药化肥使用强度反映生态环境受到并应对扰动的能力高低。其中,农药化肥使用强度为负向指标,其余均为正向指标。

更新能力指乡村生产空间系统在扰动作用下通过彻底改革与改变,创造全新发展方式,提升系统自身潜能,促进系统向优化方向发生稳态转换的能力。选取农业商品化率反映农业产品市场化程度,选取道路密度反映乡村对外通达水平,选取乡村劳动力人均受教育年限、乡村居民人均教育文化娱乐支出反映农民教育文化水平,选取社会保障支出占比反映社会保障资金投入情况,选取森林覆盖率反映乡村生态环境更新能力。以上均为正向

指标。

采用熵权法对乡村生产空间系统韧性各指标进行计算,通过信息熵原理确定权重以便客观准确地评价研究对象。利用“min-max 标准化”将指标体系中各项指标转换为无量纲化指标测评值。计算公式如(1)、(2)所示,各评估指标经标准化处理后的值介于[0,1]区间。

当 Z_{ij} 为正向指标时:

$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \min X_{ij}}{\max X_{ij} - \min X_{ij}} \quad (1)$$

当 Z_{ij} 为负向指标时:

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

式中: X_{ij} 为第 i 个区县的第 j 项指标值($i=1,2,\dots,n$; $j=1,2,\dots,m$); Z_{ij} 为无量纲化处理得到的指标值。

在对指标进行如公式(3)的归一化处理基础上,计算各指标熵值 E_j 。

$$P_{ij} = \frac{Z_{ij}}{\sum_{i=1}^n Z_{ij}} \quad (3)$$

2022年8月

$$E_j = -k \sum_{i=1}^n P_{ij} \ln P_{ij} \quad (4)$$

$$k = \frac{1}{\ln n} \quad (5)$$

式中: P_{ij} 为第 j 项指标下第 i 个区县 ($i=1, 2, \dots, n$) 占该指标的比重; k 为常数。

计算信息熵冗余度 D_j 与权重 F_j 公式为:

$$F_j = \frac{D_j}{\sum_{j=1}^m D_j} \quad (6)$$

$$D_j = 1 - E_j \quad (7)$$

指标加权求和。将标准化处理结果与权重按公式(8)计算,得到乡村生产空间系统韧性水平 R_i :

$$R_i = \sum_{j=1}^m Z_{ij} F_j \quad (8)$$

2.4.2 空间杜宾模型

20世纪70年代, Jean Paelinck 提出空间计量经济学这一概念, 后经 Anselin^[23] 等学者的发展, 建立了完整的学科体系框架及计量模型。空间杜宾模型(SDM)在识别变量间空间相互关系与结构模式上具有将自变量与因变量同时纳入研究范围的优势。本文以重庆市37个区县乡村生产空间系统韧性水平 R 为因变量, 运用空间杜宾模型进行分析。

模型设定如下:

$$R_i = \delta \cdot \text{lag}_R + \beta X_i + \theta \cdot \text{lag}_X + \varepsilon_i \quad (9)$$

式中: lag_R 为因变量空间滞后向量, 由空间权重矩阵 W 乘以 R_i 得出; δ 为因变量空间自回归系数; X_i 为自变量; β 为参数向量; lag_X 为自变量空间滞后向量, 由权重矩阵 W 乘以 X_i 得出; θ 为自变量空间自回归系数; ε_i 为误差项。

2.4.3 地理探测器

地理探测器包含分异及因子探测、交互探测、生态探测、风险探测4个探测器, 其中, 交互探测可以识别不同因子间交互作用时对因变量的影响强弱^[24]。即分别计算 X_1 、 X_2 对因变量 R 的 q 值, 再计算二者交互的 q 值, 通过比较 $q(X_1)$ 、 $q(X_2)$ 、 $q(X_1 \cap X_2)$ 间大小得出因子交互关系。 q 值计算公式如下:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} \quad (10)$$

式中: h 为自变量 X 的分类数, $h=1, 2, \dots, L$; N_h 和 N

分别为自变量类型 h 样本数和整个研究区样本数; σ_h^2 和 σ^2 分别是 h 和 R 的方差。因子交互探测关系如表2所示。

表2 交互探测关系

Table 2 Interactive relationship

大小关系	交互关系
$q(X_1 \cap X_2) < \min(q(X_1), q(X_2))$	非线性减弱
$\min(q(X_1), q(X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < \max(q(X_1), q(X_2))$	单因子非线性减弱
$\max(q(X_1), q(X_2)) < q(X_1 \cap X_2) < q(X_1) + q(X_2)$	双因子增强
$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$	非线性增强
$q(X_1 \cap X_2) = q(X_1) + q(X_2)$	相互独立

3 结果与分析

3.1 乡村生产空间系统韧性水平的空间表征

(1)空间格局。由图1可知, 2020年重庆市各区县韧性呈现“中心高, 四周低”的空间分布特征, 韧性水平介于[0.288, 0.574]。乡村人口流动率、人均农林牧渔服务业总产值是主要影响指标。其中, 沙坪坝区、江北区、九龙坡区等区县韧性较高, 究其原因, 处于主城都市区的沙坪坝区等区县牢牢把握极核优势, “强核提能级”, 以产业升级引领区、科技创新策源地等为目标定位, 夯实工业主战场地位, 保障经济稳定增长; 同时开展乡村建设行动, 实施农旅融合发展项目建设, 加强农村人居环境整治, 多

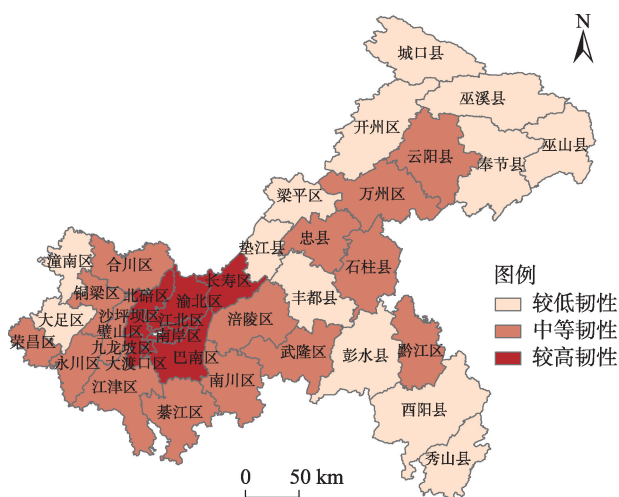


图1 2020年重庆市乡村生产空间系统韧性水平

Figure 1 Resilience level of rural production spatial system in Chongqing Municipality, 2020

注: 基于自然资源部标准地图服务网站渝S(2020)071号的标准地图制作, 底图边界无修改。

管齐下全面助力乡村振兴,乡村生产空间系统韧性水平迅速提升。荣昌区、合川区等西部区县及涪陵区、武隆区等中部区县韧性中等,究其原因,荣昌区等西部片区利用国家城乡融合发展试验区“新风口”,畅通各要素在城乡间合理配置,推动城乡融合发展;此外,涪陵区等区县以协调推进乡村振兴战略为抓手,发展绿色安全的现代化农业,实现农民增产,乡村生产空间系统韧性处于中等水平。巫溪县、秀山县等区县乡村生产空间系统韧性水平普遍偏低,究其原因,处于渝东北三峡库区城镇群及渝东南武陵山区城镇群的巫溪县等区县生态文化资源丰富,以生态保护绿色发展为标杆,共抓大保护、不搞大开发,联防联控共筑长江上游重要生态屏障,经济发展相对落后、基础设施建设不完善。

(2)空间关联。对2020年重庆市37个区县乡村生产空间系统韧性水平进行全局空间关联特征分析,得到全局Moran's I 为0.667,且在至少1%的水平下显著为正,即重庆市乡村生产空间系统韧性水平空间集聚特征显著,邻近区县乡村生产空间系统韧性具有较高一致性。通过Stata、ArcGIS软件对结果进行局部空间关联分析得出,重庆市乡村生产空间系统韧性空间冷热点分布不均(图2)。重庆市H-H集聚区集中于沙坪坝区、南岸区、江北区、大渡口区等主城都市区,H-L集聚区分布于武隆区,L-H集聚类型分布于江津区、合川区,L-L集聚区分布于潼南区、大足区等西部片区区县及巫山县、巫溪县、酉阳县、秀山县等渝东南、渝东北城镇群区域(表3)。

3.2 乡村生产空间系统韧性扰动因素的空间效应分析

3.2.1 直接效应与空间溢出效应分析

乡村生产空间系统韧性受到社会、经济、生态

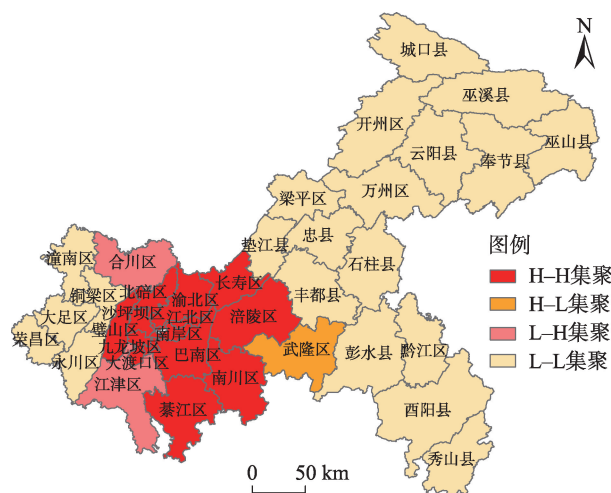


图2 2020年重庆市乡村生产空间系统韧性局部空间关联图

Figure 2 Local spatial correlation diagram of rural production spatial system resilience in Chongqing Municipality, 2020

注:基于自然资源部标准地图服务网站渝S(2020)071号的标准地图制作,底图边界无修改。

等多种扰动因素影响,同时政府通过财政拨款、政策颁布等方式驱动资金、资源、劳动力等各类要素不断在乡村生产空间系统与外部环境间流动,间接影响着乡村生产空间系统韧性水平。因研究区乡村生产空间系统生态环境本底变化较小,参考已有研究成果^[25-27]并根据重庆市实际情况,从经济水平、劳动力状况、产业结构、政府管理、基础设施5个维度选取扰动因素变量,即选取人均地区生产总值(X_1)、乡村劳动力水平(X_2)、二三产业发展水平(X_3)、地方财政支出(X_4)、人均固定资产投资额(X_5)指标探究乡村生产空间系统韧性扰动因素的空间效应。运用空间杜宾模型对各扰动因素进行分析(表4),LM检验和稳健LM检验拒绝了不存在因变量空间滞后项和不存在空间滞后残差项的原假设,Wald检验和LR检验均在5%显著水平下拒绝了原

表3 2020年重庆市37个区县乡村生产空间系统韧性集聚类型

Table 3 Rural production spatial system resilience cluster types of 37 districts in Chongqing Municipality, 2020

集聚类型	区县名称
H-H集聚	沙坪坝区、南岸区、江北区、大渡口区、涪陵区、九龙坡区、北碚区、綦江区、渝北区、巴南区、长寿区、南川区、璧山区
H-L集聚	武隆区
L-H集聚	江津区、合川区
L-L集聚	万州区、大足区、黔江区、永川区、铜梁区、潼南区、荣昌区、开州区、梁平区、城口县、丰都县、垫江县、忠县、云阳县、奉节县、巫山县、巫溪县、石柱县、秀山县、酉阳县、彭水县

2022年8月

表4 空间杜宾模型估计结果

Table 4 Estimation results of spatial Durbin model

变量	SDM
X_1	0.005
X_2	0.002
X_3	1.018***
X_4	-0.096**
X_5	0.005**
$W \times X_1$	0.001
$W \times X_2$	-0.099**
$W \times X_3$	-0.092**
$W \times X_4$	-0.078**
$W \times X_5$	0.003
ρ	0.109**
R^2	0.670

注: *、**、***分别表示 $P < 0.10$ 、 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$, 下同。

假设,表明空间杜宾模型(SDM)不可退化为空间滞后模型(SAR)与空间误差模型(SEM),即重庆市37个区县韧性水平既受到自身区县相关扰动因素的作用,也受到邻近区县扰动因素的影响。进一步对各扰动因素直接效应、间接效应及总效应进行分析,结果如表5所示。

人均地区生产总值对乡村生产空间系统韧性的直接、间接及总效应均为正向影响,即区域经济发展水平越高,不仅能带动本区县乡村生产空间系统韧性提升,对周边区县韧性也有促进作用与空间溢出效应。究其原因,重庆市经济水平发达的区县具有技术、资源等多方面的优势,各优势通过扩散效应渗入空间上邻近的地区,从而带动周边区域发展,使得这些区域灵活应对扰动的能力增强,乡村生产空间系统韧性水平提升。乡村劳动力水平直接效应为正但未通过显著性检验,即劳动力集聚对韧性水平提高影响并不明显。乡村劳动力水平间接效应与总效应为负,说明周边区县劳动力集聚对

本区县乡村生产空间系统韧性水平提升的抑制效应大于本区县劳动力集聚对本区县乡村生产空间系统韧性水平提升的促进效应,即空间溢出效应大于直接效应。究其原因,劳动力为了获取更高的报酬不断在区域间流动,欠发达区域人力资本的流失削弱了乡村持续发展能力,而发达区域人口过于集中对乡村生产空间系统扰动可能性提高,因此劳动力集聚对乡村生产空间系统韧性水平提升空间影响总效应为负。二三产业发展水平对乡村生产空间系统韧性的直接效应与总效应显著为正,而周边区县二三产业发展水平对本区县乡村生产空间系统韧性的影响在5%水平下显著为负。究其原因,重庆市以乡村产业“十百千”工程为抓手,大力推动乡村二三产业发展,实现农民持续增收,应对风险冲击能力提升,而周边区县产业快速发展提供大量就业机会,导致本区县劳动力外流,经济增长速度减缓。地方财政支出对乡村生产空间系统韧性提升的直接、间接及总效应均在5%水平下显著为负,即地方财政支出对本区县及邻近区县乡村生产系统韧性水平提升均具有显著负向影响。说明政府财政支出在空间上的差异扩大了区域间经济差距,对周边区县乡村生产空间系统韧性水平提升具有抑制效应,而过度经济干预及地方保护主义不利于乡村生产空间系统韧性的提升。人均固定资产投资额增多不但对本区县乡村生产空间系统韧性水平提升具有促进作用,而且对周边区县韧性提升也存在空间溢出效应和正向影响。究其原因,重庆市加大基础设施投资建设美丽乡村,基础设施的完善通过乘数效应促进区域经济增长,同时道路等基础设施的建设打破了区域壁垒,将各区县在空间上联结起来,互联互通协同发展,基础设施空间溢出效应对乡村生产空间系统韧性提升正向影响凸显。

表5 直接效应、间接效应及总效应

Table 5 Direct effect, indirect effect, and total effect

影响因素	具体变量	直接效应	间接效应	总效应
经济水平	人均地区生产总值(X_1)	0.006(0.88)	0.001(0.19)	0.007*(1.07)
劳动力状况	乡村劳动力水平(X_2)	0.002(0.03)	-0.004(-0.05)	-0.002(-0.02)
产业结构	二三产业发展水平(X_3)	1.271*** (7.21)	-0.279**(-1.58)	0.992*** (5.63)
政府管理	地方财政支出(X_4)	-0.119**(-1.79)	-0.026**(-0.39)	-0.093**(-1.39)
基础设施	人均固定资产投资额(X_5)	0.006** (1.64)	0.001(0.36)	0.007** (2.00)

3.2.2 内生性讨论与稳健性检验

变量具有内生性原因之一是自变量与因变量互为因果,乡村生产空间系统韧性可能与经济发展、劳动力状况之间存在内生性,即经济发展、劳动力聚集有助于提升乡村生产空间系统韧性,而乡村生产空间系统韧性的提升又可以促进区域经济发展以及吸引更多劳动力。因此,本文通过工具变量法检验内生性问题,选取社会消费品零售额及乡村就业人数分别构建经济水平与劳动力状况的工具变量,且通过了不可识别检验、弱工具检验及过度识别检验,将通过以上检验的工具变量进行豪斯曼检验,得到 p 值为 $0.167>0.010$,接受原假设,即自变量为外生变量。

为进一步检验相关结论的稳健性,采取5%缩尾的方式剔除样本中的极端数据以检验结论是否稳健。将变量回归处理得到稳健性检验结果(表6)。结果表明,与原结果对比,稳健性检验结果回归系数虽然有差异,但显著性与符号与原结果一致,故具有稳健性。

3.3 乡村生产空间系统韧性扰动因素的交互探测

运用地理探测器对各扰动因素进行探测分析得出,人均地区生产总值、乡村劳动力水平、二三产业发展水平、地方财政支出、人均固定资产投资额5个扰动因素均对重庆市乡村生产空间系统韧性提升具有显著影响,扰动因素变量选取合理性得到验证(表7)。其中,人均地区生产总值扰动影响能力

最强,其次是乡村劳动力水平,剩余因素对韧性影响能力相当。

将5个扰动因素进行交互探测,结果显示,各扰动因素间交互作用均为双因子增强,即扰动因素间交互作用对乡村生产空间系统韧性的影响均强于单因素的影响(表8)。其中,人均地区生产总值与人均固定资产投资额交互影响作用高达0.886,即经济水平条件与基础设施间相互作用更为强烈地影响着重庆市乡村生产空间系统韧性水平。究其原因,区县基础设施完善是经济快速发展的重要基础,也是推动经济高质量发展的重要举措,重庆市以新型基础设施建设为抓手,建立健全数字转型、智能升级等服务基础设施体系,促进数字经济与实体经济深度融合,经济水平与基础设施建设相互影响共同作用,促进重庆市乡村生产空间系统韧性水平提升。

3.4 乡村生产空间系统韧性扰动因素的作用机制分析

人均地区生产总值对乡村生产空间系统韧性水平具有正向影响,是扰动重庆市乡村生产空间系统韧性的主要因素。经济发展迅速的区域,虹吸效

表6 稳健性检验

Table 6 Robustness test results

变量	稳健性检验结果
X_1	0.010
X_2	0.293
X_3	0.179***
X_4	-0.001**
X_5	0.101**
$W \times X_1$	0.002
$W \times X_2$	-0.028**
$W \times X_3$	-0.824**
$W \times X_4$	-0.001**
$W \times X_5$	0.003
ρ	0.161**
R^2	0.620

表7 乡村生产空间系统韧性扰动因素探测结果

Table 7 Detection results of resilience disturbance factors in rural production spatial system

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
q	0.718	0.686	0.654	0.651	0.660
p 值	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表8 乡村生产空间系统韧性扰动因素交互作用结果

Table 8 Interactions of resilience disturbance factors in rural production spatial system

两两交互	交互值	交互结果
$X_1 \cap X_2$	0.778	双因子增强
$X_1 \cap X_3$	0.785	双因子增强
$X_1 \cap X_4$	0.839	双因子增强
$X_1 \cap X_5$	0.886	双因子增强
$X_2 \cap X_3$	0.745	双因子增强
$X_2 \cap X_4$	0.813	双因子增强
$X_2 \cap X_5$	0.876	双因子增强
$X_3 \cap X_4$	0.835	双因子增强
$X_3 \cap X_5$	0.828	双因子增强
$X_4 \cap X_5$	0.843	双因子增强

2022年8月

应明显,拥有充裕的资金资源抵御未知风险以维持乡村生产空间系统稳定,保障系统以原有方式运行,同时带动周边区县协同发展,促进资源要素在空间上合理配置。经济落后的区域,人均可支配收入有限,面对自然灾害或突发事件时难以依靠自身解决,脆弱性凸显,是乡村生产空间系统韧性较低的主要原因(图3)。

乡村劳动力水平对乡村生产空间系统韧性水平具有负向影响,是扰动重庆市乡村生产空间系统韧性的重要因素。劳动力流入带动本地区经济快速发展,但人口集中消耗大量资源,对基础及公共服务设施带来严峻挑战,乡村生产空间系统承受风险可能性增加。劳动力流失导致本区县劳动力数量下降,经济发展速度降低,系统内部要素流动重组减缓,更新能力减弱,乡村生产空间系统韧性水平下降。

二三产业发展水平、地方财政支出、人均固定资产投资额是影响重庆市乡村生产空间系统韧性水平的基本因素。其中,二三产业发展水平、人均固定资产投资对乡村生产空间系统韧性具有正向影响,地方财政支出对乡村生产空间系统韧性具有负向影响。随着乡村工业化、现代化进程的加快,农村新产业、新业态的壮大拓宽了农民增收渠道,促进了社会生产力的发展,使得系统抗击风险与扰

动能力提升。政府财政支出扩大增加了政府债务负担风险,面临外部事件冲击时难以调动资金合理配置,应对扰动能力下降,不利于乡村生产空间系统韧性提升。深入扎实推进农村基础设施建设,大量投入生产要素,吸纳农民参与基础设施建设,增加就业机会,拓宽收入渠道,促进农村经济发展。完善的基础设施体系降低生产要素投入成本,改变了传统农业生产模式,使生产更加高效化、规模化、机械化。同时,完善配套的道路、供电供水、通讯等基础设施改善了农民生活条件,促进乡村生产空间系统韧性水平提升。

经济水平、劳动力状况、产业结构、政府管理、基础设施建设五大扰动因素在相邻乡村生产空间系统之间及系统内部不断输入输出,两两作用相互促进,共同影响着乡村生产空间系统韧性水平变化。

4 结论与讨论

4.1 结论

本文在明晰重庆市乡村生产空间系统韧性空间格局的基础上,运用空间杜宾模型与地理探测器交互探测分析扰动因素的空间效应与作用关系,进而解构其作用机制。主要研究结论如下:

(1)2020年重庆市37个区县韧性水平介于[0.288,0.574],呈现“中心高,四周低”的空间格局分布特征,邻近区县韧性水平具有较高一致性且冷热点分布不均。其中,沙坪坝区韧性水平最高,大足区韧性水平最低,乡村人口流动率、人均农林牧渔服务业总产值为主要影响指标。随着资金、技术、劳动力、政策等要素向乡村倾斜,乡村生产空间系统抵御吸收扰动与要素交流重组速度加快、自我更新能力增强,抵御、适应、更新三大能力共同促进乡村生产空间系统韧性水平提升。

(2)乡村生产空间系统韧性水平受到多种扰动因素的影响。其中,人均地区生产总值、二三产业发展水平及人均固定资产投资额对乡村生产空间系统韧性具有显著正向影响,乡村劳动力水平、地方财政支出具有显著负向影响。此外,各扰动因素交互作用对乡村生产空间系统韧性作用强于单因素对韧性的影响。

(3)基于扰动因素的空间效应及相互作用关系分析,更具科学性地解析扰动对乡村生产空间系统

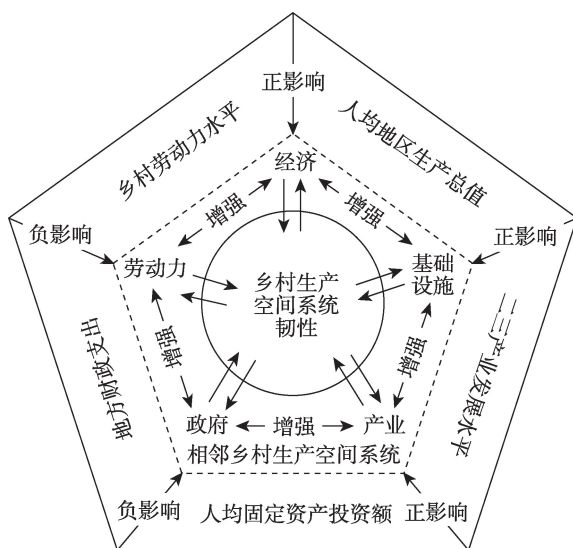


图3 重庆市乡村生产空间系统韧性扰动因素作用机制

Figure 3 Mechanism of resilience disturbance in rural production spatial system in Chongqing Municipality

韧性水平的影响,为推进可持续发展、实现产业振兴提供理论支撑。

4.2 讨论

乡村生产空间系统韧性既受到来自相邻空间要素之间的相互干扰,又受到空间内部要素相互作用的影响。本文充分考虑韧性扰动因素的空间效应,探讨扰动因素相互关系并解构作用机制,旨在更具针对性地提出重庆市乡村生产空间系统韧性提升策略,为实现乡村可持续发展提供参考。乡村生产空间系统本身是个复杂开放的巨系统,其韧性水平涉及内外部环境变化、要素交流重组、系统更新优化等多个复杂多变的环节,未来研究应进一步对乡村生产空间系统韧性演变内在机理深入分析。同时,由于政策制度难以量化,本文在选取乡村生产空间系统韧性测度指标时涉及政策因素尚少,未来研究应进一步考虑政策影响并完善指标体系。本文以2020年为研究时点,探究乡村生产空间系统扰动因素作用机制,而乡村生产空间系统持续遭受着各因素的扰动,韧性水平变化具有一定的滞后性,未来应长时序追踪乡村生产空间系统韧性变化趋势、总结变化规律,进一步检验研究结果的科学性、准确性。此外,乡村生产空间系统韧性演变受到各种扰动因素持续不断的累积影响,外部环境亦在不断动态变化中,探寻可能出现的新扰动要素、扰动方式是未来研究的重点方向。

参考文献(References):

- [1] 刘彦随,周扬,李玉恒. 中国乡村地域系统与乡村振兴战略[J]. 地理学报, 2019, 74(12): 2511-2528. [Liu Y S, Zhou Y, Li Y H. Rural regional system and rural revitalization strategy in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2019, 74(12): 2511-2528.]
- [2] 李文龙,匡文慧,吕君,等. 北方农牧交错区人地系统演化特征与影响机理: 以内蒙古达茂旗为例[J]. 地理学报, 2021, 76(2): 487-502. [Li W L, Kuang W H, Lv J, et al. Adaptive evolution mechanism of rural human-land system in farming-and-pastoral areas of northern China[J]. Acta Geographica Sinica, 2021, 76(2): 487-502.]
- [3] 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 C, Ren M J, Hu Q Y, et al. Rural production space system resilience and its research domains[J]. Progress in Geography, 2021, 40(1): 85-94.]
- [4] 邱明丽,刘殿锋,刘耀林. 乡村韧性理论框架与测度体系[J]. 中国土地科学, 2021, 35(8): 107-114. [Qiu M L, Liu D F, Liu Y L. Review on theoretical framework and evaluation system of rural resilience[J]. China Land Science, 2021, 35(8): 107-114.]
- [5] 王亚楠,黄安,高阳,等. 万年县乡村地域系统韧性评价及其空间分异格局[J]. 水土保持研究, 2021, 28(6): 209-216. [Wang Y N, Huang A, Gao Y, et al. Resilience evaluation and spatial differentiation pattern of rural regional system in Wannian County [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2021, 28(6): 209-216.]
- [6] 李玉恒,黄惠倩,宋传垚. 贫困地区乡村经济韧性研究及其启示: 以河北省阳原县为例[J]. 地理科学进展, 2021, 40(11): 1839-1846. [Li Y H, Huang H Q, Song C Y. Rural economic resilience in poor areas and its enlightenment: Case study of Yangyuan County, Hebei Province[J]. Progress in Geography, 2021, 40(11): 1839-1846.]
- [7] 岳俞余,高璟. 基于社会生态系统视角的乡村聚落韧性评价: 以河南省汤阴县为例[J]. 小城镇建设, 2019, 37(1): 5-14. [Yue Y Y, Gao J. Reevaluation of rural settlement toughness based on social ecosystem perspective: Taking Tangyin County Henan Province as an example[J]. Development of Small Cities & Towns, 2019, 37(1): 5-14.]
- [8] 李玉恒,黄惠倩,王晨业. 基于乡村经济韧性的传统农区城乡融合发展路径研究: 以河北省典型县域为例[J]. 经济地理, 2021, 41(8): 28-33. [Li Y H, Huang H Q, Wang S Y. Path of urban-rural integrated development in traditional agricultural zones based on rural economic resilience: The study of typical counties of Hebei Province[J]. Economic Geography, 2021, 41(8): 28-33.]
- [9] 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 C, Dai R L, Chen J, 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.]
- [10] 唐任伍,郭文娟. 乡村振兴演进韧性及其内在治理逻辑[J]. 改革, 2018, (8): 64-72. [Tang R W, Guo W J. The evolution resilience and internal governance logic of rural revitalization[J]. Reform, 2018, (8): 64-72.]
- [11] 李南枢,何荣山. 社会组织嵌入韧性乡村建设的逻辑与路径[J]. 中国农村观察, 2022, (2): 98-116. [Li N S, He R S. The logic and path of social organizations' participation in the construction of resilient villages[J]. China Rural Survey, 2022, (2): 98-116.]
- [12] 刘永茂,李树苗. 农户生计多样性弹性测度研究: 以陕西省安康市为例[J]. 资源科学, 2017, 39(4): 766-781. [Liu Y M, Li S Z.

2022年8月

- Measuring household livelihood diversification resilience: A case study in Ankang City of Shaanxi Province[J]. *Resources Science*, 2017, 39(4): 766–781.]
- [13] 孟丽君, 黄灿, 陈鑫, 等. 曲周县耕地利用系统韧性评价[J]. *资源科学*, 2019, 41(10): 1949–1958. [Meng L J, Huang C, Chen X, et al. Evaluation of cultivated land system resilience of Quzhou County[J]. *Resources Science*, 2019, 41(10): 1949–1958.]
- [14] 马江浩, 陈佳, 杨新军, 等. 土地利用变化对干旱区乡村社会恢复力的影响: 以民勤绿洲为例[J]. *资源科学*, 2021, 43(8): 1615–1627. [Ma J H, Chen J, Yang X J, et al. Influence of land use change on rural social resilience in arid areas: Taking the Minqin Oasis as an example[J]. *Resources Science*, 2021, 43(8): 1615–1627.]
- [15] Huang X J, Li H, Zhang X L, et al. Land use policy as an instrument of rural resilience: The case of land withdrawal mechanism for rural homesteads in China[J]. *Ecological Indicators*, 2018, 87: 47–55.
- [16] Pelucha M, Kourilova J, Kasabov E, et al. Expanding the ontological horizons of rural resilience in the applied agricultural research policy: The case of the Czech Republic[J]. *Journal of Rural Studies*, 2021, 82: 340–350.
- [17] Neil A. Rural geography II: Scalar and social constructionist perspectives on climate change adaptation and rural resilience[J]. *Progress in Human Geography*, 2019, 43(1): 183–191.
- [18] 魏宏森, 曾国屏. 系统论: 系统科学哲学[M]. 北京: 世界图书出版公司, 2009. [Wei H S, Zeng G P. *System Theory: Philosophy of System Science*[M]. Beijing: World Publishing Corporation, 2009.]
- [19] 李玉恒, 阎佳玉, 刘彦随. 基于乡村弹性的乡村振兴理论认知与路径研究[J]. *地理学报*, 2019, 74(10): 2001–2010. [Li Y H, Yan J Y, Liu Y S. The cognition and path analysis of rural revitalization theory based on rural resilience[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(10): 2001–2010.]
- [20] 张鹏, 于伟, 张延伟. 山东省城市韧性的时空分异及其影响因素[J]. *城市问题*, 2018, (9): 27–34. [Zhang P, Yu W, Zhang Y W. Spatial-temporal differentiation and its influencing factors of Shandong Province's urban resilience[J]. *Urban Problems*, 2018, (9): 27–34.]
- [21] 丁建军, 王璋, 柳艳红, 等. 中国连片特困区经济韧性测度及影响因素分析[J]. *地理科学进展*, 2020, 39(6): 924–937. [Ding J J, Wang Z, Liu Y H, et al. Measurement of economic resilience of contiguous poverty-stricken areas in China and influencing factor analysis[J]. *Progress in Geography*, 2020, 39(6): 924–937.]
- [22] 胡霄, 李红波, 李智, 等. 河北省县域乡村韧性测度及时空演变[J]. *地理与地理信息科学*, 2021, 37(3): 89–96. [Hu X, Li H B, Li Z, et al. Measurement and spatio-temporal evolution of rural resilience at county level in Hebei Province[J]. *Geography and Geo-Information Science*, 2021, 37(3): 89–96.]
- [23] Anselin L. *Spatial Econometrics: Methods and Models*[M]. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1988.
- [24] 王劲峰, 徐成东. 地理探测器: 原理与展望[J]. *地理学报*, 2017, 72(1): 116–134. [Wang J F, Xu C D. Geodetector: Principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116–134.]
- [25] 李连刚, 张平宇, 程钰, 等. 黄河流域经济韧性时空演变与影响因素研究[J]. *地理科学*, 2022, 42(4): 557–567. [Li L G, Zhang P Y, Cheng Y, et al. Spatio-temporal evolution and influencing factors of economic resilience in the Yellow River Basin[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(4): 557–567.]
- [26] 陶洁怡, 董平, 陆玉麒. 长三角地区生态韧性时空变化及影响因素分析[J/OL]. *长江流域资源与环境*, (2022–04–11) [2022–05–16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1320.X.20220409.1234.002.html>. [Tao J Y, Dong P, Lu Y Q. Spatial-temporal analysis and influencing factors of ecological resilience in the Yangtze River Delta[J/OL]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, (2022–04–11) [2022–05–16]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/42.1320.X.20220409.1234.002.html>.]
- [27] 孙久文, 陈超君, 孙铮. 黄河流域城市经济韧性研究和影响因素分析: 基于不同城市类型的视角[J]. *经济地理*, 2022, 42(5): 1–10. [Sun J W, Chen C J, Sun Z. Urban economic resilience and its influencing factors in the Yellow River Basin: From the perspective of different types of city[J]. *Economic Geography*, 2022, 42(5): 1–10.]

Spatial effect and relationship of disturbances to the resilience of rural production spatial system in Chongqing Municipality

WANG Cheng^{1,2}, WU Xinyue^{1,2}

(1. Laboratory of Rural Human Settlements, School of Geographic Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. New Liberal Arts Laboratory of Western Rural Sustainable Development, Chongqing 400715, China)

Abstract: As an open giant system, the resilience level of rural production spatial system is affected not only by the interaction of elements between adjacent spaces, but also by the interaction of elements within the space. It is of great practical significance to analyze the interaction of disturbance factors between and within these spaces for improving the resilience of rural production spatial systems. On the basis of measuring the resilience level of the rural production spatial system of 37 districts and counties in Chongqing Municipality in 2020 to clarify its spatial pattern, the spatial effect and interactive relationship of disturbance factors were analyzed respectively using the spatial Durbin model and geographical detector interactive detection method, and the mechanism of impact was deconstructed. The results show that: (1) In 2020, the resilience level of production spatial system of the districts and counties of Chongqing presented a spatial pattern of high in the center and low in the periphery, the resilience level of adjacent districts and counties are highly consistent, and the distribution of cold and hot spots was uneven. (2) Economic development level, the development level of secondary and tertiary industries, and infrastructure construction have a significant positive impact on the resilience of rural production spatial system, while the degree of labor force concentration and local fiscal expenditure have a significant negative impact. (3) Using the method of combining the spatial effect of disturbance factors and their interactions can facilitate objective analysis of the impact of disturbance on the resilience level of rural production spatial system and formulation of targeted strategies to improve resilience. This study examined the mechanism of the disturbance factors of rural production spatial system resilience, and provides scientific support for the comprehensive promotion of rural revitalization in Chongqing.

Key words: rural production spatial system; resilience; spatial Durbin model; spatial effect; Geodetector; Chongqing Municipality