

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

彭鹏^{1, 2} 顾丹丹¹ 周国华^{1, 21}

(1. 湖南师范大学 地理科学学院, 中国湖南 长沙 410081;

2. 湖南师范大学 地理空间大数据挖掘与应用湖南省

重点实验室, 中国湖南 长沙 410081)

【摘要】: 基于 PSR 模型构建乡村人居环境脆弱性评估体系, 采用指标聚合、地理加权回归等方法对 2010—2018 年湖南省乡村人居环境脆弱性及其响应指数的影响因素进行研究。结果显示: (1) 湖南省乡村人居环境脆弱性呈明显下降趋势, 其中压力指数下降速度最慢, 响应指数下降速度最快, 2014—2018 年下降幅度大于 2010—2014 年; (2) 脆弱性高值区集中分布在大湘西和洞庭湖流域, 脆弱性低值区集中分布在长株潭城市群周围, 总体上呈现“西高东低”的空间格局特征; (3) 脆弱性响应指数影响因子的作用强度在空间上具有差异性, 自然因素是影响乡村人居环境脆弱性响应指数的主导因素, 经济因素起到关键作用, 人口、环境以及区位因素在乡村人居环境脆弱性响应机制中起到重要作用。不同区域应根据脆弱性根源的差异, 科学开展乡村人居环境整治, 不断完善脆弱性响应机制, 促进乡村振兴战略的顺利实施。

【关键词】: 乡村人居环境 乡村振兴 脆弱性 PSR 模型 地理加权回归 自然因素 经济因素

【中图分类号】: X21 **【文献标志码】:** A **【文章编号】:** 1000-8462 (2022) 06-0168-11

乡村人居环境是乡村居民生产、生活空间的载体, 改善乡村人居环境、建设美丽宜居乡村是实施乡村振兴战略的一项重要任务^[1]。改革开放以来, 我国工业化、城镇化进程不断加快, 城乡关系出现显著变化, 尤其是城乡地域结构、产业结构、就业结构和社会结构都经历了一个快速演化的过程^[2], 但是长期的城市偏向、市民偏向和重工业偏向使得我国在经济增长和社会发展取得巨大成就的同时, 乡村出现衰退问题^[3], 乡村劳动力流失、外部繁荣而内部凋敝以及乡村产业和人口空心化等“乡村病”成为阻碍乡村人居环境可持续发展的巨大障碍^[4, 5]。近年来, 党中央、国务院高度重视改善农村人居环境建设工作。2018 年“中央一号”文件明确要求, 实施农村人居环境整治三年行动计划, 以农村垃圾、污水治理和村容村貌提升为主攻方向, 整合各种资源, 强化各种举措, 稳步有序推进农村人居环境突出问题治理, 努力补齐影响农民群众生活品质的短板。党的十九大报告中指出, 实施乡村振兴战略, 生态宜居是关键。习近平总书记多次强调: “农村环境整治这个事, 不管是发达地区还是欠发达地区都要搞, 标准可以有高有低, 但最起码要给农民一个干净整洁的生活环境”。2021 年, 在农村人居环境整治三年行动方案目标任务基本完成

作者简介: 彭鹏 (1968—), 男, 湖南浏阳人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为 GIS 与乡村地理学。E-mail: zhxypp@hunnu.edu.cn; 顾丹丹 (1996—), 女, 安徽颖上人, 硕士研究生, 研究方向为乡村地理学。E-mail: gudd715@163.com

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41971224)

的基础上,农村人居环境整治提升五年行动启动实施,持续改善乡村人居环境,助力乡村振兴。乡村人居环境建设是科学发展观的重要体现,事关广大农民的根本福祉。破解乡村基础设施与公共服务两大难题、加强乡村人居环境研究,这是当前解决人居环境建设短板、建设美丽宜居宜业乡村的重要立足点。

人居环境科学始于 1950 年代道萨迪亚斯的“人类聚居学”理论。1993 年,吴良镛院士在中国首次提出建立人居环境科学^[6,7]。乡村人居环境是乡村区域内农户生产生活所需物质和非物质的有机结合体^[8]。国外对于乡村人居环境的研究主要体现在乡村聚落^[9]、乡村人居环境演变^[10]以及乡村转型发展^[11]等方面。国内的乡村人居环境研究虽起步较晚,但是相关学者从规划学^[12]、生态学^[13]、社会学^[8,14]以及地理学^[15]等多个角度对乡村人居环境进行了探究。就地理学视角来说,已有的研究成果偏向乡村人居环境系统理论^[16]、乡村人居环境质量评价与时空格局分析^[17]、乡村聚落模式与重构^[18,19]、农村生态环境整治措施^[12]等方面。近年来,部分学者开始关注传统村落、旅游区、社区和生态功能区^[20,21,22,23]的乡村人居环境状况,力图从微观尺度探寻典型人地系统乡村人居环境建设的有效途径,为乡村人居环境研究开创了新的领域,但是研究视角多着眼于宏观区域或微观居民点,以县域为研究单元的中小尺度研究较少。

脆弱性的概念最早源于自然灾害研究^[24],指暴露于风险扰动或压力之下的系统可能遭受的损害程度^[25],随着应用领域的拓展和理论方法的完善,脆弱性的内涵不断丰富,现已成为可持续发展领域的重要科学问题^[26,27]。乡村人居环境系统作为人地系统的重要方面,具有脆弱性这一属性。乡村人居环境作为承受风险的主体,在遭受自然与人为等多重扰动后呈现新的状态,并自组织调节功能结构以恢复原有状态。国外的人地系统脆弱性研究由自然科学领域逐渐拓展至人文社科领域,有关学者基于风险—灾害(RH)模型^[28]、压力—释放(PAR)模型^[29]、VSD(vulnerability scoping diagram)模型^[30]、SERV(spatially explicit resilience-vulnerability)模型^[31]等分析框架对人地系统脆弱性进行实证研究。国内的人地系统脆弱性研究多沿用国外的理论模型基础,结合社会经济前沿和热点领域以及案例区的人地关系现状开展理论与实证研究,研究方法主要有情景分析法^[32]、集对分析法^[33]、模糊层次分析法^[34]等,研究方法多样,定性与定量研究并重。但是总的来说,国内的人地系统脆弱性研究尚处于起步阶段,对乡村人居环境脆弱性的系统研究不足,研究视角多是对特定时间截面下的乡村人居环境评估和因地制宜的优化策略探讨,缺少对乡村人居环境系统脆弱性根源和影响因素的剖析。

“压力—状态—响应”(Pressure-State-Response)模型关注人类与环境的相互关系,是环境质量评价学科中的重要模型^[35],将 PSR 模型引入乡村人居环境系统脆弱性评估有助于更好地了解研究区的人地关系、量化乡村人居环境脆弱性程度。湖南省是我国中部地区的农业大省,地处云贵高原向江南丘陵和南岭山脉向江汉平原的过渡地带,地势三面环山,呈现朝北开口的马蹄形地貌,地形类型复杂多样,乡村类型丰富典型。基于此,本研究以湖南省各县(市、区)为研究单元,基于人地系统脆弱性视角,构建乡村人居环境脆弱性测度模型,探究乡村人居环境脆弱性时空格局特征,解析响应机制的关键致脆因子及其作用的空间分异,以期为湖南省以及其他类似区域的乡村人居环境整治提供决策参考。

1 研究区概况、数据来源与研究方法

1.1 研究区概况

湖南省(108° 47' E~114° 15' E、24° 39' N~30° 08' N)地处长江中游、洞庭湖以南,位于我国东南腹地,是我国重要的农业大省,著名的“鱼米之乡”。2018 年末,湖南省土地面积 21.18 万 km²,其中耕地面积 415.5 万 hm²,辖 13 个市,1 个自治州,122 个县(市、区)(以下简称为“县域”),总人口 7326.6 万人,其中乡村人口 4806.86 万人,占总人口的 65.61%,GDP 为 36425.78 亿元,人均 GDP 为 52949 元,三次产业结构为 8.5 : 39.7 : 51.8,城镇居民人均可支配收入 36698 元,农村居民人均可支配收入 14093 元,城乡发展存在较大差距。湖南省地貌类型多样,以山地、丘陵为主,平原仅占全省总面积的 13.1%,区域内自然状况的复杂性和社会经济差异导致人居环境状况的多样性,各地区的乡村人居环境脆弱性存在明显的地域分异。

1.2 数据来源

乡村人居环境脆弱性测度以县域为基本研究单元,考虑到2010年《全国农村环境连片整治工作指南(试行)》、2014年农村人居环境整治首个国家级文件《关于改善农村人居环境的指导意见》以及2018年《农村人居环境整治三年行动方案》三大重要相关文件的出台年份,选取2010、2014以及2018年作为本研究的截面时间。研究所需的行政边界等地理空间属性数据主要来源于国家基础地理信息系统(<http://ngcc.sbsm.gov.cn>);DEM数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>);社会经济统计数据主要来源于《中国县域统计年鉴》《湖南统计年鉴》《湖南农村统计年鉴》以及《湖南调查年鉴》,并以《湖南年鉴》、政府工作报告和各县域国民经济与社会发展统计公报作为补充;个别缺失数据通过插值法计算得到。

1.3 研究方法

1.3.1 基于PSR模型的脆弱性评价指标体系

结合湖南省的实际,根据已有研究成果^[25,36,37],考虑数据可得性,遵循指标选取的系统性、完整性、有效性和可量可比性的原则,基于PSR模型的3个分指数构建了乡村人居环境脆弱性评价指标体系,将乡村人居环境脆弱性指数分成脆弱性综合指数以及压力指数、状态指数、响应指数,分别反映乡村人居环境的脆弱性和压力、敏感性、应对能力。

为了全面反映湖南省乡村人居环境脆弱性且具有可比性,本文尽量选择评价指标的平均值或比率。在乡村人居环境脆弱性测度框架中(图1),压力P理解为人居环境系统需要遭受的自然、人为等因素的扰动,由此引发人居环境系统发生一系列的改变,选取农业面源污染指数、就业人口负担系数、复种指数、城乡收入比、人口自然增长率以及人均水资源占有量等6个具体指标;状态S即为系统由于其脆弱性在遭受扰动以后的具体表现,是压力因素的结果反馈,选取粮食生产率、农业机械化水平、农村人均用电量、公路网密度、人均住房面积、恩格尔系数6个指标;响应R反映乡村人居环境系统在遭受内外扰动后自组织调整以恢复自身功能的能力,包括经济基础、政府调控、社会保障、环境治理等方面,选取人均农林牧渔业总产值、人均财政支出、千人专任教师、万人拥有卫生技术人员、造林面积、水土流失综合治理面积以及二三产业产值比重7个具体指标。

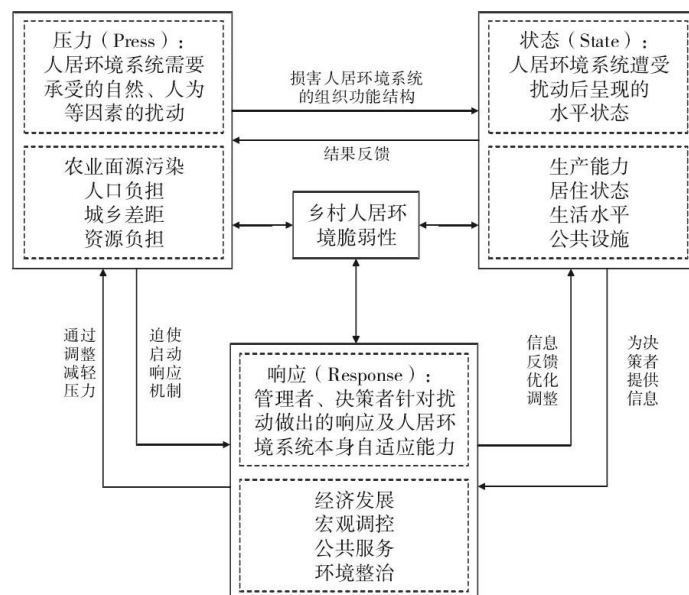


图1 基于PSR模型的乡村人居环境脆弱性分析框架

1.3.2 指标的标准化与聚合

为了消除不同量纲的评价指标对脆弱性结果的影响，对原始数据采用极差标准化方法处理。

脆弱性复合指数的方法通常是加权或无权重数学运算两种途径，二者相比，无加权变量不会改变复合指数传达的信息，因此广泛应用于脆弱性评估领域^[17,38]。本研究对评估模型中综合指数和各项指数均采用无加权求和法进行指标聚合，公式如下：

$$V_{PSR} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n Z_{ij} \quad (1)$$

式中： V_{PSR} 为乡村人居环境脆弱性指数，包括综合指数 V 、压力指数 V_P 、状态指数 V_S 、响应指数 V_R ； Z_{ij} 为标准化数值。

1.3.3 全局空间自相关分析

全局空间自相关描述研究对象属性值在整个区域的空间特征，用来衡量乡村人居环境脆弱性相似地区的集聚程度，空间存在集聚特征是进行地理加权回归建模的必要前提条件^[39]。全局莫兰指数是衡量全局空间自相关的主要方法之一^[40]。

1.3.4 地地理理加加权重回回回归模模型型 (GWR)

本研究基于对乡村人居环境复杂系统的剖析以及 PSR 分析框架的考量，深入解析乡村人居环境脆弱性的时空趋势，湖南省乡村人居环境脆弱性显著下降主要得益于近年来精准扶贫战略和农村人居环境整治措施的实施，使得乡村人居环境响应脆弱性得到缓解、乡村人居环境脆弱性应对能力明显提升。基于此，本研究将湖南省乡村人居环境脆弱性响应指数作为因变量，意在探究自然、经济、区位、环境、人口等因素对其影响的空间分异。选取 2018 年湖南省乡村人居环境响应指数作为因变量，以平均海拔、地形起伏度、人口密度、入河污水排放量、距省会城市距离、农业劳动生产率、人均社会消费品零售总额、农村人均教育文化娱乐支出比重、人均财政支出以及人均固定资产投资等 10 个指标作为解释变量构建模型。

在进行回归分析时常运用传统的线性回归模型即最小二乘法 (OLS) 测度解释变量对被解释变量的影响程度，公式为^[41]：

$$y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j x_{ij} + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中： y_i 为研究区域 i 的观测值； x_{ij} 为第 i 区域中第 j 个变量值； ε_i 为独立分布的随机误差项。

但是 OLS 模型只能对参数进行“平均”或“全局”意义上的估计，需要使用地理加权回归 (GWR) 反映参数在空间上的非平稳性。GWR 模型是对传统线性回归模型的改进，其主要优势是使得变量间的关系能够随着空间位置的变化而变化，反映参数的空间异质性，公式为：

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^p \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (3)$$

式中： y_i 为采样点的因变量值； β_0 为截距； (u_i, v_i) 为采样点的坐标； $\beta_0(u_i, v_i)$ 为采样点的常数项； $\beta_k(u_i, v_i)$ 为采样点的第

i 个自变量的系数； x_{ik} 为采样点的第 i 个自变量； ε_i 为随机误差项。

2 湖南乡村人居环境脆弱性时空格局

运用极差标准化对数据进行预处理，参考公式（1）计算得到各年份湖南省乡村人居环境脆弱性综合指数以及各分指数，进而利用 ArcGIS10.2 将测算结果进行空间可视化表达，采用平均值分区法^[42]将脆弱性指数划分为“低—较低—较高—高”四个等级（图 2~图 5）。

2.1 压力指数

从时间上看，湖南省乡村人居环境系统压力指数（图 2）总体呈下降趋势，指数平均值从 0.3090 下降到 0.2564，乡村人居环境系统遭受的扰动得到一定程度的缓解，但是值得注意的是压力指数下降的幅度偏缓，乡村人居环境系统仍然面对复杂的内外部扰动。2010 年，66.34% 县域的乡村人居环境系统压力指数处于高等级或较高等级，其中高等级的县域有 28 个，呈带状分布在湘西自治州西部、雪峰山以及南岭等周边县域；压力指数处于低等级的县域有 6 个，零星分布在张家界、怀化、永州、郴州等中心城区的周边县域。2014 年湖南省乡村人居环境系统压力指数较 2010 年有所缓解，高等级的县域减少至 9 个，但是乡村人居环境系统压力指数处于较高等级的县域小幅增加，占研究区的 42.57%，成片状集中分布在湖南省的中部、洞庭湖流域以及湘南地区；乡村人居环境系统压力指数低值区有 9 个县域，主要出现在张家界市、湘西自治州的北部、怀化市南部以及湖南省东部几个县域。2018 年，湖南省乡村人居环境系统压力指数进一步下降，高等级的县域消失，低等级和较低等级的县域大幅增加，占研究区的 77.22%，广泛分布在湖南省北部、南部地区；乡村人居环境系统压力指数处于较高等级的县域有 23 个，零星分布在邵阳、娄底和岳阳等地的县域。

从空间上来看，湖南省乡村人居环境系统压力指数总体上呈现“中部高，西北—东南低”的“马蹄形”空间格局特征，等级分布较为分散，2010—2014 年空间差异变化不大，2014—2018 年变异系数由 0.1886 降至 0.1380，空间差异明显缩小。压力指数偏高的县域主要分布在湖南省中部以及洞庭湖流域，研究期内，雪峰山山脉和洞庭湖地区的东北部一直是湖南省乡村人居环境系统压力指数偏高值的分布区，未得到明显缓解，究其原因，主要是由于该地区自然环境基础较为脆弱，耕地面积紧张，复种指数高，农业种植需要施用大量的化肥和农药，造成较为严重的面源污染；压力指数偏低的县域主要分布在湖南省西北部、西南部以及东南部，这些县域大都分布在农业发展基础较好的地区，面对较小的人口压力，人均水资源较为丰富。

2.2 状态指数

从时间上看，湖南省乡村人居环境脆弱性状态指数（图 3）总体呈下降趋势，平均值由 0.7175 降至 0.5840，且 2014—2018 年下降幅度有所上升。2010 年，86.14% 县域的乡村人居环境脆弱性状态指数处于高脆弱性或较高脆弱性，整体脆弱性风险偏高，其中高脆弱性等级的县域有 33 个，成片状集中分布在大湘西和湘南地区；乡村人居环境脆弱性状态指数处于低脆弱性等级的县市有 8 个，集中分布在长株潭城市群周边。2014 年，湖南省乡村人居环境脆弱性状态指数较 2010 年有所缓解，高脆弱性的县域大幅减少，低脆弱性和较低脆弱性等级的县域显著增加，已占据研究区的 47.52%，广泛分布在湖南省东部地区；高等级或较高等级脆弱性的县域有 53 个，呈“C”型包围在环长株潭城市群周边，其中乡村人居环境脆弱性状态指数处于高值区有 6 个县，主要出现在桑植、龙山、古丈以及双牌等县域。2018 年，湖南省乡村人居环境脆弱性状态指数显著下降，高脆弱性等级县域消失，低脆弱性等级县域占研究区的 57.43%，乡村人居环境状态向着优良的态势发展，处于较高等级的（市、区）有 18 个，主要分布在大湘西和湘南几个县域。

从空间上看，湖南省乡村人居环境脆弱性状态指数总体上呈现“西高东低，高值 C 型包围低值”的空间分布特征。状态指数偏高的县域主要分布在大湘西和湘南地区，其中湘西分布较为集中，湘南分布较为分散，这些区域的地势都不甚平坦，自然基底较差，山区水电路的修缮难度较大，基础设施还不够完善，加上山脉的阻挡，与外界的社会经济联系受阻，乡村人居环境脆弱性

状态风险偏高；状态指数偏低的县域以长株潭城市群为中心，圈层式向中西部扩展，增长极地区的辐射带动作用对乡村人居环境建设可能至关重要。

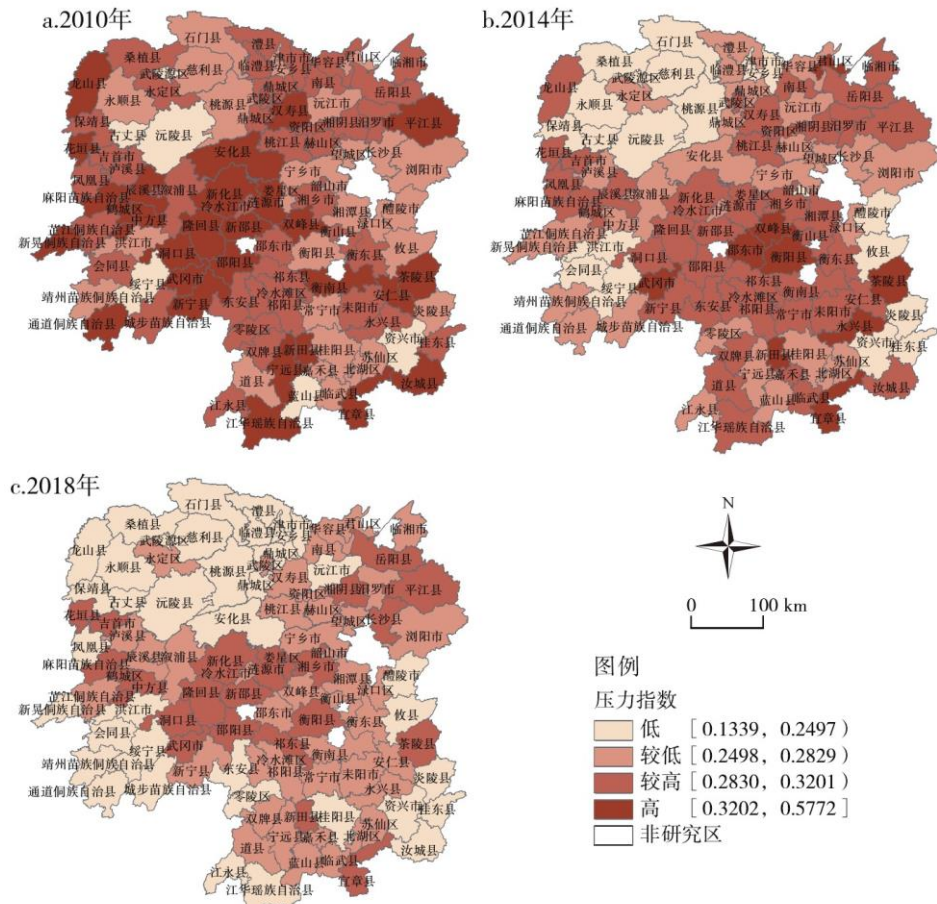


图 2 湖南省乡村人居环境脆弱性压力指数的时空格局

2.3 响应指数

从时间上看，湖南省乡村人居环境脆弱性响应指数（图 4）总体呈显著下降趋势，平均值由 0.8017 降至 0.6386，与压力指数和状态指数相比，响应指数下降幅度最大，乡村人居环境响应机制逐渐完善，应对能力显著提升。2010 年，湖南省乡村人居环境脆弱性响应指数整体较高，只有 5 个市或区处于较低脆弱性等级，其余县域均处于高脆弱性或较高脆弱性，乡村人居环境系统的应对机制很不完善。2014 年湖南省乡村人居环境脆弱性响应指数有所下降，高脆弱性等级的县域骤降至 7 个，较高脆弱性的县域有 57 个，呈带状分布在大湘西地区和洞庭湖流域；低脆弱性和较低脆弱性等级的县域有所增加，总计占研究区的 36.63%。2018 年，湖南省乡村人居环境响应脆弱性得到较大程度的缓解，高脆弱性和较高脆弱性等级的县域几乎消失，低脆弱性和较低脆弱性等级的县域占据研究区的 99%，乡村人居环境脆弱性应对能力提升明显，这也是湖南省乡村人居环境综合脆弱性得到缓解的关键原因。处于较低脆弱性等级的县域主要分布在大湘西的雪峰山脉一带以及洞庭湖流域。

从空间上看，湖南省乡村人居环境脆弱性响应指数总体上呈现“西高东低，带状分布”的空间格局特征。指数偏高的区域主要分布在大湘西的西部、雪峰山脉以及洞庭湖流域，究其原因，这些地区的区位条件较差，教育和医疗卫生条件落后，水土流失综合治理困难等多重原因导致人居环境脆弱性响应机制滞缓。指数偏低的区域主要分布在湖南省的东部以及怀化北部、张家

界、常德以及湘南地区。

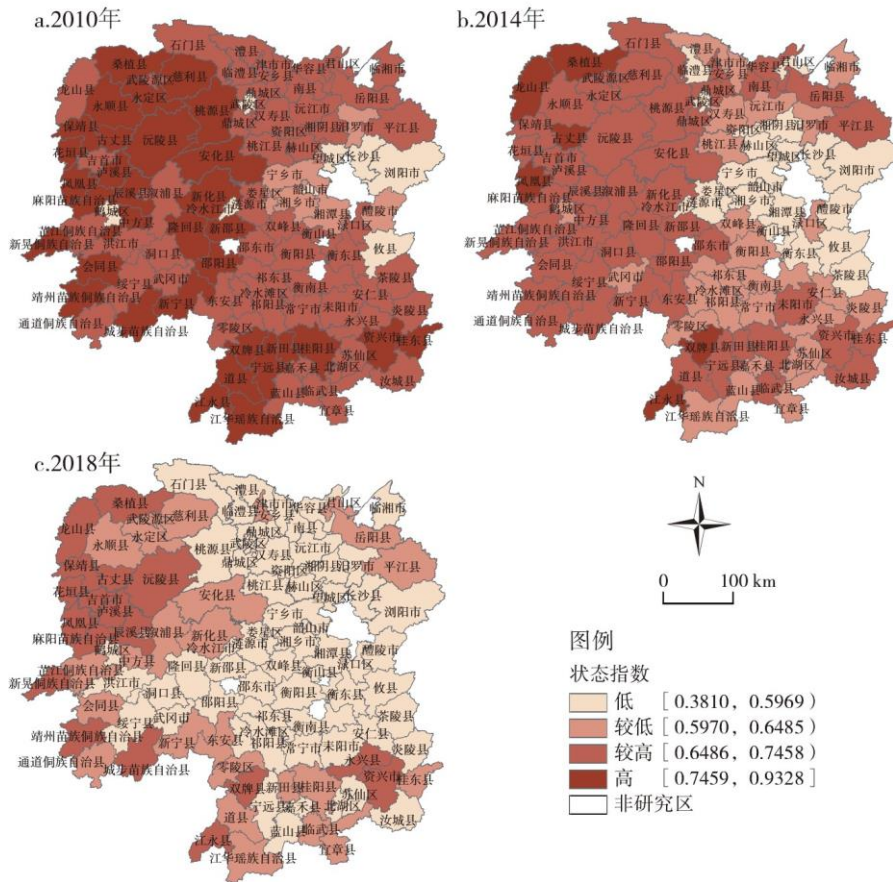


图 3 湖南省乡村人居环境脆弱性状态指数的时空格局

2.4 脆弱性综合指数

从时间上看，湖南省乡村人居环境脆弱性综合指数（图 5）总体呈明显下降趋势，平均值由 0.6094 降至 0.4930。2010 年，湖南省乡村人居环境脆弱性整体较高，92.08%的县域处于高脆弱性或较高脆弱性，其中乡村人居环境高脆弱性的有 53 个，成片集中分布在湘西的大部分地区以及零星分布在湘南地区；乡村人居环境低脆弱性或较低脆弱性的县域只有 8 个，集中分布在环长株潭城市群地区。2014 年，湖南省乡村人居环境脆弱性较 2010 年有所下降，高脆弱性的县域大幅减少，仅有 6 个县域处于高脆弱性等级，分布比较分散，主要出现在麻阳县、新宁县、邵阳县等地；低脆弱性和较低脆弱性的县域占研究区的 49.5%，成片分布在长株潭、张家界、常德以及零星分布于湘南部分县域。2018 年，在精准扶贫和农村人居环境整治等政策实施背景下，湖南省乡村人居环境脆弱性较 2010 年显著下降，全部县域处于低脆弱性或较低脆弱性，乡村人居环境得到明显改善，除湘西的大部分地区和洞庭湖地区北部以及湘南的几个县域外，61.39%县域的乡村人居环境脆弱性都处于低等级，脆弱性风险大幅降低。

从空间上看，湖南省乡村人居环境脆弱性呈“西高东低”的空间分布格局，变异系数由 2010 年的 0.0694 降至 2018 年的 0.0574，总体空间差异逐渐缩小，等级分布呈现明显的俱乐部趋同。脆弱性偏高的县域主要是大湘西地区以及洞庭湖流域和湘南的部分县域，尤其是大湘西地区的乡村人居环境呈现连片的偏高分布，该区域位于武陵山和雪峰山山脉一带，自然环境脆弱、经济发展水平薄弱，受地形、资源、区位和社会经济的多重制约，脆弱性响应机制滞后，乡村人居环境脆弱性风险高。脆弱性偏低

的县域主要分布在环长株潭城市群以及各市州中心城市周边，综合发展水平较高，易受到增长极地区“溢出效应”的影响，乡村人居环境系统遭受的扰动较小，应对能力较好，乡村人居环境脆弱性较低。

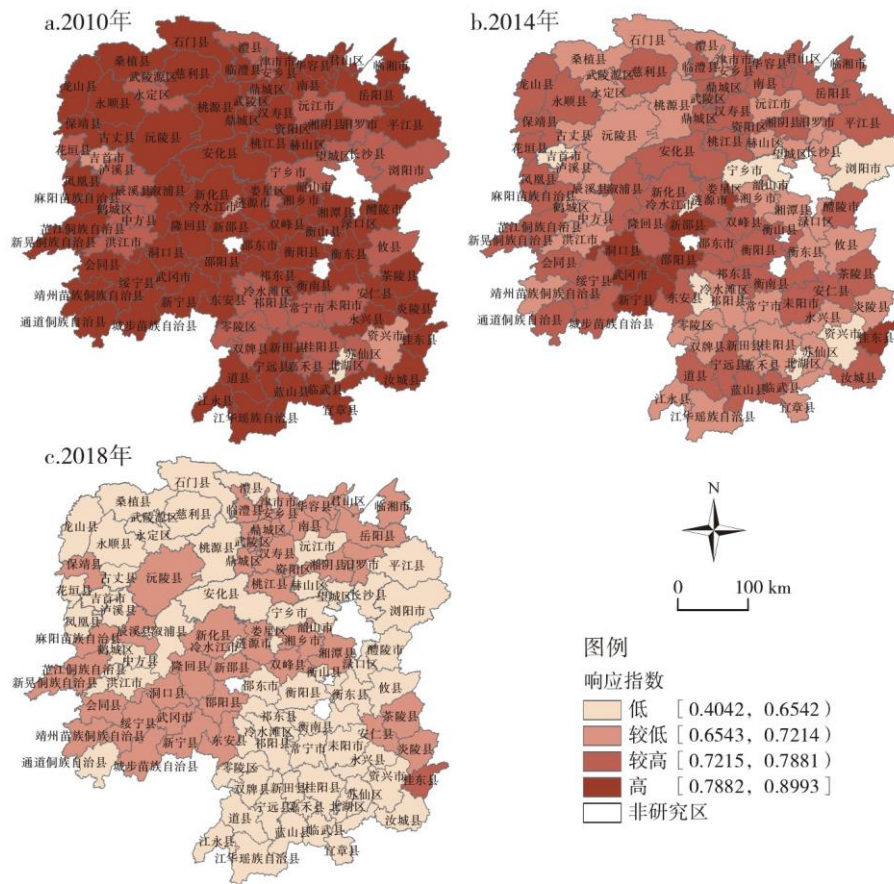


图 4 湖南省乡村人居环境脆弱性响应指数的时空格局

3 乡村人居环境脆弱性响应指数的影响因素

3.1 全局空间自相关检验

在进行 GWR 建模分析影响因素之前，利用 GeoDa 软件对湖南省乡村人居环境脆弱性响应指数进行空间自相关分析，判断是否具有空间集聚性。检验得到湖南省乡村人居环境脆弱性响应指数的 Moran' sI 及其显著性，结果显示 Moran' sI 为 0.2226，显著为正，检验结果显著，表明湖南省乡村人居环境脆弱性响应指数在县域空间尺度上存在明显的集聚特征。

3.2 影响因素的空间异质性分析

通过 OLS 模型将上述 10 个影响因素进行组合检验，方差膨胀因子 (VIF) 常被用于评估局部多重共线性，VIF>7.5 表示解释变量存在冗余。在此检验结果中，各解释变量的 VIF 均小于 7.5，表明方程变量设置合理。农业劳动生产率和农村人均教育文化娱乐支出比重等 2 个因子在统计学上不具有显著性，予以剔除。最终采用平均海拔、地形起伏度、人口密度、入河污水排放量、距省会城市距离、人均社会消费品零售总额、人均财政支出以及人均固定资产投资等 8 个因子作为湖南省乡村人居环境脆弱性响应指数的影响因素，进一步通过 GWR 模型分析各因子的空间作用差异。

通过对比分析，GWR 模型 R^2 值为 0.7113，优于 OLS 模型 (0.5977)，标准化残差值在 [-4.29, 2.25] 之间，其中 98% 的值在 [-2.5, 2.5] 之间，条件数为 18.6564~29.9941，模型通过多重共线性诊断。除此之外，GWR 模型的赤池信息准则 (AICc) 与 OLS 相比也有所下降，Fotheringham 等学者认为，GWR 与 OLS 相比，AICc 下降 3 以上则表明 GWR 模型的效果较好^[43]，且 GWR 模型显示了每一个空间单元的回归系数，表明影响因素作用的强度存在空间异质性，进一步反映 GWR 模型的合理性。运用 ArcGIS10.2 软件对各影响因子的回归系数进行空间表达，并利用自然间断点法对其进行分级，明确地表示出各因子在局部地理空间上的作用分异。

结果表明，各因子的影响性质和强度存在明显的空间差异。首先从回归系数绝对值的平均值大小来看，对乡村人居环境脆弱性响应指数影响强度的排名从高到低依次是自然因素、经济因素、人口因素、环境因素以及区位因素。其次，从各因子回归系数的正负来看，平均海拔和人口密度与乡村人居环境脆弱性响应指数呈现正相关关系，其余各指标均呈现负相关关系 (图略)。

自然因素对乡村人居环境脆弱性的应对能力起到主导作用。平均海拔与乡村人居环境脆弱性响应指数呈正相关关系，作用系数在空间上呈“由西南向周围递减”的空间分异规律，在雪峰山山脉周围该因子的作用系数最大，该地区平均海拔高，基础设施建设难度大，平均海拔较大程度上阻碍了乡村人居环境脆弱性响应机制的完善。地形起伏度的回归系数呈现“由东南向西北递减”的空间分布特征，湖南省山地丘陵广布，地形起伏度较大的地区其乡村人居环境的响应机制并不一定落后，表明该区域存在相对平坦的地势，适宜人居。人均财政支出的回归系数在空间上呈现“东北高、西南和东南低”的分布特征。

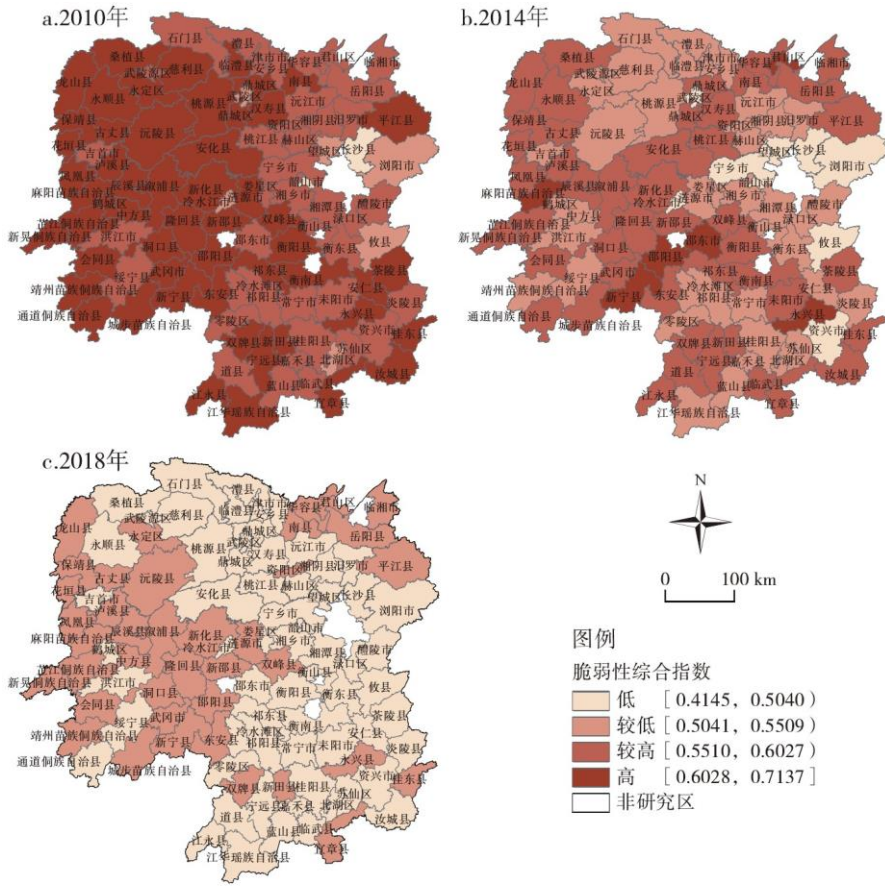


图 5 湖南省乡村人居环境脆弱性综合指数的时空格局

经济因素是影响乡村人居环境脆弱性响应指数的关键因素。人均社会消费品零售总额是第二大作用因子，回归系数在空间

上呈现“东高西低”的分布特征，乡村居民消费能力的提升对于促进乡村产业结构升级转型、完善乡村市场流通网络以及淘宝村等数字乡村的建设都具有明显的积极作用。乡村人居环境脆弱性应对能力的提升过程中，政府调控至关重要，从政策的制定到整治措施的落实，在不断投入资金的同时还要层层把关，确保质量，同时积极调动农户参与乡村人居环境建设的主体意识和内生动力，让村民亲身感受村庄整治的变化和幸福。人均固定资产投资的增加对乡村人居环境脆弱性响应指数的下降具有促进作用，作用系数“由西北、东南向中部递减”，投资建设在为乡村居民带来就业机会和工资收入的同时，对于完善乡村基础设施、引进先进技术和文化交流也具有重要作用。

人口、环境和区位因素在乡村人居环境脆弱性响应机制中起到重要作用。人口密度的回归系数在空间上呈现“西南高、东北低”的空间特征，人口越集中，乡村人居环境脆弱性响应指数越高，乡村人口集聚会给乡村人居环境整治带来负担，促进城乡人口流动，实现城乡人口融合是实现乡村人居环境可持续发展的可行路径。入河污水排放量的回归系数均为负值，在空间上呈现“西高东低”的空间分异规律。污水排放与当地的生产生活紧密相关，活动频繁易导致污水排放量增加，一视同仁地追求低污水排放可能会限制生产生活活动，反而不利于乡村人居环境脆弱性应对能力的提升。距省会城市距离对乡村人居环境脆弱性响应指数的作用程度最小，回归系数在空间上呈现“由东北、西南向中部递减”的分布特征，注重区域极点中心的发展、培育特色小镇、着力改善县域中心地区的人居环境是降低乡村人居环境脆弱性、实现其可持续发展的重要途径。该因子与乡村人居环境脆弱性响应指数呈现负相关关系，尤其是在距省会城市较近的株洲、郴州和衡阳的部分县域，作用系数的绝对值较大，表明在区域在受到省会城市辐射带动作用的同时，可能受到“虹吸效应”的影响，加速要素资源外流，不利于自身乡村人居环境脆弱性应对机制的完善。

4 结论与讨论

以湖南省 101 个县域为研究单元，采用指标聚合、探索性空间数据分析以及地理加权回归等方法探讨了湖南省乡村人居环境脆弱性及响应指数的影响因素，主要结论如下：

①湖南省乡村人居环境脆弱性存在时空差异性。时间序列上，2010—2018 年湖南省乡村人居环境脆弱性压力—状态—响应指数以及综合指数均呈现不同程度的下降趋势，乡村人居环境得到明显改善，其中压力指数下降趋势最小，响应指数的下降趋势最大，是湖南省乡村人居环境脆弱性综合指数下降的主要原因。空间分布上，脆弱性较高的县域主要分布在大湘西地区、洞庭湖流域以及湘南的部分县域，其中压力指数的空间分布较为分散，雪峰山山脉一带和洞庭湖流域一直面临着较大压力；脆弱性低值区主要出现在湖南省东部尤其是环长株潭城市群周边县域，其中压力指数在湖南省西北出现低值区。

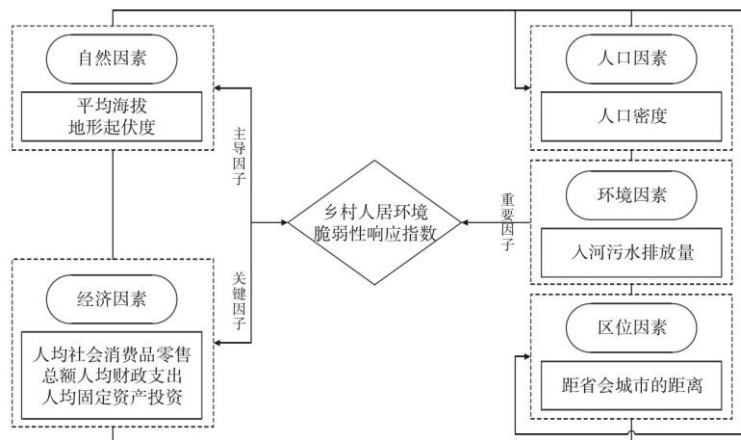


图 6 乡村人居环境脆弱性响应指数影响机制图

②湖南省乡村人居环境脆弱性响应机制受到多种因素的综合作用，各因子的作用程度存在空间分异。自然因素是乡村人居环境脆弱性响应指数的主导因素，主要体现在平均海拔、地形起伏度等方面；经济因素是乡村人居环境脆弱性响应指数的关键因素，包括人均社会消费品零售总额、人均财政支出和人均固定资产投资等方面。人口、环境和区位因素也起到重要作用。平均海拔和人口密度与乡村人居环境脆弱性响应指数呈现正相关关系，人均社会消费品零售总额、地形起伏度、人均财政支出、人均固定资产投资、入河污水排放量和距离省会城市距离等因子呈现负相关关系。

③城市繁荣和乡村振兴是实现城乡融合的共同目标，乡村人居环境建设是乡村振兴的重要内容。振兴乡村，要把乡村人居环境的可持续发展放在突出位置，重视自然条件对人居环境的限制作用，科学推进易地搬迁；用乡村产业振兴带动经济振兴，挖掘本土特色资源加以利用，吸引人才返乡创业，为农村人居环境整治提升工作夯实物质基础；充分利用政府宏观调控作用，优化资金结构，确保人居环境整治措施落实落地；全面调动村民的主动性与积极性，完善内部监督机制，形成人居环境整治、巩固并重的长效管理机制。

④本文初步揭示了湖南省乡村人居环境脆弱性时空格局特征、探寻脆弱性响应指数的影响因素及其空间作用差异格局，对认识湖南省乡村人居环境脆弱性的空间分布和变化、促进乡村人居环境脆弱性应对能力、实现可持续发展具有指导作用，未来，需进一步深化长时序空间格局演化及形成机理研究。但是由于县域尺度数据获取的局限性，自然灾害、厕所革命、农村生活垃圾和污水处理以及政策因素等暂未纳入指标体系。在实施乡村振兴战略和农村人居环境整治提升五年行动的背景下，建议将相关指标列入中国乡村社会经济统计指标体系，为完善乡村人居环境脆弱性评估、加强乡村振兴状态监测等提供基础数据支撑。

参考文献:

- [1]杜岩,李世泰,秦伟山,等.基于乡村振兴战略的乡村人居环境质量评价与优化研究[J].中国农业资源与区划,2021,42(1):248-255.
- [2]刘彦随,严镜,王艳飞.新时期中国城乡发展的主要问题与转型对策[J].经济地理,2016,36(7):1-8.
- [3]Liu Yansui,Li Yuheng.Revitalize the world's countryside[J].Nature,2017,548(7667):275-277.
- [4]王成,李颖颖,何焱洲,等.重庆直辖以来乡村人居环境可持续发展力及其时空分异研究[J].地理科学进展,2019,38(4):556-566.
- [5]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.
- [6]Doxiadis C A.Ekistics:An Introduction to the Science of Human Settlements[M].Athens:Athens Publishing Center,1968.
- [7]吴良镛.人居环境科学导论[M].北京:中国建筑工业出版社,2001.
- [8]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.
- [9]Farokh A.Balancing global city with global village[J].Habitat International,1998,22(4):375-387.
- [10]Dahms F.Settlement evolution in the arena society in the urban field[J].Journal of Rural Studies,1998,14(2):299-320.

-
- [11]Keyder C.Paths of rural transformation in Turkey[J].The Journal of Peasant Studies,1983,11(1):34-49.
- [12]蔡超,夏睿智,韩峰,等.皖北农村人居环境建设现状调查与特征分析[J].中国人口·资源与环境,2018,28(S1):86-89.
- [13]王永生,刘彦随.中国乡村生态环境污染现状及重构策略[J].地理科学进展,2018,37(5):710-717.
- [14]孙前路,房可欣,刘天平.社会规范、社会监督对农村人居环境整治参与意愿与行为的影响——基于广义连续比模型的实证分析[J].资源科学,2020,42(12):2354-2369.
- [15]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.
- [16]李伯华,刘沛林,窦银娣.乡村人居环境系统的自组织演化机理研究[J].经济地理,2014,34(9):130-136.
- [17]杨晴青,高岩辉,杨新军,等.黄土高原半干旱区微尺度乡村人居环境系统脆弱性测度及时空分异——以陕西省佳县为例[J].干旱区地理,2020,43(5):1371-1381.
- [18]周国华,贺艳华,唐承丽,等.论新时期农村聚居模式研究[J].地理科学进展,2010,29(2):186-192.
- [19]陈永林,谢炳庚.江南丘陵区乡村聚落空间演化及重构——以赣南地区为例[J].地理研究,2016,35(1):184-194.
- [20]李伯华,郑始年,窦银娣,等.“双修”视角下传统村落人居环境转型发展模式研究——以湖南省2个典型村为例[J].地理科学进展,2019,38(9):1412-1423.
- [21]杨兴柱,王群.皖南旅游区乡村人居环境质量评价及影响分析[J].地理学报,2013,68(6):851-867.
- [22]张春梅,李雪铭.辽宁省老年宜居社区人居环境评价[J].地理科学,2021,41(1):92-99.
- [23]曾菊新,杨晴青,刘亚晶,等.国家重点生态功能区乡村人居环境演变及影响机制——以湖北省利川市为例[J].人文地理,2016,31(1):81-88.
- [24]Janssen M A,Schoon M L,Ke W M,et al.Scholarly networks on resilience,vulnerability and adaptation within the human dimensions of global environmental change[J].Global Environmental Change,2006,16(3):240-252.
- [25]冯琰玮,甄江红,田桐羽,等.呼和浩特市人居环境脆弱性演变及机制[J].经济地理,2020,40(12):91-99.
- [26]Cutter S L.The vulnerability of science and the science of vulnerability[J].Annals of the Association of American Geographers,2003,93(1):1-12.
- [27]李鹤,张平宇,程叶青.脆弱性的概念及其评价方法[J].地理科学进展,2008(2):18-25.
- [28]Ian B.The Environment as Hazard[M].New York:Guilford Press,1993.

-
- [29] Wisner B. At Risk: Natural Hazards, People's Vulnerability and Disasters [M]. London: Psychology Press, 2004.
- [30] Polsky C, Neff R, Yarnal B. Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram [J]. *Global Environmental Change*, 2007, 17(34): 472-485.
- [31] Frazier T G, Thompson C M, Dezzani R J. A framework for the development of the SERV model: A spatially explicit resilience-vulnerability model [J]. *Applied Geography*, 2014, 51: 158-172.
- [32] 杨新军, 张慧, 王子侨. 基于情景分析的西北农村社会-生态系统脆弱性研究——以榆中县中连川乡为例 [J]. *地理科学*, 2015, 35(8): 952-959.
- [33] 程钰, 任建兰, 徐成龙. 资源衰退型城市人地系统脆弱性评估——以山东枣庄市为例 [J]. *经济地理*, 2015, 35(3): 87-93.
- [34] 鲁大铭, 石育中, 李文龙, 等. 西北地区县域脆弱性时空格局演变 [J]. *地理科学进展*, 2017, 36(4): 404-415.
- [35] 吕添贵, 孔安妮, 汪立. 基于 PSR 模型的生态文明示范区生态安全评价及其障碍诊断 [J]. *水土保持研究*, 2021, 28(2): 343-350.
- [36] 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.
- [37] 王成, 何焱洲. 重庆市乡村生产空间系统脆弱性时空分异与差异化调控 [J]. *地理学报*, 2020, 75(8): 1680-1698.
- [38] Angeon V, Bates S. Reviewing composite vulnerability and resilience indexes: A sustainable approach and application [J]. *World Development*, 2015, 72: 140-162.
- [39] 周晓艳, 宋祯利, 宋亚男, 等. 基于地理加权回归模型的长江中游地区人均耕地面积变化影响因素分析 [J]. *水土保持通报*, 2016, 36(1): 136-142, 150.
- [40] 马晓熠, 裴韬. 基于探索性空间数据分析方法的北京市区域经济差异 [J]. *地理科学进展*, 2010, 29(12): 1555-1561.
- [41] 杨晴青, 刘倩, 尹莎, 等. 秦巴山区乡村交通环境脆弱性及影响因素——以陕西省洛南县为例 [J]. *地理学报*, 2019, 74(6): 1236-1251.
- [42] 唐宁, 王成, 杜相佐. 重庆市乡村人居环境质量评价及其差异化优化调控 [J]. *经济地理*, 2018, 38(1): 160-165, 173.
- [43] Brunson C, Fotheringham A S, Charlton M E. Geographically Weighted Regression: A method for exploring spatial nonstationarity [J]. *Geographical Analysis*, 2010, 28(4): 281-298.