

生态脆弱区乡村聚落时空格局演化特征与影响因素研究

刘愿理^{1,2}, 姚焱¹, 汪蕊¹, 许亚茜¹

(1. 重庆工商大学工商管理学院, 重庆 400067; 2. 西南大学精准扶贫与区域发展研究中心, 重庆 400715)

摘要: 乡村聚落是乡村振兴战略实施的基本空间单元, 而生态脆弱区的乡村聚落更是实现区域生态经济协调高质量发展和扎实推进共同富裕的薄弱环节。因此, 该研究聚焦生态脆弱区, 选取贵州省天柱县为研究区域, 运用平均最近指数、景观格局指数法和最优参数地理探测器等模型, 基于“规模-空间-形态”研究思路剖析 2012—2022 年生态脆弱区乡村聚落时空格局特征演化、影响因素及其动态变化。结果表明: 1) 生态脆弱区乡村聚落规模格局呈现先增后降趋势, 主要以微型聚落和小型聚落为主, 但平均规模高于全国水平, 乡村聚落规模逐渐从量的增加转向质的提升; 2) 生态脆弱区乡村聚落空间格局演化存在显著自相关, 空间集聚程度逐渐提升, 且布局呈现“四周向中间核心集聚”的趋势, 即研究区中部和南部地区形成了两个较大的集聚区和多个较小的集聚区; 3) 生态脆弱区乡村聚落具有明显分形特征, 形态指数演化呈现先升后降的趋势, 但整体上增长, 且阶段性变化特征明显, 形态特征更趋简单; 4) 生态脆弱区乡村聚落“规模-空间-形态”格局演化影响因素各具特色, 总体上呈现自然条件向社会经济、政策制度转变的趋势, 其中易地扶贫搬迁点、交通可达性、村镇规划和距城镇中心距离是乡村聚落时空演化的主要因素, 尤其是易地扶贫搬迁点和村镇规划属于持续增强型。最后, 该研究针对性地提出了加强国土空间规划、生态保护、优化乡村聚落空间格局和便于农户生产生活等建议。

关键词: 乡村聚落; 时空格局; 生态脆弱区; 影响因素

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202406155

中图分类号: F301.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2024)-20-0219-11

刘愿理, 姚焱, 汪蕊, 等. 生态脆弱区乡村聚落时空格局演化特征与影响因素研究[J]. 农业工程学报, 2024, 40(20): 219-229. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202406155 <http://www.tcsae.org>

LIU Yuanli, YAO Yan, WANG Rui, et al. Evolutionary characteristics and influencing factors of the spatial and temporal patterns of rural settlements in ecologically fragile areas[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2024, 40(20): 219-229. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.202406155 <http://www.tcsae.org>

0 引言

乡村聚落作为乡村居民生产和生活的重要载体, 是自然禀赋、经济水平、社会条件和生态环境等乡村要素相互作用形成的居住规模、位置和形态^[1], 属于乡村地域系统重要组成部分^[2], 其时空演化规律一直广受关注^[3]。中国生态脆弱区系统结构脆弱, 自然灾害频发, 抗干扰能力较差, 人口流失严重, 加之快速城镇化进程导致该区域人口、资金、技术等单方面流向城市, 乡村地域系统发生较大变化^[4-5]。同时, 乡村聚落时空格局演化能够反映区域内“自然-经济-社会-生态”等复合要素系统内在逻辑与相互作用, 体现了人居环境协调和人地关系演化规律, 有利于优化和重构乡村地域系统。因此, 科学分析生态脆弱区乡村聚落时空格局演化特征, 探究影响因素及其动态变化, 在实现区域生态经济协调高质量发展和乡村全面振兴中具有重要的理论和实践意义。

乡村聚落作为乡村振兴战略实施的基本空间单元, 一直以来都是学术界关注的焦点和重点^[6]。19 世纪, 国外学者开始探究乡村聚落与自然地理环境的关系, 奠定了乡村聚落研究的理论基础^[7]。随后, 学者们先后对乡村聚落的概念、模式等开展研究, 并经历了从定性分析探讨到以定量分析为主导的发展历程^[8-9]。同时, 中国乡村聚落在历史发展进程中逐渐形成了鲜明的地域特色, 其研究主要集中在内涵特征、空间分布、类型划分、影响因素分析等方面^[10-12]。具体而言, 从乡村聚落内涵来看, 学者们主要从相关主体、从事活动与形成的结果厘定了内涵^[13], 如农村居民在一定范围内从事农业生产而形成的集中居住行为与现象^[14], 是社会经济、历史文化与地理环境交织的结果^[15], 有利于推动城乡融合发展^[16]; 从空间分布与类型来看, 学者们以乡村聚落斑块为研究对象, 分别从乡村聚落空间位置、形态特征、规模结构等视角探究了乡村聚落空间格局特征, 通过实证深入分析空间格局演变机理^[17-19], 基于空间分异特征对其进行了分类及地域特征的描述^[20], 并提出了乡村聚落优化重组的地域模式^[21]; 从影响因素来看, 学者们形成了较为统一的意见, 主要从自然禀赋、社会经济、区位条件、政策制度等维度选取高程、坡度、GDP 和行政中心等因子探究乡村聚落空间格局的影响因素^[22-23]。同时, 个别

收稿日期: 2024-06-21 修订日期: 2024-08-29

基金项目: 重庆市自然科学基金项目 (批准号: CSTB2022NSCQ-MSX0464); 重庆市教育科学规划项目 (批准号: K23YD2080071); 重庆市教委人文社科项目 (批准号: 22SKGH216)

作者简介: 刘愿理, 博士, 副教授, 研究方向为区域经济与农村减贫。
Email: 402952363@qq.com

学者尝试性地从不同学科对乡村聚落进行了研究,如李久林等^[24]基于社会-生态视角评价了乡村聚落脆弱性,YANG等^[25]从韧性视角提出优化策略,刘荣萍^[26]分析了易地扶贫搬迁驱动乡村聚落时空演化规律,杨阳等^[27]基于人文地理学探究了乡村聚落景观流派研究进展。学术界关于乡村聚落研究方法较多,主要涉及GIS分析技术^[28]、时空地理加权回归模型^[29]、最近邻比率、核密度^[30]、重心迁移模型等^[31]。

综上所述,国内外学者关于乡村聚落的研究成果丰硕,主要是从不同视角探究省域、市域和县域等尺度的乡村聚集空间格局特征及其影响因素,推动了国土空间优化布局 and 乡村全面振兴。但是,现有研究仍然存在一些拓展空间:一是学术界关于生态脆弱区乡村聚落时空格局研究较少,对于实现特定区域生态经济协调发展的学术贡献和实践经验仍有提升空间;二是现有研究主要集中在剖析乡村聚落空间格局特征及其影响因素,从时间序列探究特定区域乡村聚落影响因素及其动态分析相对较少;三是现有研究视角有待拓展,主要集中在单一的空间布局、规模结构等方面,针对微观尺度下的多视角、多层次研究有待进一步加强。基于此,本文聚焦生态脆弱区,以乡村聚落斑块和行政村为研究对象,从空间位置、规模结构和形态特征多视角系统分析2012—2022年乡村聚落时空格局特征及其演化,并基于最优参数地理探测器揭示时空格局特征的影响因素及其动态变化,以期生态脆弱区乡村聚落高质量发展和实现乡村全面振兴提供参考依据。

1 研究区与数据来源

1.1 研究区概况

天柱县隶属,贵州省黔东南苗族侗族自治州,位于东经108°55′~109°36′,北纬26°42′~27°10′之间,沅江上游清水江畔,地处云贵高原东部向湘西丘陵过渡的斜坡地带。地形复杂,主要以中低山丘为主,山地丘陵面积占天柱县总面积的97%。县域内海拔集中在300~700 m,年均气温17.1℃。全县下辖3街道11镇2乡117个行政村,2022年全县户籍人口41.98万人,其中少数民族人口占总人口的98.20%,是中国典型的少数民族地区。天柱县地处滇桂黔石漠化核心区,自然条件恶劣,碳酸盐类岩石分布广,石漠化面积大,是全国石漠化问题最严重的地区,属于典型的生态脆弱区。该地区交通、水利、通讯等基础设施相对落后,生产生活条件差,产业结构单一,区域发展不平衡,乡村聚落规模结构、空间格局和形态特征等发展滞后。同时,该地区属于贵州省38个万人以上大型集中安置点之一,是探究易地扶贫搬迁政策对乡村聚落影响的典型代表。因此,本文选择天柱县为生态脆弱区的代表,具有较强的典型性和合理性。

1.2 数据来源

数据来源主要有:1) 矢量数据:主要包括土地利用变更数据(2012、2017和2022年),10 m×10 m精度的数字高程模型,来源于天柱县自然资源局。2) 统计数

据:主要包括《天柱县统计年鉴》(2013—2023年),各乡镇2012、2017和2022年农村经济情况报表,来源于县统计局和农业农村局。3) 社会调查数据:主要包括117个行政村的问卷数据,涉及人口、面积、交通状况等基本情况和GDP、自然灾害等社会经济发展状况,由课题组于2018年11—12月和2023年2月先后前往研究区开展问卷调查获取,问卷由村干部或驻村干部填写,发放问卷117份,有效问卷117份,有效问卷达到100%。所有数据是根据原始数据处理获取,均经过粗差剔除和地理校正。

2 研究方法

2.1 平均最邻近指数

平均最邻近指数是根据每一乡村聚落斑块的质心与其最邻近斑块质心之间的平均距离得出,用于判断乡村聚落空间分布模式的最常用的方法之一,其值介于-1到1之间,越接近1说明空间分布越离散,反之亦然^[32]。

$$ANN = \frac{y_\alpha}{y_\beta} = \frac{\sum \frac{d_{min}}{n}}{\frac{\sqrt{n/A}}{2}} = \frac{2\sqrt{\rho}}{n} \sum d_{min} \quad (1)$$

式中ANN表示平均最邻近指数; y_α 为乡村聚落最邻近平均距离,km; y_β 为乡村聚落空间随机分布的理论平均距离,km; d_{min} 为某一乡村聚落与最近乡村聚落的距离,km; n 为乡村聚落数量,个; A 为总面积,km²; ρ 表示空间分布密度,个/km²。

2.2 景观格局指数法

本文借鉴已有研究^[33],选取斑块数量、斑块密度、斑块面积、平均斑块面积和景观形状指数5个指标进行测算,以揭示生态脆弱区乡村聚落的规模、形态等特征。

2.3 核密度估计

核密度估计作为一种非参数估计方法,优势是不需要进行任何参数模型假设,函数形式可以任意设定,直接利用样本估计概率密度函数,刻画随机变量的整体分布形态,为确定回归函数的表达式提供了一种分析工具^[34]。因此,本文运用核密度估计展示乡村聚落空间格局情况,具体计算式如下:

$$f_h(x) = \frac{1}{nh_n} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x-x_i}{h_n}\right) \quad (2)$$

式中 h_n 为窗宽; $K(*)$ 为核密度函数; $x-x_i$ 表示一个地理斑块 x_i 到 x 的距离,m。核密度估计方法较多,主要有Gaussian核、三角核、四次核、Epanechnikov等类。本文运用的是Gaussian核函数,它具有提供多样决策边界和仅需一个参数的优势,其表达式为

$$\text{Gaussian} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}t^2} \quad (3)$$

2.4 最优参数地理探测器模型

地理探测器打破传统回归分析方法的局限,无需设置过多假设条件,广泛应用于社会经济和自然环境等影

响因素研究^[35]。同时，其离散化分类效果取决于地理探测器的 q 统计量确定。因此，本文借鉴已有研究^[36,37]，通过相等间隔分类、几何间隔分类、标准差分类、自然断点分类和分位数分类 5 种不同方法确定分类等级数，筛选 q 值最大的分类标准作为地理探测器分析的参数^[37]。具体计算式如下：

$$q = 1 - \frac{1}{n\sigma^2} \sum_{c=1}^L n_c \sigma_c^2$$

(4)

式中 n_h 为研究区乡村聚落时空特征维度类型 c 的样本数； n 为在整个研究区所有样本数； σ^2 为整个区域的离散方差。同时，结合已有研究^[38]，运用影响因素动态变化模型测算变化度及类型。

3 结果与分析

3.1 生态脆弱区乡村聚落时空格局演化特征分析

3.1.1 生态脆弱区乡村聚落规模格局演化过程分析

研究结果（表 1）显示，研究区 2012—2022 年乡村聚落平均规模介于 0.552~0.563 km² 之间，平均值明显高于全国平均水平（0.17 km²）^[12]，其中 2017 年略高于

2012 和 2022 年，呈现先增后降的特征。同时，借鉴已有研究成果和结合研究区基本情况^[20]，运用景观格局指数和 ArcGIS10.8 软件，将研究区乡村聚落规模划分为 5 个等级，即微型聚落 I 级 < 0.1 hm²、小型聚落 II 级 0.1~0.5 hm²、中型聚落 III 级 0.5~1.0 hm²、大型聚落 IV 级 1.0~5.0 hm² 和特大型聚落 V 级 > 5.0 hm²。由表 1 可以看出，2012—2022 年乡村聚落规模主要是以 I 级和 II 级为主，其中 2012 年 I、II 级乡村聚落斑块数量占总量的 75.03%，2017 年和 2022 年该类型数量占比分别达到了 74.80% 和 75.13%，而 V 级的乡村聚落占比较少，2012、2017 和 2022 年仅有 0.83%、0.88% 和 0.94%，说明研究区乡村聚落规模较小，主要以微型聚落和小型聚落为主，源于该地区属于少数民族集聚地，乡村聚落具有传统村落和民族风情特征，小而分散。同时，较大的乡村聚落布局在易地扶贫安置点，主要源于精准扶贫以来，研究区坚持把易地扶贫搬迁作为“当头炮”，成立联山易地扶贫搬迁安置点，建成安置房 47 栋 4 785 套，分 3 批次完成搬迁 5 003 户，增加了乡村聚落面积，且影响了乡村聚落空间格局演化。

表 1 研究区 2012、2017 和 2022 年乡村聚落景观格局指数
Table 1 Landscape pattern index of rural settlements in the study area in 2012, 2017 and 2022

| 年份 Year | 斑块数量 Patch numbers | | | | | | 斑块密度 Patch density (个·hm ⁻²) | 斑块总面积 Total patch area/hm ² | 平均斑块面积 Mean patch area/hm ² |
|------------|-----------------------|----------------|------------------|--------------------|------------------|----------------|--|---|---|
| | 总数量 Total number | I 级 Class I | II 级 Class II | III 级 Class III | IV 级 Class IV | V 级 Class V | | | |
| 2012 | 8 766 | 1 796 | 4 781 | 1 160 | 956 | 73 | 0.040 | 4 838.156 | 0.552 |
| 2017 | 9 059 | 1841 | 4 935 | 1 195 | 1 008 | 80 | 0.041 | 5 099.611 | 0.563 |
| 2022 | 9 518 | 2 070 | 5 081 | 1 230 | 1 048 | 89 | 0.044 | 5 321.420 | 0.559 |
| 变化量 | | | | | | | | | |
| 2012—2017 | 293 | 45 | 154 | 35 | 52 | 7 | 0.001 | 261.455 | 0.011 |
| 2017—2022 | 459 | 229 | 146 | 35 | 40 | 9 | 0.003 | 221.809 | -0.004 |

从演化过程来看，研究区第一阶段（2012—2017 年）乡村聚落斑块数量、斑块密度和平均斑块面积略有增加，分别增加了 293 个、0.001 个/hm² 和 0.011 hm²，其中斑块总面积增幅较大，达到了 261.455 hm²，主要是因为斑块数量增加导致的结果。该阶段农村宅基地管理相对滞后，可能与居民建房不拆除旧房（即“建新不拆旧”）有直接关系，调查发现 77.27% 的受访行政村表示存在建新不拆旧现象。研究区第二阶段（2017—2022 年）乡村聚落板块数量较第一阶段快速增长，增加了 459 个，增幅达到 5.07%，该阶段处于脱贫攻坚决战时期，农户安全住房保障至关重要，各级政府为原贫困户修建了保障性安全住房，包括集中安置点建设，但原有房屋并未拆除，导致“一户多宅”现象突出。但是，斑块总面积增速较第一阶段有所放慢，仅为第一阶段增加量的 84.84%，且平均斑块面积略有下降。可见，随着新农村和美丽乡村建设的推进，乡村聚落从量的增加转向了质的提升。

3.1.2 生态脆弱区乡村聚落空间格局演化过程分析

1) 乡村聚落空间自相关分析。为了阐释研究区乡村聚落空间格局规律，本文运用 GeoDa 软件计算 2012—2022 年乡村聚落全局 Moran's I 指数，分析研究区乡村聚

落空间分布关联性及其演化过程。研究结果显示，2012、2017 和 2022 年 Moran's I 指数分别为 0.109、0.152 和 0.189，正态统计量 Z 值分别为 4.753、6.402 和 7.104，该值为正且检验结果显著（Z 值大于 0.01 置信水平的临界值 2.58），置信度为 99%，说明研究区乡村聚落空间分布具有显著正相关性。同时，2012—2022 年全球 Moran's I 指数呈不断增长趋势，2022 年 Moran's I 指数较 2017 和 2012 年分别增长了 24.34% 和 73.39%，说明乡村聚落空间分布集聚性不断增强。

2) 乡村聚落空间格局集聚性演化特征。本文运用最邻近指数法判断研究区乡村聚落空间分布类型，2012、2017 和 2022 年乡村聚落实际最邻近距离值分别为 151.91、147.50 和 140.91，理论最邻近距离值分别为 286.85、296.78 和 290.11，因此最邻近指数分别为 0.530、0.497 和 0.486，其值均小于 1，表明研究区 2012—2022 年乡村聚落在空间分布上呈现凝聚状态，属于凝聚型。同时，本文运用 ArcGIS10.8 软件中的“创建泰森多边形”工具绘制 Voronoi 多边形图，以研究区 2012、2017 和 2022 年乡村聚落图斑中心为发生元，测算变异系数，验证最邻近指数测算结果。结果显示，2012、2017 和 2022 年

乡村聚落图斑数量形成多边形平均面积分别为 50.96、49.65 和 48.62 km²，标准差分别为 42.85、41.46 和 39.46 km²，变异系数分别为 118.93%、119.75% 和 123.21%（均大于 64%），说明空间分布属于集群分布，进一步验证了最邻近指数测算结果。

3) 核密度估计和热点分析。为了进一步讨论研究区乡村聚落空间集聚和分布特征，本文借助 ArcGIS10.8 软件分别绘制乡村聚落核密度分布图和热点分析图（图 1）。核密度估计分析基于边缘平滑的目标，经过多次试验，选取宽带 100 km，依据式（2）计算研究区乡村聚落核密度。

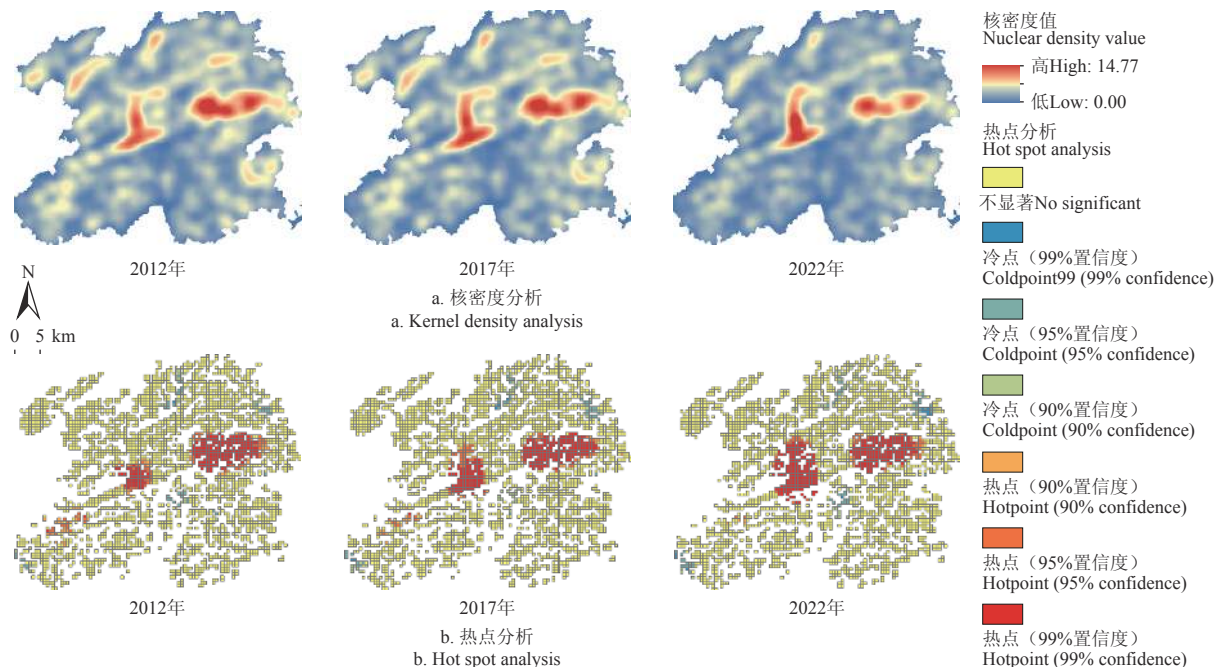


图 1 2012—2022 年乡村聚落空间格局核密度估计和热点分析图

Fig.1 Kernel density estimates and hotspot analysis maps of spatial patterns of rural settlements from 2012 to 2022

研究结果显示，研究区 2012—2022 年乡村聚落空间分布相对集中，主要分布在中部和南部地区，形成了大小不一的集聚区，且较大的两个集聚区不断增强，而周围较小的集聚区逐渐减少，尤其是 2017—2022 年期间较小的集聚区缩减明显，主要源于该阶段易地扶贫搬迁点集中安置，5 000 多户农户集中在一个大型安置点，提高了乡村聚落空间集聚性。研究区 2012—2022 年乡村聚落空间格局呈现组团式发展的演化特征，存在 3 个热点区和 4 个冷点区。具体而言，在中部凤城街道、东北部白石镇和西南部石洞镇形成热点区域。其中，2012—2022

年期间凤城街道组团呈现逐渐壮大的趋势，主要源于该地区为县城所在地；白石镇组团空间格局演化特征不够明显，其热点规模保持不变，但石洞镇组团呈现缩小的趋势。2012—2022 年研究区乡村聚落在西北部、东北部、中部和西南部存在 4 个冷点区域，其演化趋势不够明显。

3.1.3 生态脆弱区乡村聚落形态格局演化过程分析

运用 ArcGIS10.8 软件和形态维数模型，计算研究区每个乡村聚落图斑的面积和周长，绘制 2012—2022 年乡村聚落形态特征图（图 2）和测算乡村聚落形态维数。

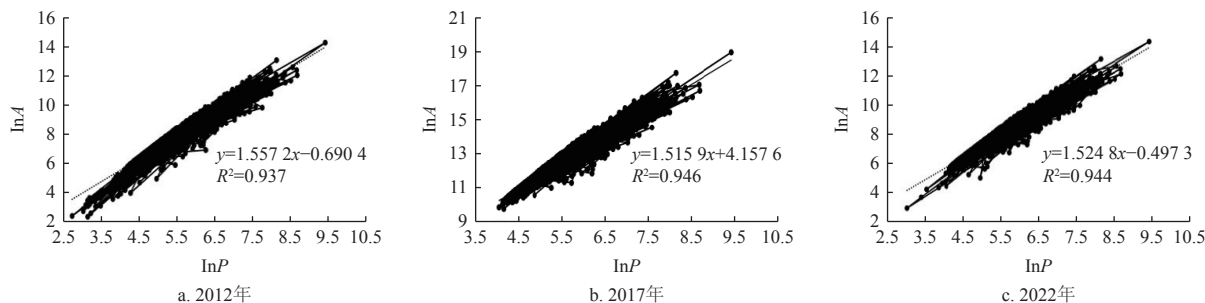


图 2 2012—2022 年乡村聚落形态特征 $P-A$ （面积-周长）关系图

Fig.2 $P-A$ (area-perimeter) relationships for rural settlement morphological characteristics from 2012 to 2022

研究结果显示，2012—2022 年乡村聚落图斑 $P-A$ 双对数模型均通过了显著性检验，呈现先升后降的趋势，其阶段性变化特征明显，其中 2012、2017 和 2022 年决定系数 R^2 分别为 0.937、0.946 和 0.944，形态维数分别

为 1.307、1.321 和 1.315。具体而言，2012—2017 年期间乡村聚落形态特征决定系数和分形维数呈增长趋势，反映该时期乡村聚落形态空间格局较复杂，乡村聚落无序发展的特征明显，主要源于相关行业部门对乡村聚落

缺乏规划和管理, 农村居民修建房屋缺乏统一规划, 导致该时期乡村聚落形态格局不稳定性加剧, 这与前文关于乡村聚落斑块数量和面积均明显增加的研究结果吻合; 2017—2022 年期间研究区乡村聚落形态特征相对稳定, 其决定系数和分形维数均略有下降, 形态特征更趋简单, 主要源于该时期国家各类政策相继出台, 如 2015 年 12 月发布中共中央国务院《关于打赢脱贫攻坚战的决定》, 明确提出到 2020 年稳定实现农村贫困人口住房安全有保障, 实施易地扶贫搬迁脱贫和加快农村危房改造和人居环境整治, 随后连续 5 年中央 1 号文件均提出支持和加强村落保护, 强化乡村聚落发展, 这一系列政策推动了 2017—2022 年研究区乡村聚落形态格局的稳定性和合理性, 形态更加规则和整齐, 形态格局趋于稳定。

3.2 生态脆弱区乡村聚落时空格局演化影响因素分析

为了进一步揭示研究区乡村聚落空间格局特征的影响因素, 本文选取景观格局指数表征乡村聚落规模格局, 平均实际最邻近距离值表征乡村聚落空间分布格局, 形态维数表征乡村聚落形态格局, 通过地理探测器识别乡村聚落规模格局、空间分布格局和形态格局的影响因素及其动态变化。

3.2.1 乡村聚落时空格局演化影响因子选取

结合前文研究结果, 从自然条件、社会经济、区位

条件、生态环境和政策制度等 5 个维度选取影响因子。其中, 根据李琛等的研究^[39], 以平均高程 (X_1) 和距耕地距离 (X_2) 表征自然条件; 结合孙裔煜等^[40]的研究, 以人均 GDP (X_3) 和家庭人口规模 (X_4) 反映社会经济; 依据涂叶绿等^[15,41]的研究, 选择交通可达性 (X_5) 和距城镇中心距离 (X_6) 反映区位条件, 其中交通可达性通过 ArcGIS10.8 软件计算铁路、高速公路、国道、省道等各级公路的可达性; 参考吴帛阳等^[42]的研究, 选取自然灾害发生率 (X_7) 表征生态环境, 以全年自然灾害发生次数反映; 借鉴黄丹奎等^[43]的研究, 以易地扶贫搬迁点 (X_8) 和村镇规划 (X_9) 实施反映政策制度, 其中易地扶贫搬迁点按照“是取值 1, 否取值 0”的原则赋值, 村镇规划按照“有取值 1, 否取值 0”的原则赋值。

为了获取地理探测器的最优参数, 本文基于不同空间离散方式和不同区间数量组合确定各类影响因素离散的最佳尺度 (图 3), 以确保探测结果的科学性和合理性。其中, 平均高程、距城镇中心距离和村镇规划使用标准差分类方法, 分区数分别为 8 类、7 类和 6 类; 距耕地距离运用几何间隔分类, 分为 6 类; 人均 GDP 和自然灾害发生率通过分位数分类, 分为 5 类和 4 类; 家庭人口规模采取相等间隔分类, 分为 5 类; 交通可达性和易地扶贫搬迁点使用自然断点法, 分别分为 6 类和 8 类。

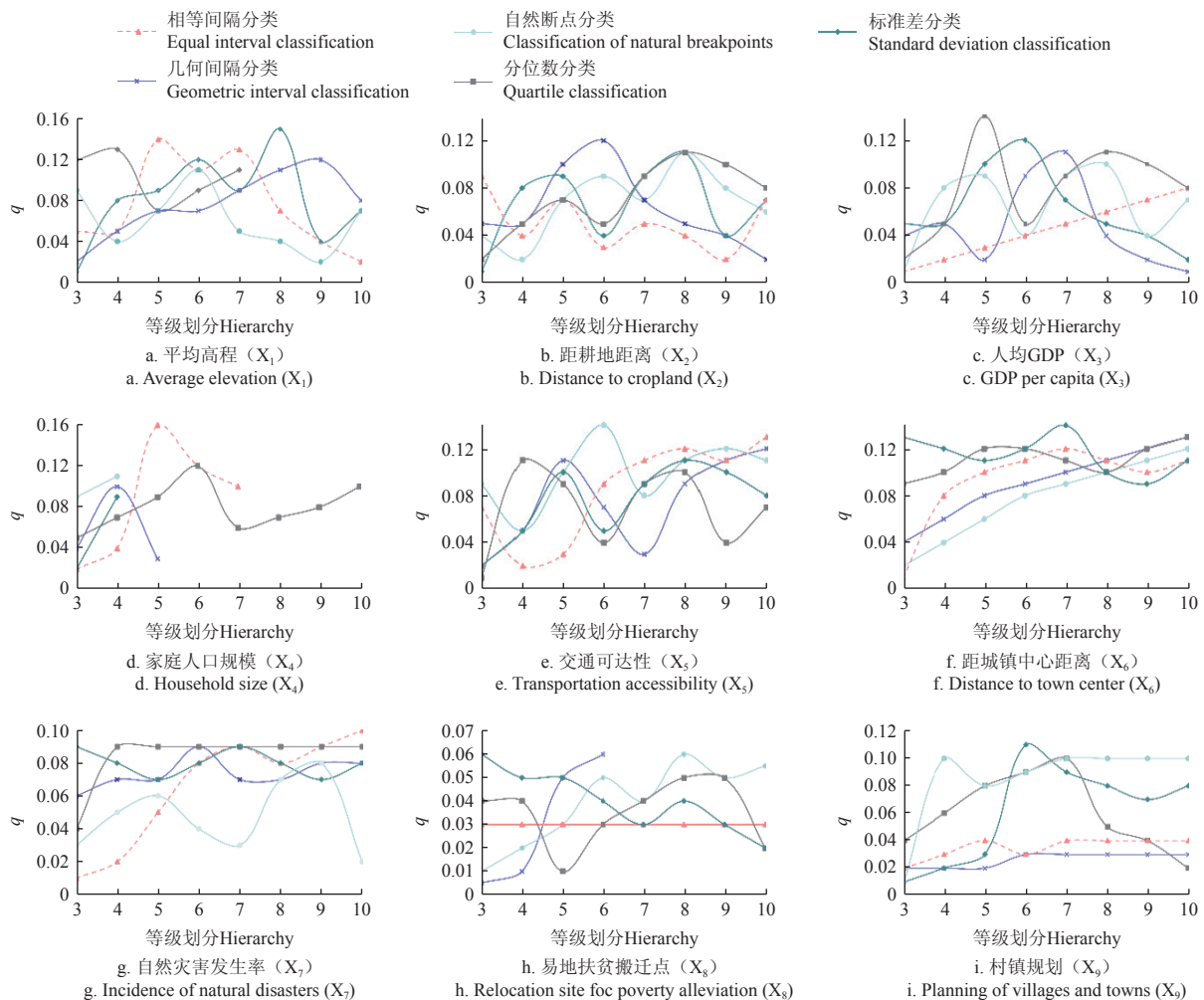


图 3 基于斑块面积的不同分类方法及分区数量 q 值统计图

Fig.3 Different classification methods based on patch area and q -value statistics of the number of partitions

3.2.2 乡村聚落时空格局演化的影响因素分析

1) 乡村聚落规模格局演化的影响因素分析。由表 2 可知, 距耕地距离、人均 GDP、家庭人口规模和交通可达性 4 个因素对研究区 2012—2022 年乡村聚落规模格局演化均在不同置信水平下显著。其中, 人均 GDP 和家庭人口规模在 2012 和 2017 年的决定力最大, 但在 2022 年逐渐减弱, 而交通可达性的决定力呈增长趋势, 其大小仅次于易地扶贫搬迁点。究其原因, 主要是社会经济和区位条件是乡村聚落规模格局的主导因素, 2017—2020 年国

家精准扶贫政策落实后, 农村房屋改造尤其是易地扶贫搬迁政策较大程度影响了乡村聚落规模格局的演变。同时, 平均高程、易地扶贫搬迁点和村镇规划的决定力呈增长趋势, 其中平均高程影响较小, 2022 年决定力仅为 0.115, 略高于自然灾害发生率, 但政策支撑的两个因素的决定力位居 2022 年前列。距耕地距离和自然灾害发生率的决定力呈现递减趋势, 其中自然灾害发生率在 2022 年未通过显著性检验。可见, 自然条件和生态环境对研究区 2012—2022 年乡村聚落规模格局演化的影响逐渐降低。

表 2 2012—2022 年研究区乡村聚落时空格局演化影响因素探测结果

Table 2 Detection results of factors influencing the evolution of spatio-temporal patterns of rural settlements in the study area from 2012 to 2022

| 影响因子 Influencing factors | 规模格局 Scale pattern | | | 分布格局 Distribution pattern | | | 形态格局 Morphological pattern | | |
|-----------------------------|--------------------|----------|----------|---------------------------|----------|----------|----------------------------|----------|----------|
| | 2012 年 | 2017 年 | 2022 年 | 2012 年 | 2017 年 | 2022 年 | 2012 年 | 2017 年 | 2022 年 |
| X ₁ | 0.097 | 0.087 | 0.115* | 0.085 | 0.094 | 0.09 | 0.091 | 0.097 | 0.089 |
| X ₂ | 0.280*** | 0.251*** | 0.187** | 0.312*** | 0.287*** | 0.181** | 0.102* | 0.088 | 0.079 |
| X ₃ | 0.312*** | 0.263*** | 0.103* | 0.056 | 0.071 | 0.104* | 0.041 | 0.027 | 0.105* |
| X ₄ | 0.301*** | 0.312*** | 0.254*** | 0.021 | 0.019 | 0.021 | 0.048 | 0.071 | 0.052 |
| X ₅ | 0.195** | 0.214*** | 0.276*** | 0.121* | 0.145** | 0.243** | 0.257*** | 0.280*** | 0.300*** |
| X ₆ | 0.072 | 0.124* | 0.270*** | 0.181* | 0.254*** | 0.310*** | 0.210** | 0.209*** | 0.271*** |
| X ₇ | 0.187** | 0.109* | 0.075 | 0.112* | 0.123* | 0.095 | 0.081 | 0.094 | 0.103* |
| X ₈ | 0.038 | 0.102* | 0.292*** | 0.155* | 0.216** | 0.297*** | 0.08 | 0.143* | 0.221** |
| X ₉ | 0.086 | 0.112* | 0.215*** | 0.099 | 0.137* | 0.199** | 0.106* | 0.194** | 0.278*** |

注意: *表示在 10% 水平下显著; **表示在 5% 水平下显著; ***表示在 1% 水平下显著

Note: * indicates significant at the 10% level; ** indicates significant at the 5% level; *** indicates significant at the 1% level

2) 乡村聚落空间分布格局演化的影响因素分析。研究结果显示, 距耕地距离、交通可达性、距城镇中心距离和易地扶贫搬迁点 4 个因素对研究区乡村聚落空间分布格局演化具有显著影响。其中, 距城镇中心距离、易地扶贫搬迁点和交通可达性的决定力呈递增趋势, 到 2022 年时分别为 0.310、0.297 和 0.243, 位居所有因素的前三, 而距耕地距离的决定力呈现递减趋势, 可见研究区 2012—2022 年乡村聚落空间分布更倾向于城镇附近和交通要道。同时, 人均 GDP、自然灾害发生率对研究区乡村聚落空间分布格局的影响较小。其中, 自然灾害发生率的决定力呈递减趋势, 且 2022 年未通过显著性验证; 人均 GDP 虽然呈递增趋势, 但仅 2022 年的决定力通过检验, 主要源于农民市民化和城镇化建设, 农村收入较高的农户搬迁至城市。同时, 平均高程和家庭人口规模对空间分布格局演化没有显著影响, 未通过显著性检验。值得注意的是, 村镇规划对空间分布格局的影响增长趋势明显, 决定力从 0.099 增长到 0.199, 说明村镇规划对空间分布的重要性。

3) 乡村聚落形态格局演化的影响因素分析。研究结果显示, 交通可达性、村镇规划和距城镇中心距离对研究区 2012—2022 年乡村聚落形态格局演化的影响较大, 决定力在 2012—2022 年期间均位居前三, 且整体上呈现递增趋势, 2022 年分别达到了 0.300、0.278 和 0.271。究其原因, 主要是研究区地处中低山丘陵河谷盆地, 城镇所在地地势平坦, 交通便捷, 且村镇规划启动较早, 因此乡村聚落形态格局主要受以上因素的影响。同时, 距耕地距离、人均 GDP、自然灾害发生率和易地扶贫搬迁点 4 个因素对研究区乡村聚落形态格局演化的影响较

小。其中, 人均 GDP 和自然灾害发生率决定力呈递增趋势, 但仅 2022 年通过了显著性检验; 距耕地距离的决定力逐年降低, 仅有 2012 年在 10% 水平下显著; 易地扶贫搬迁点的决定力增幅较大, 2017 年和 2022 年通过了显著性检验, 且 2022 年达到了 0.221, 位居所有因素中的第四, 反映易地扶贫搬迁点对乡村聚落形态格局演化的影响越来越大, 主要是大型集中安置点影响了乡村聚落形态格局演化特征。值得注意的是, 平均高程和家庭人口规模未通过显著性检验。

3.2.3 乡村聚落时空格局演化影响因素的动态分析

为了进一步剖析研究区 2012—2022 年乡村聚落时空格局演化影响因素的动态变化, 本文运用动态变化度模型测算 2012—2022 年乡村聚落时空格局演化影响因素决定力的变化度, 并通过 ArcGIS10.8 软件的自然断裂点法将影响因素的决定力划分为增强型、稳定型和减弱型 3 种类型 (表 3)。

1) 乡村聚落规模格局演化影响因素类型。研究结果显示, 乡村聚落规模格局演化的增强型影响因素主要有交通可达性、距城镇中心距离、易地扶贫搬迁点和村镇规划 4 个因素, 均为持续增强发展趋势。其中, 易地扶贫搬迁点、距城镇中心距离和村镇规划的决定力增长幅度分别为 668.42%、275.00% 和 150.00%, 主要源于易地扶贫搬迁点政策的落实和执行, 一定程度影响了乡村规模格局演化特征。减弱型影响因素主要包括距耕地距离、人均 GDP、家庭人口规模和自然灾害发生率 4 个因素。其中, 家庭人口规模呈现稳定-减弱发展趋势, 其他 3 个均为持续减弱型, 同时平均海拔决定力属于稳定型, 处于减弱-稳定发展趋势。可见, 耕地距离、自然灾害、海

拔等自然条件对乡村聚落规模的影响存在减弱趋势。

2) 乡村聚落空间格局演化影响因素类型。由表 3 可知, 研究区乡村聚落空间格局演化增强型因素主要有人均 GDP、交通可达性、距城镇中心距离、易地扶贫搬迁点和村镇规划 5 个因素, 均属于持续增强发展趋势, 其中交通可达性和村镇规划的决定力增幅均超过 100%。减弱型影响因素主要包括距耕地距离和自然灾害发生率 2 个因素, 前者属于持续减弱发展趋势, 决定力降低了 41.99%, 后者属于稳定-减弱发展趋势。稳定型因素主要有平均高程和家庭人口规模 2 个因素, 平均高程处于持续稳定状态, 家庭人口规模属于减弱-稳定发展趋势。可见, 自然条件和生态环境的驱动力有减弱的趋势, 社会经济条件对其影响较大。

表 3 2012—2022 年研究区乡村聚落时空格局演化影响因素分类表
Table 3 Classification of factors influencing the evolution of spatio-temporal patterns of rural settlements in the study area from 2012 to 2022

| 探测因素 Factors | 规模格局 Scale pattern | | | 分布格局 Distribution pattern | | | 形态格局 Morphological pattern | | |
|-----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|------------------------------|----------------|-----------------------|-------------------------------|----------------|-----------------------|
| | 动态度 Attitude/% | 类型 Typology | 发展趋势 Growing trend | 动态度 Attitude/% | 类型 Typology | 发展趋势 Growing trend | 动态度 Attitude/% | 类型 Typology | 发展趋势 Growing trend |
| X ₁ | 18.56 | 稳定型 | 减弱-稳定 | 5.88 | 稳定型 | 持续稳定 | -2.20 | 减弱型 | 稳定-减弱 |
| X ₂ | -33.21 | 减弱型 | 持续减弱 | -41.99 | 减弱型 | 持续减弱 | -22.55 | 减弱型 | 持续减弱 |
| X ₃ | -66.99 | 减弱型 | 持续减弱 | 85.71 | 增强型 | 持续增强 | 156.10 | 增强型 | 减弱-增强 |
| X ₄ | -15.61 | 减弱型 | 稳定-减弱 | 0.00 | 稳定型 | 减弱-稳定 | 8.33 | 稳定型 | 增强-减弱 |
| X ₅ | 41.54 | 增强型 | 持续增强 | 100.83 | 增强型 | 持续增强 | 16.73 | 稳定型 | 持续稳定 |
| X ₆ | 275.00 | 增强型 | 持续增强 | 71.27 | 增强型 | 持续增强 | 29.05 | 稳定型 | 减弱-稳定 |
| X ₇ | -59.89 | 减弱型 | 持续减弱 | -15.18 | 减弱型 | 稳定-减弱 | 27.16 | 稳定型 | 持续稳定 |
| X ₈ | 668.42 | 增强型 | 持续增强 | 91.61 | 增强型 | 持续增强 | 176.25 | 增强型 | 持续增强 |
| X ₉ | 150.00 | 增强型 | 持续增强 | 101.01 | 增强型 | 持续增强 | 162.26 | 增强型 | 持续增强 |

4 讨 论

中国是世界上生态脆弱区面积最大、脆弱性最明显的国家之一。贵州省天柱县地处滇黔桂石漠化核心地带, 集民族地区、革命老区和边境地区等区域特质于一体, 是实施乡村全面振兴和扎实推进共同富裕的薄弱环节。本文基于 2012—2022 年研究时段, 探究 2012、2017 和 2022 年 3 个研究时点乡村聚落“规模-空间-形态”演化特征, 深剖影响因素及其动态变化。研究结论表明, 乡村聚落规模结构日趋合理, 但“一户多宅”现象仍旧突出, 应加强国土空间规划, 结合传统村落和民族风情特征, 优化村镇规划, 进一步推动美丽乡村建设; 乡村聚落空间格局呈现集聚特性, 主要倾向于交通便捷、行政中心等地区, 尤其是易地扶贫搬迁政策实施, 优化了乡村聚落空间格局, 但需要结合自然灾害点、生态保护区等规范和优化易地扶贫搬迁安置点; 乡村聚落形态格局逐渐稳定和合理, 更加规则和整齐, 但是应因地制宜, 坚持有利于农户从事农业生产的原则。同时, 本文从“规模-空间-形态”多元化视角分别深剖了乡村聚落时空格局影响因素, 其结果与已有研究基本一致, 主要集中在区位条件、社会经济和政策制度等层面, 但应加强生态保护, 以乡村聚落为载体推动绿色发展。值得注意的是, 研究发现易地扶贫搬迁政策对乡村聚落的影响较大, 驱动力呈现不断增长趋势, 主要源于研究区属于贵州省 38

3) 乡村聚落形态格局演化影响因素类型。研究结果显示, 人均 GDP、易地扶贫搬迁点和村镇规划 3 个因素属于增强型, 决定力增幅分别为 165.10%、176.25% 和 162.26%, 其中人均 GDP 属于减弱-增强状态, 表明对乡村聚落形态的影响程度提升迅速, 而易地扶贫搬迁点和村镇规划处于持续增强发展趋势。平均高程和距耕地距离 2 个因素属于减弱型, 其中前者属于稳定-减弱发展趋势, 而后者处于持续减弱状态。同时, 稳定型因素主要包括家庭人口规模、交通可达性、距城镇中心距离和自然灾害发生率 4 个因素。其中, 家庭人口规模和自然灾害发生率属于持续稳定型, 决定力变化不大, 家庭人口规模属于增强-减弱状态, 决定力跨度较大, 呈现先增后减特征, 而距城镇中心距离处于减弱-稳定状态。

个万人安置点之一, 安置人口达到了 2 万人以上, 属于大型安置点, 导致乡村聚落规模、空间特征及形态均产生了变化。同时, 作为生态脆弱区, 自然灾害对乡村聚落的影响逐渐降低, 说明研究区生态环境日趋向好。

本文虽然从生态学与社会学综合交叉的研究视角构建了乡村聚落“规模-空间-形态”多元化研究思路, 但由于数据的限制性, 未能系统性揭示乡村聚落时空格局影响机理, 导致可能存在片面性和不确定性。同时, 本文虽然从自然、社会、生态、政策等层面构建了影响因素评价体系, 但乡村聚落作为乡村地域系统重要的组成部分, 其要素复杂多样, 未能更加全面的识别影响因素, 如农户自身意愿等。因此, 未来研究需要深化乡村聚落时空格局影响机理探究, 健全影响因素评价体系, 并针对性地提出治理路径与措施。

5 结 论

本文聚焦生态脆弱区, 选取贵州省天柱县为研究区域, 以乡村聚落斑块和行政村为研究对象, 基于“规模-空间-形态”多元视角系统分析 2012—2022 年乡村聚落时空格局特征演化、影响因素及其动态变化, 以期生态脆弱区实现乡村全面振兴提供参考依据。研究结论如下:

1) 生态脆弱区乡村聚落规模格局呈现先增后降趋势, 主要以微型聚落和小型聚落为主, 但平均规模高于全国水平, 其中村聚落斑块数量、斑块密度呈现增长趋势,

但增幅较低, 而平均斑块面积略有下降, 乡村聚落逐渐从量的增加转向质的提升。

2) 生态脆弱区乡村聚落空间格局演化存在显著自相关, Moran' I 指数逐年增加, 空间集聚程度逐渐提升, 空间布局呈现“四周向中间核心集聚”的特征, 即在中部和南部地区形成了 2 个较大的集聚区和多个较小的集聚区, 而县城中心外围集聚区逐渐较少, 易地扶贫搬迁政策落实加大了乡村聚落集聚程度。

3) 生态脆弱区乡村聚落形态维数均通过了显著性检验, 乡村聚落具有明显的分形特征, 形态指数演化呈现先升后降的趋势, 但整体上增长, 且阶段性变化特征明显, 形态特征更趋简单。

4) 生态脆弱区乡村聚落规模-空间-形态格局演化影响因素各具特色, 总体上呈现自然条件向社会经济、政策制度转变的趋势。易地扶贫搬迁点、交通可达性、村镇规划和距城镇中心距离是乡村聚落时空演化的主要因素, 尤其是易地扶贫搬迁点和村镇规划属于持续增强型。

[参 考 文 献]

- [1] WANG Y, DENG Q, YANG H, et al. Spatial-temporal differentiation and influencing factors of rural settlements in mountainous areas: an example of Liangshan Yi Autonomous Prefecture, Southwestern China[J]. *Journal Of Mountain Science*, 2024, 21: 218-235.
- [2] 金其铭. 我国农村聚落地理研究历史及近今趋向[J]. *地理学报*, 1988, 43(4): 311-317.
JIN Qiming. The history and current trends of research on rural settlement geography in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 1988, 43(4): 311-317. (in Chinese with English abstract)
- [3] RAN D, HU Q, ZhANG Z. Spatial-temporal evolution, impact mechanisms, and reclamation potential of rural human settlements in China[J]. *Land*, 2024, 13: 430.
- [4] 刘春芳, 李鹏杰, 刘立程, 等. 西北生态脆弱区省域国土空间生态修复分区[J]. *农业工程学报*, 2020, 36(17): 254-263.
LIU Chunfang, LI Pengjie, LIU Licheng, et al. Ecological restoration zoning of provincial territorial space in the ecologically fragile areas of northwest China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2020, 36(17): 254-263. (in Chinese with English abstract)
- [5] 赵雯欣, 李阳兵, 王清荣, 等. 山区乡村多功能发展与乡村聚落演变的耦合机理[J]. *农业工程学报*, 2024, 40(11): 259-270.
ZHAO Wenxin, LI Yangbing, WANG Qingrong, et al. Coupling mechanism for rural multifunctional development and rural settlement evolution in mountainous areas of China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2024, 40(11): 259-270. (in Chinese with English abstract)
- [6] 刘春艳, 张继飞. 基于生态位模型的岷江上游典型县域乡村聚落用地适宜性评价[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(14): 266-273.
- LIU Chunyan, ZhANG Jifei. Land suitability evaluation using niche model for rural settlements in typical county in the upper reaches of Minjiang River[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2021, 37(14): 266-273. (in Chinese with English abstract)
- [7] TREWARTHA G T. Types of rural settlement in colonial America[J]. *Geographical Review*, 1946, 36(4): 568-596.
- [8] SARLY R M. A model for the location of rural settlement[J]. *Papers of the Regional Science Association*, 2010, 29(1): 87-104.
- [9] CLARK J K, MCCHESENEY R, MUNROE D K, et al. Spatial characteristics of exurban settlement pattern in the United States[J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 90(3): 178-188.
- [10] 冀正欣, 许月卿, 卢龙辉, 等. 乡村聚落空间优化研究进展与展望[J]. *中国土地科学*, 2021, 35(6): 95-104.
JI Zhengxin, XU Yueqing, LU Longhui, et al. Research progress and prospects for spatial optimization of rural settlements[J]. *China Land Science*, 2021, 35(6): 95-104. (in Chinese with English abstract)
- [11] 刘志林, 丁银平, 角媛梅, 等. 中国西南少数民族聚居区聚落分布的空间格局特征与主控因子分析—以哈尼梯田区为例[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(2): 257-271.
LIU Zhilin, DING Yinping, JIAO Yuanmei, et al. Spatial patterns and controlling factors of settlement distribution in ethnic minority settlements of southwest China: A case study of Hani Terraced fields[J]. *Progress in Geography*, 2021, 40(2): 257-271. (in Chinese with English abstract)
- [12] 陶岸君. 中国村镇特色的空间分异格局和综合区划[J]. *地理学报*, 2023, 78(12): 3144-3160.
TAO Anjun. Spatial differentiation pattern and comprehensive regionalization of rural settlement characteristics in China[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2023, 78(12): 3144-3160. (in Chinese with English abstract)
- [13] 邹存铭, 房艳刚, 袁庆学. 半干旱贫困地区乡村聚落空间演变与易地扶贫搬迁重构效应—以吉林省通榆县为例[J]. *经济地理*, 2022, 42(4): 27-33.
ZOU Cunming, FANG Yangang, YUAN Qingxue. Spatial evolution of rural settlements in semi-arid and poverty-stricken areas and their restructuring effects by poverty alleviation and relocation: A case study of Tongyu County in Jilin Province[J]. *Economic Geography*, 2022, 42(4): 27-33. (in Chinese with English abstract)
- [14] 王乐, 熊昌盛, 田宇, 等. 中国“三生”空间功能异质性评价、时空演变及分区调控[J]. *农业工程学报*, 2024, 40(10): 265-275.
WANG Le, XIONG Changsheng, TIAN Yu, et al. Spatial heterogeneity in functional evaluation, spatio-temporal evolution and Zoning schemes of production-living-ecological space in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2024,

- 40(10): 265-275. (in Chinese with English abstract)
- [15] 涂叶绿, 曹小曙, 姚玲玲. 基于道路可达性的典型脱贫地区乡村聚落空间分布特征及影响因素[J]. 人文地理, 2024, 39(1): 122-129.
- TU Yelv, CAO Xiaoshu, YAO Lingling. An analysis of rural settlements patterns and their effect mechanisms based on road traffic accessibility in poverty alleviation area[J]. Human Geography, 2024, 39(1): 122-129. (in Chinese with English abstract)
- [16] 豆浩健, 王成. 重庆市城乡要素流动赋能乡村多元价值实现机制[J]. 农业工程学报, 2023, 39 (12): 206-215.
- DOU Haojian, WANG Cheng. Rural multi-values empowered by rural-urban factor flow: A case study of Chongqing of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2023, 39(12): 206-215. (in Chinese with English abstract)
- [17] 刘卫平, 魏朝富. 居住形态分异视角下乡村聚落格局的演化机制[J]. 地理研究, 2023, 42(1): 228-244.
- LIU Weiping, WEI Chaofu. Evolutionary mechanism of rural settlement patterns: A perspective of residential form differentiation[J]. Geographical Research, 2023, 42(1): 228-244. (in Chinese with English abstract)
- [18] 鲍紫藤, 罗小龙, 顾宗倪, 等. 快速城镇化背景下乡村聚落分形特征及影响因素研究—以广东省茂名市为例[J]. 人文地理, 2022, 37(1): 100-108.
- BAO Ziteng, LUO Xiaolong, GU Zongni, et al. Fractal characteristics and influencing factors of rural settlements under the background of rapid urbanization: A case of Maoming in Guangdong[J]. Human Geography, 2022, 37(1): 100-108. (in Chinese with English abstract)
- [19] 马耀壮, 李飞, 李梦飞, 等. 陕西省乡村聚落内部绿色空间的景观特征及区域差异[J]. 农业工程学报, 2023, 39(20): 244-254.
- MA Yaozhuang, LI Fei, LI Mengfei, et al. Landscape characteristics and regional differences of the green space within the rural settlements in Shaanxi Province of China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2023, 39(20): 244-254. (in Chinese with English abstract)
- [20] 屠爽爽, 蒋振华, 龙花楼, 等. 广西乡村聚落空间分异与类型划分[J]. 经济地理, 2023, 43(12): 159-168.
- TU Shuangshuang, JIANG Zhenhua, LONG Hualou, et al. Spatial pattern and classification of rural settlements in Guangxi[J]. Economic Geography, 2023, 43(12): 159-168. (in Chinese with English abstract)
- [21] 杨忍, 邓颖贤. 广东省村镇聚落体系演化及其优化重组[J]. 地理学报, 2024, 79(2): 281-298.
- YANG Ren, DENG Yingxian. The evolution and optimized reconstructing analysis of rural settlement system in Guangdong Province[J]. Acta Geographica Sinica, 2024, 79(2): 281-298. (in Chinese with English abstract)
- [22] 陈志杰, 白永平, 周亮. 高寒山地生态脆弱区聚落空间格局特征及成因识别—以天祝藏族自治县为例[J]. 生态学报, 2020, 40(24): 9059-9069.
- CHEN Zhijie, BAI Yongping, ZHOU Liang. Spatial pattern characteristics and genetic identification of settlements in ecologically fragile areas of alpine mountains: A case study on the Tianzhu Tibetan Autonomous County[J]. Acta Ecologica Sinica, 2020, 40(24): 9059-9069. (in Chinese with English abstract)
- [23] 屠爽爽, 周星颖, 龙花楼, 等. 乡村聚落空间演变和优化研究进展与展望[J]. 经济地理, 2019, 39(11): 142-149.
- TU Shuangshuang, ZHOU Xingying, LONG Hualou, et al. Research progress and prospect of spatial evolution and optimization of rural settlements[J]. Economic Geography, 2019, 39(11): 142-149. (in Chinese with English abstract)
- [24] 李久林, 胡大卫, 谢敏, 等. 社会-生态视角下乡村聚落系统脆弱性评价—以蒙洼行蓄洪区为例[J]. 生态学报, 2023, 43(22): 9164-9176.
- LI Jiulin, HU Dawei, Xie Min, et al. Vulnerability assessment of rural settlement system from a socio-ecological perspective: the case of Mengwa floodplain[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(22): 9164-9176. (in Chinese with English abstract)
- [25] YANG L, BO S, YANG C, et al. Spatial vulnerability assessment of rural settlements in hilly areas using BP neural network algorithm[J]. Ecological Indicators, 2023, 157: 111278.
- [26] 刘荣萍, 周忠发, 朱孟, 等. 易地扶贫搬迁驱动下喀斯特山区乡村聚落时空演变特征[J]. 地理科学, 2023, 43(11): 2024-2032.
- LIU Rongping, ZHOU Zhongfa, ZHU Meng, et al. Spatiotemporal evolution characteristics of rural settlements in karst mountainous areas driven by poverty-alleviation relocation[J]. Geographic Science, 2023, 43(11): 2024-2032. (in Chinese with English abstract)
- [27] 杨阳, 房艳刚, 梁璐. 人文地理方法论视角下的乡村聚落景观流派进展及展望[J]. 地理科学进展, 2024, 43(1): 163-178.
- YANG Yang, FANG Yangang, LIANG Lu. Progress and prospect of rural settlement landscape research from the perspective of human geography methodology[J]. Progress in Geography, 2024, 43(1): 163-178. (in Chinese with English abstract)
- [28] 张海朋, 樊杰, 何仁伟, 等. 青藏高原高寒牧区聚落时空演化及驱动机制—以藏北那曲县为例[J]. 地理科学, 2019, 39(10): 1642-1653.
- ZHANG Haipeng, FAN Jie, HE Renwei, et al. Spatio-temporal evolution of settlements and its driving mechanisms in Tibetan Plateaupastoral area: Taking Naqu County in northern Tibet as an example[J]. Geographic Science, 2019, 39(10): 1642-1653. (in Chinese with English abstract)
- [29] 周雅萍, 赵先超. 洞庭湖区乡村人居环境质量动态评价及障碍因子诊断[J]. 农业工程学报, 2023, 39(13): 249-259.
- ZHOU Yaping, ZHAO Xianchao. Dynamical evaluation and

- obstacle factors of rural human settlements quality in the Dongting Lake areas of Hubei in China using multi-source data[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2023, 39(13): 249-259. (in Chinese with English abstract)
- [30] ISRAEL U S, AMAJU O S. A comparative study of higher order kernel estimation and kernel density derivative estimation of the gaussian kernel estimator with data application[J]. *Pakistan Journal of Statistics and Operation Research*, 2023, 19(2): 299-311.
- [31] 牛帅, 胡业翠, 陈星鑫, 等. 国土空间“三线”冲突视角下耕地管控刚性与弹性空间划定[J]. *农业工程学报*, 2024, 40(13): 222-232.
- NIU Shuai, HU Yecui, CHEN Xingxin, et al. Determination of the rigid and flexible space for cropland control under the perspective of conflict of “three lines” of territorial space[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2024, 40(13): 222-232. (in Chinese with English abstract)
- [32] CAO Y, LI G. Extensive inequality of residential greenspace exposure within urban areas in China[J]. *Science of The Total Environment*, 2024, 948: 174625.
- [33] HU C, WU W, ZHOU X, et al. Spatiotemporal changes in landscape patterns in karst mountainous regions based on the optimal landscape scale: A case study of Guiyang City in Guizhou Province, China[J]. *Ecological Indicators*, 2023, 150: 110211.
- [34] 李强, 高威, 魏建飞, 等. 中国耕地利用净碳汇时空演进及综合分区[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(11): 239-249.
- LI Qiang, GAO Wei, WEI Jianfei, et al. Spatiotemporal evolution and comprehensive zoning of net carbon sink in cultivated land use in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2022, 38(11): 239-249. (in Chinese with English abstract)
- [35] 刘愿理, 廖和平, 蔡拔林, 等. 基于不同生计类型的农户多维相对贫困测度与影响机理[J]. *中国人口·资源与环境*, 2022, 32(5): 165-175.
- LIU Yuanli, LIAO Heping, CAI Balin, et al. Multidimensional relative poverty measurement and influence mechanism of farm households based on different livelihood types[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2022, 32(5): 165-175. (in Chinese with English abstract)
- [36] SONG Y, WANG J, GE Y, et al. An optimal parameters-based geographical detector model enhances geographic characteristics of explanatory variables for spatial heterogeneity analysis: Cases with different types of spatial data[J]. *GIScience & Remote Sensing*, 2020, 57(5): 593-610.
- [37] 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 Jinfeng, XU Chengdong. Geodetector: Principle and prospective[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(1): 116-134. (in Chinese with English abstract)
- [38] 刘愿理, 廖和平, 李涛, 等. 山区土地利用多功能时空分异特征及影响因素分析[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(21): 271-279.
- LIU Yuanli, LIAO Heping, LI Tao, et al. Spatio-temporal diversity and influencing factors of multi-functionality of land use in mountainous regions[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2019, 35(21): 271-279. (in Chinese with English abstract)
- [39] TAN S, ZHANG M, WANG A, et al. Spatio-temporal evolution and driving factors of rural settlements in low hilly region—A case study of 17 cities in hubei province, China[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2021, 18(5): 2387.
- [40] 孙裔煜, 高静, 仝德, 等. 基于 GTWR 的广东省乡村聚落规模时空演变研究[J]. *地理科学*, 2023, 43(7): 1249-1258.
- SUN Yiyu, GAO Jing, TONG De, et al. Spatio-temporal evolution characteristics and influencing factors of rural settlements in Guangdong province based on GTWR model[J]. *Geographic Science*, 2023, 43(7): 1249-1258. (in Chinese with English abstract)
- [41] 杨凯悦, 宋永永, 薛东前. 黄土高原乡村聚落用地时空演变与影响因素[J]. *资源科学*, 2020, 42(7): 1311-1324.
- YANG Kaiyue, SONG Yongyong, XUE Dongqian. Spatiotemporal change of rural settlement land in the loess plateau and influencing factors[J]. *Resource Science*, 2020, 42(7): 1311-1324. (in Chinese with English abstract)
- [42] 吴帛阳, 高英杰, 高英珂, 等. 基于生态环境特征的村镇聚落分类和生态环境质量评价—以兰州市为例[J]. *地域研究与开发*, 2023, 42(5): 147-152.
- WU Boyang, GAO Yingjie, GAO Yingke, et al. Classification of villages and towns and quality assessment of ecological environment based on characteristics of ecological environment: Taking Lanzhou City as an example[J]. *Regional Research and Development*, 2023, 42(5): 147-152. (in Chinese with English abstract)
- [43] 黄丹奎, 孙伟, 陈雯, 等. 基于多时相遥感数据的村镇聚落格局演化及机理研究—以江苏省为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2021, 30(10): 2405-2416.
- HUANG Dankui, SUN Wei, CHEN Wen, et al. Spatial pattern and its evolution mechanism of village and town settlement based on multi-temporal remote sensing images: A case study of Jiangsu Province[J]. *Resources and Environment in the Yangtze River Basin*, 2021, 30(10): 2405-2416. (in Chinese with English abstract)

Evolutionary characteristics and influencing factors of the spatial and temporal patterns of rural settlements in ecologically fragile areas

LIU Yuanli^{1,2}, YAO Yan¹, WANG Rui¹, XU Yaxi¹

(1. School of Business Administration, Chongqing Technology and Business University, Chongqing 400067, China; 2. Research Center for Precision Poverty Alleviation and Regional Development, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: Rural settlements are the basic spatial units to implement the rural revitalization strategy. However, the weak links of rural settlements are found in the ecologically vulnerable areas, particularly for the coordinated and high-quality development of regional ecology and economy. Taking Tianzhu County in Guizhou Province as the study area, this study aims to analyze the evolution, influencing factors and dynamic variation in the spatiotemporal patterns of rural settlements in the ecologically vulnerable areas from 2012 to 2022 using "Scale-Space-Morphology" approach. The rural settlement patches and administrative villages were then taken as the research objects. Three research nodes were selected in 2012, 2017 and 2022. The optimal parameters were obtained, according to the average nearest proximity index, landscape pattern index and geographical detector. The research procedures were as follows. Firstly, the scale, spatial distribution and morphological pattern of rural settlements were characterized by landscape pattern index, nearest distance value and morphological dimension. The spatiotemporal pattern and evolution of rural settlements were identified in the ecologically fragile areas. Secondly, the optimal scale was obtained for the dispersion of different influencing factors using spatial dispersion and quantitative combination. Finally, the geographic detector model with optimal parameters was used to identify the influencing factors and dynamic variation in the scale, spatial distribution and morphological pattern of rural settlements in the ecologically fragile areas. The results show that: (1) The scale pattern of rural settlements in the ecologically vulnerable areas shared a trend of increasing and then decreasing, which was mainly dominated by micro settlements and small settlements. But the average scale was much higher than the national level. The scale of rural settlements was gradually shifted from the quantitative to qualitative enhancement; (2) There was a significant autocorrelation in the spatial pattern of rural settlements in the ecologically vulnerable areas. The degree of spatial agglomeration was gradually increasing. The layout shared the "four-week to middle core agglomeration" trend, that is, the central and southern regions were formed two larger and multiple smaller agglomeration areas; (3) The outstanding fractal features were observed in the rural settlements in the ecologically vulnerable areas. The evolution of morphological index shared a trend of first rising and then decreasing. But there was the outstanding variation in the stage increase on the whole, together with the simple morphology; (4) There were the unique influencing factors on the evolution of the "scale-space-morphology" pattern of rural settlements in the ecologically vulnerable areas. Generally, there was a trend of transformation from natural conditions to social economy and policy. Among them, the relocation sites for poverty alleviation, transportation accessibility, village and town planning and distance from town centers were the main influencing factors on the spatial and temporal evolution of rural settlements. Especially, the relocation sites for poverty alleviation, village and town planning were defined as the continuous enhancement type. Finally, the targeted recommendations were made to strengthen the territorial spatial planning, ecological protection, the spatial pattern of rural settlements in the production and living of farming households.

Keywords: rural settlements; spatio-temporal patterns; ecologically vulnerable areas; influencing factors