

峰丛洼地石漠化区乡村聚落的形态学特征及空间演变规律

林广^{1,2}, 王妍^{1,2}, 王蕾¹, 刘云根^{1,2}, 徐劲成^{1,2}, 林品^{1,2}

(1.西南林业大学水土保持学院, 昆明 650224;

2.云南省山地农村生态环境演变与污染治理重点实验室, 昆明 650224)

摘要: [目的]为探究峰丛洼地石漠化区乡村聚落的形态学特征及空间演变规律。[方法]基于 PLUS 模型预测 2035 年经济发展情景、自然发展情景和生态保护情景下的乡村聚落分布,利用形态学空间格局分析(MSPA)方法识别乡村聚落的形态学特征,采用景观格局指数、景观综合动态度和 Ripley K 函数方法,实现对乡村聚落过去—现在—未来的形态学特征及空间演变规律分析。[结果]1)1990—2022 年乡村聚落面积呈上升趋势,面积增加 6.09 km²,数量由 366 增加至 1 253。核心与边缘是研究区内的优势乡村聚落类型,其面积分别增加 1.90、1.51 km²,主要分布在研究区中部,孤岛和分支等主要分布在北部和东北部,其面积分别增加 1.07、1.15 km²。2)乡村聚落类型的复杂性、丰富程度和破碎化程度整体上呈增加趋势;乡村聚落类型 1990—2000 年发育最为平缓,2010—2022 年发育最为剧烈,乡村聚落类型扩张主要发生在兴街村和老街村及周边地区;乡村聚落类型在研究尺度内都表现出集聚趋势,随着空间尺度的增加乡村聚落空间分布的集聚特征减弱且城镇化过程空间尺度缩小。3)3 种情景下,乡村聚落面积均呈上升趋势,其面积分别为 11.42、7.68、9.14 km²;核心是研究区内绝对优势类型,其面积分别增加 4.02、2.60、3.14 km²,乡村聚落类型在空间尺度上呈集聚分布,并且生态保护情景抑制乡村聚落的扩张。[结论]研究区乡村聚落处于快速发展阶段,乡村聚落的扩张主要表现在核心扩张上,而孤岛的扩张则是加剧乡村聚落空间分布的复杂性,并且城镇化过程中乡村聚落逐渐聚集在较小的空间尺度。

关键词: 峰丛洼地; 乡村聚落; 形态学特征; 空间演变规律

中图分类号:K901.8

文献标识码:A

文章编号:1009-2242-(2025)01-0348-11

Morphological Characteristics and Spatial Evolution Laws of Rural Settlements at Peak-cluster Depressions in Rocky Desertification Areas

LIN Guang^{1,2}, WANG Yan^{1,2}, WANG Lei¹, LIU Yungen^{1,2}, XU Jincheng^{1,2}, LIN Pin^{1,2}

(1.College of Soil and Water Conservation, Southwest Forestry University,

Kunming 650224, China; 2.Key Laboratory of Ecological Environment Evolution and

Pollution Control in Mountainous Rural Areas of Yunnan Province, Kunming 650224, China)

Abstract: [Objective] To explore the morphological characteristics and spatial evolution patterns of rural settlements in the karst depression rocky desertification area. [Methods] The distribution of rural settlements under the scenarios of economic development, natural development, and ecological protection by 2035 was predicted using the PLUS model. The morphological characteristics of rural settlements were identified through Morphological Spatial Pattern Analysis (MSPA), while the past, present, and future morphological characteristics and spatial evolution patterns of rural settlements were analyzed using landscape pattern indices, landscape comprehensive dynamics, and the Ripley K function method. [Results] 1) There was an increasing trend in the area of rural settlements from 1990 to 2022, with the area expanding by 6.09 km² and the number of settlements increasing from 366 to 1 253. The core and edge were identified as the dominant

收稿日期:2024-08-12

修回日期:2024-09-01

录用日期:2024-09-28

网络首发日期(www.cnki.net):2024-12-04

资助项目:国家自然科学基金项目(32260420);云南省科技厅计划项目(202401AS070014)

第一作者:林广(1996—),男,在读硕士,主要从事石漠化治理修复与水土保持研究。E-mail:304059155@qq.com

通信作者:王妍(1980—),女,教授,博士,硕士生导师,主要从事脆弱生态系统关键过程与修复、土地利用及景观动态演变等研究。E-mail:wycyf@126.com

types of rural settlements in the study area, with their areas increasing by 1.90 and 1.51 km², respectively, primarily concentrated in the central part of the study area. In contrast, isolated patches and branches, which increased by 1.07 and 1.15 km² respectively, were mainly distributed in the northern and northeastern parts. 2) The complexity, richness, and fragmentation of rural settlement types generally showed an increasing trend. The development of rural settlement types was most gradual from 1990 to 2000 and most intense from 2010 to 2022, with the expansion primarily occurring in Xingjie Village, Laojie Village, and their surrounding areas. Across the study scale, rural settlement types exhibited a clustering trend, which weakened as the spatial scale increased, and the urbanization process led to a reduction at spatial scale. 3) Under all three scenarios, the area of rural settlements showed an increasing trend, with the areas reaching 11.42, 7.68 and 9.14 km², respectively. The core type was identified as the dominant type in the study area, with its area increasing by 4.02, 2.60 and 3.14 km², respectively. Rural settlement types exhibited a clustering distribution pattern across spatial scales, with the ecological protection scenario restricting the expansion of rural settlements. [Conclusion] Rural settlements in the study area are in a rapid development stage, with expansion mainly occurring in the core areas. The expansion of isolated patches has increased the complexity of the spatial distribution of rural settlements, and during the urbanization process, rural settlements have gradually concentrated within smaller spatial scales.

Keywords: peak-cluster depressions; rural settlement; morphological characteristics; laws of spatial evolution

Received: 2024-08-12

Revised: 2024-09-01

Accepted: 2024-09-28

Online(www.cnki.net): 2024-12-04

乡村聚落指从事农业生产密切相关的人群,在一定地域范围内集中居住的现象、过程与形态,包括农村的单家独院、村庄和乡村集镇^[1]。乡村聚落景观是乡村聚落的空间组织形态,是人类活动叠加于自然景观之上的复合景观形式^[2]。随着社会经济的全面发展,城镇化水平快速提升,乡村聚落发生巨大变迁,但乡村聚落依旧呈现出数量多、规模小、分布无序、空心化及“三农”等问题,严重阻碍乡村聚落可持续发展^[3-4]。乡村聚落空间作为乡村振兴战略落地实施的平台,其空间格局时空演变特征可以为协调乡村稳步发展提供依据^[5-6]。

国外对乡村聚落的研究起步较早,研究相对成熟,国内对乡村聚落的研究主要包括乡村聚落空间格局演变与影响因素^[7],乡村聚落空废化^[8]与区位特征,乡村聚落类型划分与布局优化等方面^[9],主要突出人文因素对乡村聚落的影响,并且形成自上而下的研究体系。近年来,诸多学者对乡村聚落进行研究,CHEN 等^[10]通过识别乡村聚落的空间格局特征和影响因素发现,乡村聚落位置主要受海拔、距耕地距离,距主干道距离的影响,而乡村聚落规模主要受坡度,地表起伏度,距城市中心距离的影响;石亚灵等^[11]从社会网络视角出发探讨乡村人口空心化机制并指引规划;王林等^[12]以乡镇为划分单元,基于“三维”特征耦合形成 8 种村镇聚落类型,并分类提出空间优化和

治理建议;许建和等^[13]从土地资源因素与交通条件视角探索乡村聚落的空间分布与格局优化手段与措施;冀正欣等^[14]探讨乡村聚落空间形成与演变机理,内涵及分类,系统梳理乡村聚落空间优化研究的进展。上述研究都为乡村聚落发展与整治提供有效借鉴,但缺乏对岩溶乡村聚落时空演变普遍规律的把握及对乡村振兴背景下未来城镇化过程中岩溶乡村聚落的时空变化分析,无法对岩溶乡村聚落布局优化和乡村聚落建设起到重要的参考作用。

峰丛洼地是八大喀斯特地貌类型中面积最大的区域,该区降水充沛,夏季湿热多雨,冬季温和少雨,相对其他喀斯特地貌类型区水热条件较好,但是,其水文系统具有的二元结构,导致其缺水、少土,土地承载力低和人地矛盾突出,甚至一些地区曾被联合国称为最不适合人类居住的地区,随着经济发展及国家政策和资金支持,城市化进程加快使得岩溶乡村聚落格局发生较大变化。本文以典型峰丛洼地区兴街镇作为研究区,基于形态学空间格局分析(morphological spatial pattern analysis, MSPA)方法,借助 ArcGIS 平台和 PLUS 平台,分析兴街镇 1990—2035 年乡村聚落的形态学特征及空间演变规律,实现对乡村聚落过去-现在-未来的时空变化特征分析,从而揭示峰丛洼地石漠化区乡村聚落变化的一般规律,为峰丛洼地石漠化区乡村聚落的空间布局,新农村建设和乡村振兴政策的制定提供参考。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

兴街镇隶属云南文山西畴县(图 1),地处西畴县西南部,下辖兴街村、老街村、磨合村、甘塘子村、东升村、清河村、龙坪村、牛塘子村、兴隆村、江六村、安乐村、三光村、啦孩村,全镇总面积 250 km²,镇人民政府驻兴街村距西畴县城 29 km。其降雨多集中于夏季,年平均降水量达 1 000 mm 以上。境内的畴阳河属红河流域泸江水系,流长 33 km,流域 27.1 km²,自北向南流经龙坪、清河、东升、兴街、老街、安乐 6 个村与盘龙河交汇。其地势西北低,东南高,东部土山区和由北向南的畴阳河流域是坝区,为侵蚀中低山沟谷地形,西部为溶蚀洼地地形。

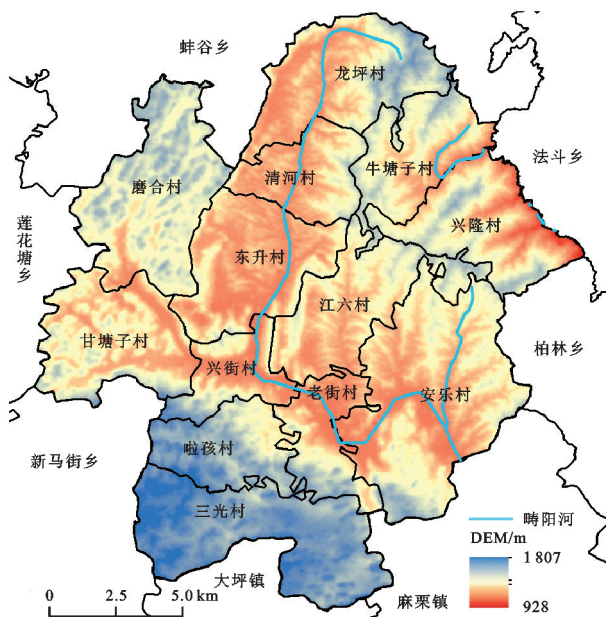


图 1 研究区概况

Fig.1 Overview of the study area

1.2 数据来源及预处理

本文 1990—2022 年影像数据来源于地理空间数据云,其空间分辨率为 30 m,利用 ENVI 5.2 软件进行影像预处理,并对预处理的影像利用监督分类(supervised classification)方法获取研究区土地利用数据,利用混淆矩阵进行精度验证,4 期土地利用分布的 Kappa 系数分别为 0.68、0.67、0.74、0.72。基于 PLUS 平台预测 2035 年土地利用数据中所需的限制因子包括高程(DEM,30 m 分辨率)、坡度(slope)、人口密度和人均 GDP,其中高程来源于地理空间数据云,坡度则根据 DEM 数据提取,人口密度与人均 GDP 来源于资源环境科学与数据中心。

1.3 研究方法

1.3.1 PLUS 模型多情景预测 PLUS 模型是由中国地质大学高性能空间计算智能实验室开发^[15],以元胞自动机和土地利用斑块为基础构建的模型;利用 PLUS 模型中的 LEAS 和 CARS 模块来模拟不同情景下的土地利用类型变化。本文基于 2000 年与 2010 年土地利用数据预测 2022 年土地利用数据,并与实际的 2022 年土地利用数据进行对比,验证结果显示,Kappa 系数为 72.31%,并结合研究区情况与相关研究^[16],设置 3 种发展情景对研究区 2035 年土地利用进行预测:1)自然发展。保持各土地利用类型转移概率不变;2)经济发展。耕地、林地、草地向建设用地的转移概率增加 30%,建设用地向耕地、林地和草地概率降低 40%;3)生态保护。林地和草地向建设用地的转移概率降低 50%,耕地向建设用地的转移概率降低 30%,耕地和草地向林地的转移概率提高 40%^[17]。在预测分析中,通过修改土地利用类型转移矩阵(表 1)来实现 3 种情景的模拟。

表 1 不同情景下土地利用转移矩阵

Table 1 Land use transfer matrix under different scenarios

土地利用 类型	自然发展					经济发展					生态保护				
	林地	耕地	建设用地	水域	草地	林地	耕地	建设用地	水域	草地	林地	耕地	建设用地	水域	草地
林地	1	1	1	0	1	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0
耕地	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1
建设用地	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
水域	0	0	0	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	0
草地	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1

1.3.2 基于 MSPA 方法的乡村聚落形态学分析 区别于传统的乡村聚落分析,本研究应用形态学空间格局分析方法分析乡村聚落的形态学特征及空间演变规律,该方法是以数学形态学为基础理论,可将研究区土地利用栅格图像的空间格局识别为核心等乡村聚落类型。首先,基于研究区 1990—2022 年土地利用数据及 2035 年不同情景下土地利用模拟图,在 ArcMap 中利

用重分类工具将林地、耕地、水域和草地设为背景值,建设用地设为前景值,并导出二值栅格数据。将二值栅格数据导入 Guidos Tool Box 软件中,基于四邻八域原则,边缘宽度设为 1,对图像进行分析识别、分割和处理,将乡村聚落分为核心、孤岛和分支等 7 类互不重叠的形态学乡村聚落类型见表 2^[18],从而实现对乡村聚落的形态学特征及空间演变规律的分析。

表 2 乡村聚落类型及其生态学含义

Table 2 Morphological landscape types and their ecological implications

乡村聚落类型	生态学含义
核心	前景中较大的乡村聚落斑块,对乡村聚落空间格局优化具有重要意义,是生态网络中的生态源地
孤岛	彼此间孤立的或联系微弱的小型乡村聚落斑块
孔隙	核心和内部非建设用地斑块之间的过渡区域
边缘	核心区 and 外部非建设用地区域之间的过渡区域
环线	连接同一核心的内部廊道,是核心斑块内部进行物种扩散和能量交流的通道
桥接	连接不同核心之间的廊道,是相邻核心斑块间进行能量、物质交换的通道
分支	只有一端与边缘、桥接、环道或者孔隙等相连的区域、是核心斑块与外围景观进行物质、能量交换的通道

1.3.3 景观格局指数 景观指数不仅可浓缩景观格局信息,反映其结构组成,而且能够定量描述景观格局的状态和变化^[19]。参考前人^[20-21]研究成果,在类型水平,选取最大斑块指数(LPI)、斑块密度(PD)、斑块面积指数(CA)、聚合度指数(AI),在景观水平上选取 Shannon 多样性指数(SHDI)、Shannon 均匀度指数(SHEI)、景观形状指数(LSI)、斑块数量指数(NP)等 8 个景观格局指数来进行乡村聚落的景观格局分析。

1.3.4 景观综合动态度 本文利用景观综合动态度来反映研究区一定时期内乡村聚落类型变化的剧烈程度^[22],根据研究区实际情况与相关研究,利用研究区行政村边界数据,分别计算不同时期每个行政村景观综合动态度,探究研究区不同时期内乡村聚落类型动态变化的空间差异^[23],计算公式为:

$$L_c = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta(K_{bi} - K_{ai})}{2 \sum_{i=1}^n K} \times \frac{1}{S} \times 100\% \quad (1)$$

式中: L_c 为景观综合动态度,%; K_{ai} 为研究区初期 i 类乡村聚落类型面积,km²; K_{bi} 为研究区末期 i 类乡村聚落类型面积,km²; $\Delta(K_{bi} - K_{ai})$ 为研究时段内末期第 i 类乡村聚落类型面积减初期第 i 类乡村聚落类型面积的绝对值,km²; K 为研究时段内初期乡村聚落类型总面积,km²; S 为研究时段。

1.3.5 Ripley K 函数 Ripley K 函数是空间点模式分析的常用方法之一,其把景观看做空间内的一个点,以景观点作为基础分析景观空间分布格局^[24-25]。乡村聚落的分布可能随研究尺度的改变而改变,Ripley K 函数可分析多尺度下的空间分布格局,计算公式为:

$$K(d) = \frac{S}{N^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n I_h(d_{ij}) \quad (2)$$

式中: S 为研究区面积,km²; N 为聚落总数; d_{ij} 为聚落 i 与乡村聚落 j 间的距离,km; h 为空间尺度大小,km; I_h 为指示函数,当 $d_{ij} < h$, $I_h = 1$, $d_{ij} \geq h$, $I_h = 0$ 。

K 函数的计算结果本身很难直观地看出其分布性质。BESAG^[26] 提出对 $K(d)$ 进行开方变换,即用 $L(d)$ 代替 $K(d)$ 。

$$L(d) = \sqrt{\frac{K(d)}{\pi}} - d \quad (3)$$

式中:当 $L(d) > 0$ 时,农村聚落在对应尺度 d 上呈集聚分布;当 $L(d) < 0$ 时,农村聚落在对应尺度 d 上呈分散趋势;当 $L(d) = 0$ 时,农村聚落在对应尺度 d 上呈完全随机分布。

2 结果与分析

2.1 乡村聚落类型时空演变分析

2.1.1 乡村聚落类型空间分布 由图 2 可知,1990 年与 2000 年乡村聚落类型主要以孤岛为主,主要分布在研究区北部和东北部,而 2010 年与 2022 年由孤岛转变为以核心为主,主要分布在研究区中部,表明 1990—2000 年未出现大面积的乡村聚落分布,此时乡村聚落发育缓慢,其主要在原址进行新建并未向四周出现大范围的扩张,然而 2000 年以后,核心逐渐成为主要的乡村聚落类型,说明乡村聚落开始向四周扩张,导致研究区内出现大面积的乡村聚落斑块。1990—2022 年,研究区乡村聚落呈持续扩张的趋势,其扩张区域主要在兴街村及其周边地区,究其原因主要是该区域位于畴阳河流域内属于坝区,地形与水热条件较好有利于乡村聚落的发展。

在 3 种情景下,乡村聚落的分布特征与 2022 年相比并未出现太大变化,主要分布在东升村、兴街村和老街村,并且乡村聚落类型依旧以核心聚落为主且有明显增加。与 2022 年相比,除核心与边缘外,在经济情景与自然情景下乡村聚落类型均明显增加,而生态保护情景下则是明显减少;与自然情景相比,经济情景下各乡村聚落类型扩张明显优于自然情景,而生态保护情景则与之相反。

2.1.2 乡村聚落类型面积分布特征 由表 3 可知,1990—2022 年乡村聚落面积由 1.48 增加至 7.57 km²,呈持续增加趋势,其中 1990—2000 年增加幅度较小,仅增加 0.01 km²,2010—2022 年增加幅度较大,增加 5.12 km²。从乡村聚落类型来看,1990—2000 年除孤岛面积增加 0.24 km²,其余乡村聚落类

型均减少,2000 年以后各乡村聚落类型均呈上升趋势,至 2022 年核心增加幅度最大,为 1.93 km²;由各乡村聚落类型的生态学含义可知,在 1990—2000 年乡村聚落发育缓慢且乡村聚落类型彼此间连接度较

低,而 2000—2022 年,研究区乡村聚落得到快速发育并出现大面积的乡村聚落空间。1990—2010 年孔隙与环线未全部出现,说明聚落的连通性与整体性较低,聚落发展并不平衡。

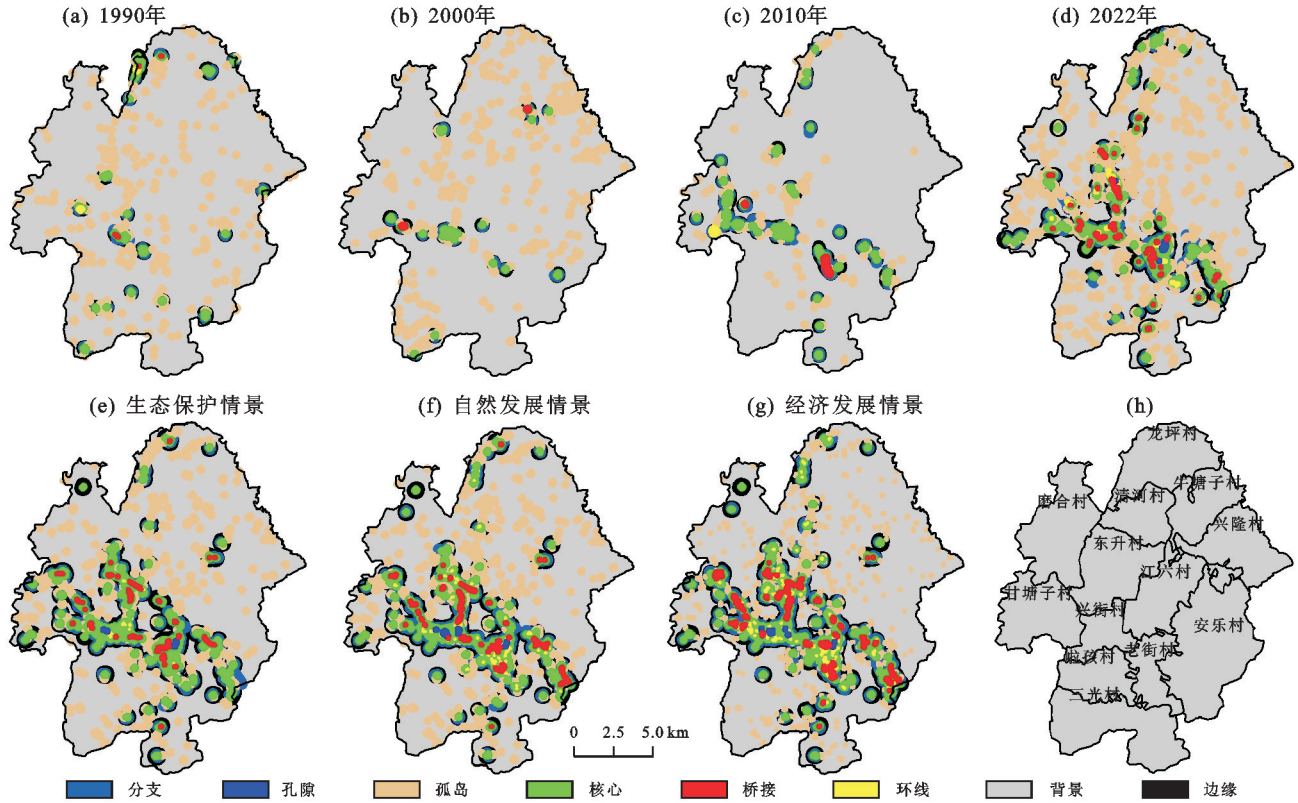


图 2 云南省西畴县兴街镇 1990—2035 年不同情景下乡村聚落类型分布

Fig.2 Distribution of rural settlement types under different scenarios in Xingjie Town, Xichou County, Yunnan Province form 1990 to 2035

3 种情景下,乡村聚落面积发育情况为经济发展情景>自然发展情景>生态保护情景,其面积分别为 11.42、9.14、7.68 km²,与 2022 年相比面积分别增加 3.85、1.57、0.11 km²。

3 种情景下,核心的面积占比最大,分别为 35.20%、33.85%、34.35%,孔隙的面积占比最少,面积占比均未超过 1%;并且除孔隙外,其余的乡村聚落类型面

积均呈经济发展情景>自然发展情景>生态保护情景;说明经济发展情景中,乡村聚落虽然发展迅速,但是,乡村聚落扩张将对非建设用地造成破坏而降低研究区的生态质量。而生态保护情景下,乡村聚落虽然有所扩张,其扩张面积小于自然发展情景,说明在生态保护情景下抑制乡村聚落的扩张,并且乡村聚落主要在核心周围进行扩张。

表 3 云南省西畴县兴街镇 1990—2035 年不同情景下乡村聚落类型及面积占比

Table 3 Types and area share of poly-country clusters under different scenarios in Xingjie Town, Xichou County, Yunnan Province form 1990 to 2035

景观类型	1990 年		2000 年		2010 年		2022 年		经济发展情景		生态保护情景		自然发展情景	
	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%	面积/km ²	比例/%
边缘	0.44	29.73	0.29	19.46	0.79	32.24	1.95	25.76	2.91	25.48	2.48	32.29	2.68	29.32
分支	0.11	7.43	0.07	4.70	0.34	13.88	1.18	15.59	1.33	11.65	0.90	11.72	1.10	12.04
孤岛	0.64	43.24	0.88	59.06	0.47	19.18	1.79	23.65	1.62	14.19	1.34	17.45	1.31	14.33
核心	0.27	18.24	0.24	16.11	0.81	33.06	2.17	28.67	4.02	35.20	2.60	33.85	3.14	34.35
环线	0.01	0.68	—	—	0.01	0.41	0.09	1.19	0.63	5.52	0.07	0.91	0.36	3.94
孔隙	—	—	—	—	—	—	0.06	0.79	0.07	0.61	0.06	0.78	0.08	0.88
桥接	0.02	1.35	0.01	0.67	0.03	1.22	0.34	4.49	0.85	7.44	0.23	2.99	0.47	5.14
总计	1.48	0.59	1.49	0.60	2.45	0.98	7.57	3.03	11.42	4.57	7.68	3.07	9.14	3.66

2.2 乡村聚落类型景观格局指数与景观综合动态度分析

2.2.1 景观格局指数分析 景观类型水平景观格局指数(图 3)中,由斑块面积指数(CA)可知,1990—2022 年研究区乡村聚落类型以边缘、分支、孤岛和核心为主,其中,1990 年和 2000 年孤岛为最主要的乡村聚落类型,而 2010 年和 2022 年则是以核心为主,说明 1990—2000 年聚落发展缓慢,乡村聚落未出现大面积的分布,而 2000—2022 年乡村聚落开始发展迅速,乡村聚落呈连片分布趋势。斑块密度(PD)反映景观类型的破碎化程度,其值越小说明景观的破碎化程度越小,1990—2022 年,各乡村聚落类型的 PD 呈持续增加趋势,其中,孤岛的 PD 最大;从聚合度指数(AI)来看,各乡村聚落类型的聚合度指数(AI)在 1990—2022 年处于较高水平,说明乡村聚落在扩张

的过程中破碎化程度逐渐加剧,其离散程度降低,并且其破碎化程度的加剧主要表现在孤岛的扩张上。从最大斑块指数(LPI)来看,核心是研究区内的优势乡村聚落类型,并且其 LPI 呈上升趋势,表明乡村聚落扩张过程中主要表现在核心扩张。

由图 3 可知,3 种情景下,各乡村聚落类型的面积和破碎化程度呈经济发展情景>自然发展情景>生态保护情景的变化趋势。从斑块面积指数(CA)、聚合度指数(AI)和最大斑块指数(LPI)可以发现,3 种情景下,各乡村聚落类型与 2022 年相比变化不大,边缘、分支、孤岛和核心依旧是研究区内的主要乡村聚落类型;其中核心是研究区内的优势类型,但从斑块密度指数(PD)来看,分支和孤岛的 PD 均处于较高水平。说明乡村聚落在扩张的过程中破碎化程度将继续加剧,主要表现在分支和孤岛的扩张上。

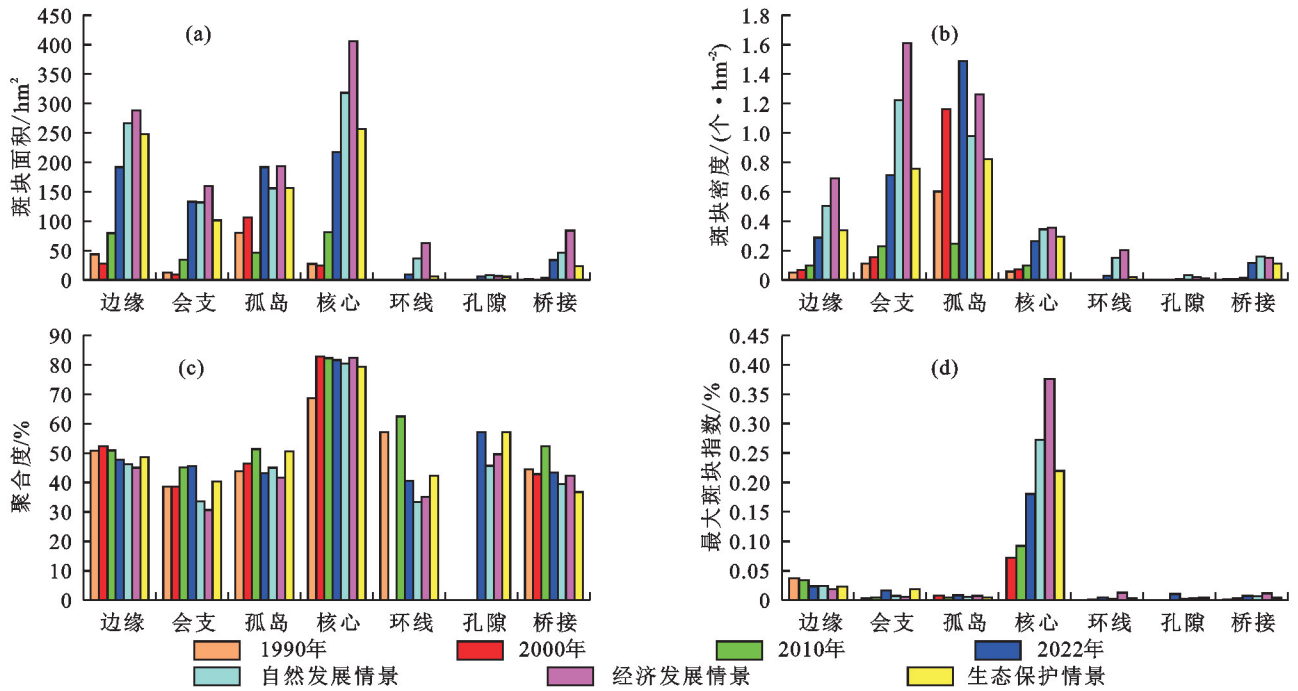


图 3 云南省西畴县兴街镇 1990—2035 年不同情景下乡村聚落类型水平景观格局指数

Fig.3 Horizontal landscape pattern index of rural settlement types under different scenarios in Xingjie Town, Xichou County, Yunnan Province from 1990 to 2035

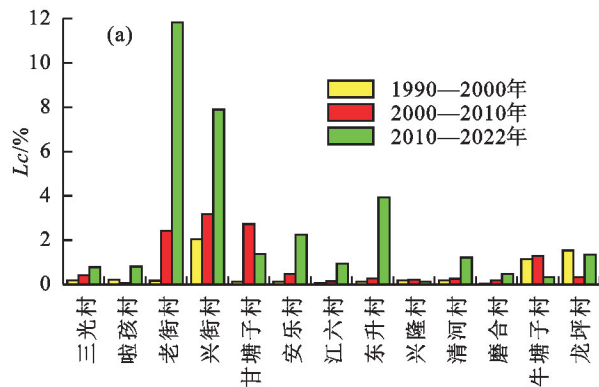
由表 4 可知,1990—2022 年香农多样性指数(SHDI)和香农均匀度指数(SHEI)整体上呈上升趋势,说明各乡村聚落类型趋于破碎化且各乡村聚落类型面积分布越来越不均匀,主要是由于城镇化的发展导致建设用地面积增加。景观形状指数(LSI)与斑块数量指数(NP)呈先降后升但整体处于上升趋势,说明乡村聚落形状日趋复杂,且乡村聚落的破碎化程度持续加深。3 种情景下,景观格局指数呈经济发展情景>自然发展情景>生态保护情景的变化趋势,说明经济发展情景下,乡村聚落快速扩张从而导致各乡村聚落类型增加,以至于该情景下乡村聚落类

型破碎化最为严重,景观形状最为复杂,景观的异质性提高。

2.2.2 景观综合动态度分析 由图 4 可知,在 1990—2000 年,除兴街村外其余区域的景观综合动态度均在 2% 以下,仅兴街村范围内的景观综合动态度为 2%~3%,2000—2010 年与前一研究时段相比,虽然甘塘子、兴街和老街的景观综合动态度明显升高,但除此之外的其余区域景观综合动态度仍在 2% 以下,而 2010—2022 年景观综合动态度变化明显,在此研究时段,兴街和老街的景观综合动态度在 6% 以上,景观综合动态度<1% 的区域大幅减少。说明

1990—2000 年,研究区内乡村聚落扩张缓慢,仅在新街村内扩张较为明显,而 2000—2010 年随着经济的发展乡村聚落有所扩张,但研究区乡村聚落发育水平整体上处于较低水平,最后在 2010—2022 年乡村聚落扩张最为明显,各个乡村聚落类型都得到快速发育,并且乡村聚落的扩张主要发生在畴阳河流域内。整体来看,1990—2022 年景观综合动态变化主要在兴街和老街等中部地区,究其原因兴街村是研究区的经济中心,并且兴街村等中部地区位于畴阳河流域内其水热条件较好有利于乡村聚落扩张。

3 种情景下,景观综合动态度的演变主要发生在兴街、老街、东升和江六等区域,说明在该区域乡村聚落类型演变较为激烈,即乡村聚落在该区域集中发展,主要是由于该区域位于研究区内的畴阳河流域且与镇政府所在地兴街村相接,有利于乡村聚落的发展,从而导致乡村聚落类型在该区域演变激烈。在 3 种情景下,景观综合动态度演变程度有明显差异,经



济发展情景的景观综合动态度演变最为激烈,生态保护情景的景观综合动态度演变最为平缓,说明在经济发展情景下乡村聚落类型演变最为激烈,即反映出乡村聚落在该情景下发展最为迅速。

表 4 云南省西畴县兴街镇 1990—2035 年不同情景下乡村聚落景观水平景观格局指数

Table 4 Landscape pattern index of rural settlement landscape level under different scenarios, Xingjie Town, Xichou County, Yunnan Province from 1990 to 2035

年份及情景	SHDI	SHEI	LSI	NP
1990	0.705 6	0.339 3	3.768 8	366
2000	0.047 7	0.026 6	3.660 3	367
2010	0.717 7	0.345 2	3.861 3	298
2022	0.791 8	0.360 3	7.563 3	1 253
自然发展情景	0.809 8	0.368 5	8.140 9	1 483
经济发展情景	0.837 2	0.381 0	9.616 2	1 902
生态保护情景	0.788 6	0.358 9	6.946 5	1 015

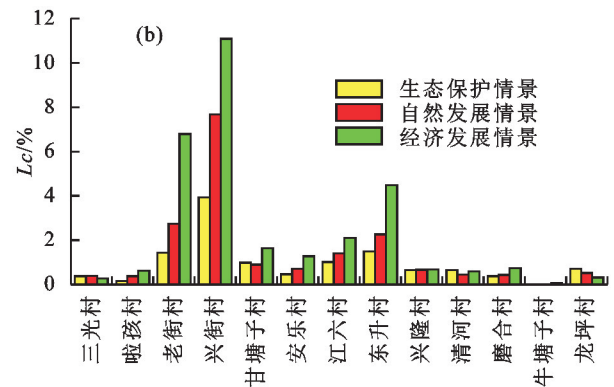


图 4 云南省西畴县兴街镇 1990—2035 年不同情景下乡村聚落类型综合动态度变化

Fig. 4 Schematic diagram of changes in the integrated dynamic attitudes of rural settlement types under different scenarios from 1990 to 2035 in Xingjie Town, Xichou County, Yunnan Province, China

2.3 乡村聚落类型空间集聚演变分析

结合研究区乡村聚落类型的实际情况,选择孤岛、核心、边缘和分支 4 个乡村聚落类型进行空间集聚演变分析。由图 5 可知,所选乡村聚落类型在研究尺度下均呈显著的聚集空间格局,但超过其特征空间尺度乡村聚落类型的空间集聚分布的特征减弱。1990—2022 年孤岛和分支的特征空间尺度为 10 km,在 1~10 km 特征空间尺度上,其空间聚集程度随距离增加而增大,超过此特征空间尺度后,孤岛和分支的空间分布均匀程度越来越高。核心和边缘 1990 年、2000 年的特征空间尺度为 12.5 km,而 2010 年和 2022 年特征空间尺度为 7.5 km,并且 2022 年聚集程度明显高于其他年份,1990 年、2000 年在 1~12.5 km,2010 年、2022 年在 1~7.5 km 的特征空间尺度上,核心和边缘随着距离的增加其聚集程度增加,超过此特征空间尺度,核心和边缘的空间分布均匀程度越来越高。

1990 年、2000 年在 12.5 km 尺度上出现 $L(d)$ 波峰,而 2010 年、2022 年 $L(d)$ 峰值出现在 7.5 km 的尺度上,峰值出现的空间尺度缩小,说明城镇化过程边缘与核心逐渐聚集在较小的空间尺度。

3 种情景下,乡村聚落类型空间集聚特征与 1990—2022 年相同,在所有研究尺度下均呈显著聚集空间格局,超过特征空间尺度后乡村聚落类型的空间集聚分布的特征减弱。在相同空间尺度上,经济发展情景的 $L(d)$ 最大,生态保护的 $L(d)$ 最小,即经济发展情景下,乡村聚落类型空间集聚程度最大,生态保护情景下,乡村聚落类型空间集聚程度最小。3 种情景下,孤岛和分支的特征空间尺度为 10 km,核心和边缘的特征空间尺度为 7 km,与 2022 年相比 2035 年不同情景下,边缘与核心空间尺度继续缩小,说明城镇化过程边缘与核心面积增加导致其逐渐聚集在较小的空间范围。1990—2035 年乡村聚落类型在空

间尺度内处于集聚分布且空间尺度有所减小,其主要原因是 2017 年“乡村振兴战略”提出后乡村城镇化进

程加快,造成各乡村聚落类型得到快速发展并逐渐在较小的空间尺度内集聚分布。

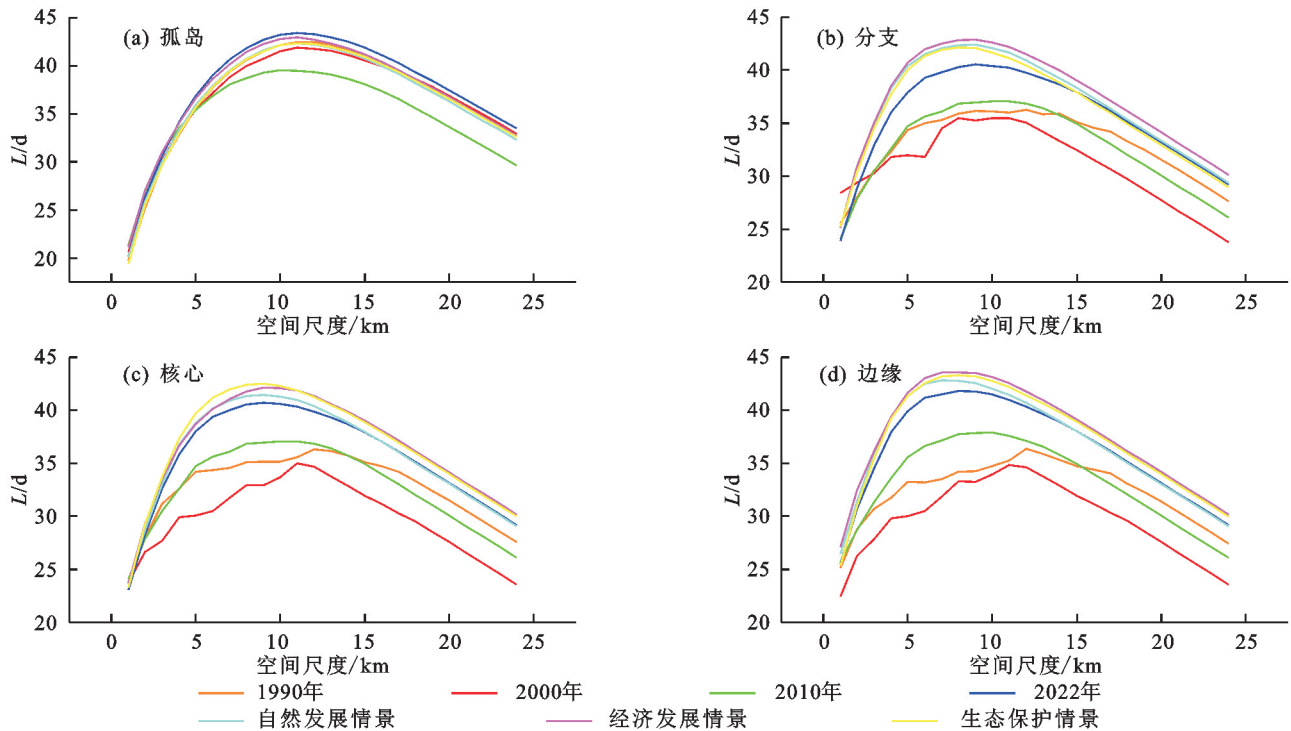


图 5 云南省西畴县兴街镇 1990—2035 年不同情景下聚落类型 Ripley $L(d)$ 指数分析
Fig. 5 Ripley $L(d)$ index analysis for different scenarios of colony types in Xingjie Town, Xichou County, Yunnan Province, China from 1990 to 2035

3 讨论

根据研究区乡村聚落类型的面积变化特征及空间分布特征,可把各研究区乡村聚落类型的演变大致分为 3 个阶段。1990—2000 年为缓慢变化阶段,研究区乡村聚落类型以孤岛为主且核心在研究区内变化平缓,说明此时乡村聚落出现扩张但乡村聚落扩张并不明显。究其原因主要是 1990—2000 年研究区以农业为主,二、三产业发展缓慢且住房建设大多是以原地修建从而导致聚落扩张不明显^[4]。2000—2010 年为缓慢扩张阶段,乡村聚落类型以核心为主,兴街村与甘塘子村核心扩张明显,2010 年以后为明显扩张阶段,此阶段研究区乡村聚落类型得到快速发展,尤其是核心与环线扩张最为明显,说明在 2000 年以后,随着社会经济的发展聚落开始向四周扩张,并且随着时间的推移乡村聚落扩张迅速。1990—2035 年乡村聚落破碎化程度越来越高,核心、边缘、分支和孤岛是研究区的主要乡村聚落类型,其空间结构特征演变是造成研究区乡村聚落向着复杂化,丰富化和破碎化发展的主要因素。1990—2035 年在兴街村、老街村、甘塘子村、东升村和安乐村等中部区域景观综合动态变化较为激烈,说明在 1990—2035 年乡村聚落主要在研究区中部区域扩张,究其原因主要是乡村

聚落空间格局的演变受到社会经济发展状况、城镇化、工业化和交通发展等因素的影响^[27],并且研究区中部区域位于畴阳河流域内且靠近兴街镇的经济文化中心,造成该区域社会经济和水热条件优于其他地区,有利于乡村聚落的扩张。研究区所选的乡村聚落类型在 1990—2035 年 $L(h) > 0$,表明 1990—2035 年,乡村聚落类型的空间分布格局属于集聚分布随着空间尺度的增加,乡村聚落类型的空间分布聚集特征减弱。1990—2035 年随着孤岛和分支面积和数量的增加,但其空间尺度均为 10 km,说明孤岛和分支变化幅度较小,不是研究区内乡村聚落扩张的主要类型,而边缘和核心面积和数量的增加,其空间尺度由 12.5 缩减至 7 km,说明随着边缘和核心面积的增加,乡村聚落类型逐渐聚集在较小的空间尺度^[28]。

通过对 3 种情景的分析发现,经济发展情景下,乡村聚落虽然可得到快速扩张,但破坏各类非建设用地,而生态保护情景则是与经济发展情景完全相反,并且 3 种情景下,乡村聚落类型在面积、破碎化程度、动态变化度和空间聚集程度等方面,均呈经济发展情景 > 自然发展情景 > 生态保护情景的趋势。说明在城镇化过程中不应过分追求经济发展或生态保护,应该平衡二者之间的关系,实现可持续发展。并且应针

对不同乡村聚落的类型进行空间格局优化。针对不同的乡村聚落类型,宜采取不同的调整策略,从核心类型上看,应坚持合理引导与合理规划,完成对整个乡村聚落的内部改造和全面扩展,增强聚落的多功能性;从孤岛和分支类型上看,其代表着研究区内面积较小和分布分散的乡村聚落,应对其适当拆迁、保护,进行一定程度的扩张增强各个乡村聚落间的连通性。从乡村聚落的空间构成看,研究区中部的兴街和老街新增聚落斑块最多,是研究区聚落空间格局优化的重点,应合理配置基础设施,促进乡村聚落集约化,内涵式发展^[29]。

本研究利用形态学空间格局分析方法,将乡村聚落识别,分割为核心、孤岛等 7 类互不重叠的乡村聚落类型,通过景观格局指数等方法对研究区乡村聚落类型进行定量分析发现,乡村聚落处于快速扩张阶段并且乡村聚落类型空间分布不平衡,乡村聚落的破碎化程度不断加剧,乡村聚落类型在空间尺度内都处于集聚分布,并且乡村聚落的扩张主要在研究区内的畴阳河流域内;其形成机理是由于该流域内地势平坦,水热条件较好,并且在 2017 年,提出“乡村振兴战略”,使得乡村聚落在该流域内扩张而造成乡村聚落的分布特征。本研究可为在峰丛洼地石漠化区构建更加科学有效的乡村聚落指标体系,将形态学空间分析法与其他测度方法在该区域内的综合应用,以及进一步融入人-地关系要素对乡村聚落深入分析提供参考。

4 结论

1) 1990—2022 年研究区乡村聚落面积呈持续增加趋势,其面积增加 6.09 km²。1990—2000 年研究区乡村聚落类型以孤岛为主,主要分布在研究区北部和东北部,1990—2022 年其面积增加 1.15 km²;2000 年以后,核心逐渐成为主要聚落类型,主要分布在研究区中部,1990—2022 年核心面积由 0.27 增加至 2.17 km²,并且研究区乡村聚落的扩张主要表现为核心的扩张。

2) 研究区 1990—2022 年,孤岛的扩张导致乡村聚落的多样性、复杂程度及景观破碎化程度增加,且核心是研究区内的优势乡村聚落类型。在研究时段内,1990—2000 年乡村聚落类型发育最为平缓,2010—2022 年乡村聚落类型发育最为激烈。研究区乡村聚落的扩张主要集中在兴街村、老街村和甘塘子村等中部地区的畴阳河流域内。乡村聚落类型在研究尺度内呈现集聚的空间分布特征,并且随着空间尺度的增加,乡村聚落类型聚集度降低趋于均匀分布及在城镇

化过程中乡村聚落逐渐聚集在较小的空间尺度。

3) 2035 年 3 种情景下,乡村聚落类型中核心聚落是绝对的优势景观,空间聚集程度趋于聚集分布,乡村聚落类型主要集中在中部的兴街村、老街村、甘塘子村、安乐村和东升村等地发育,应及时对研究区中部进行生态环境保护、提高土地利用效率及优化乡村聚落空间格局。经济发展情景下,乡村聚落的丰富性、复杂程度和破碎化程度最为严重,并且在该情景下,乡村聚落的扩张降低研究区生态质量,而生态保护情景下乡村聚落虽然扩张,但乡村聚落的面积、破碎化程度及景观综合动态度低于自然发展情景,抑制乡村聚落的扩张。

参考文献:

- [1] 徐志荣,赵翠薇.喀斯特槽谷区近 50 年乡村聚落时空格局演化[J].水土保持研究,2020,27(5):365-372.
XU Z R, ZHAO C W. Temporal and spatial pattern evolution of rural settlements in the Karst trough valley area in the past 50 years[J].Research of Soil and Water Conservation,2020,27(5):365-372.
- [2] 雷清,苏维词.西南(岩溶)山区乡村聚落景观优化研究:以安顺市为例[J].水土保持研究,2008,15(3):251-254.
LEI Q, SU W C. Study and analysis on sustainable development of settlement landscapes in the area of southwest(karst) mountains: A case study of Anshun City[J].Research of Soil and Water Conservation,2008,15(3):251-254.
- [3] 师满江,颀耀文,曹琦.干旱区绿洲农村居民点景观格局演变及机制分析[J].地理研究,2016,35(4):692-702.
SHI M J, XIE Y W, CAO Q. The landscape evolution and mechanism analysis of rural settlements in the oasis of arid region[J].Geographical Research,2016,35(4):692-702.
- [4] 李阳兵,李睿康,罗光杰,等.贵州典型峰丛洼地区域近 50 年村落演变规律及驱动机制[J].生态学报,2018,38(7):2523-2535.
LI Y B, LI R K, LUO G J, et al. The evolution rules and the driving mechanisms behind rural settlement in the peak-cluster depressions of Guizhou Province, China, over the past 50 years[J].Acta Ecologica Sinica,2018,38(7):2523-2535.
- [5] LIU Y S, ZHANG F G, ZHANG Y W. Appraisal of typical rural development models during rapid urbanization in the eastern coastal region of China[J].Journal of Geographical Sciences,2009,19(5):557-567.
- [6] 余兆武,肖黎娜,郭青海,等.城镇化过程中福建省山区县农村聚落景观格局变化特征[J].生态学报,2016,36(10):3021-3031.
YU Z W, XIAO L S, GUO Q H, et al. Mountain county

- rural settlement landscape pattern change and spatial characteristics in rapid mountain urbanization process in Fujian Province[J].*Acta Ecologica Sinica*,2016,36(10):3021-3031.
- [7] SUN P L, XU Y Q, LIU Q G, et al. Spatiotemporal evolution and driving forces of changes in rural settlements in the poverty belt around Beijing and Tianjin: A case study of Zhangjiakou city, Hebei Province[J].*Journal of Mountain Science*,2017,14(5):980-997.
- [8] 关小克,王秀丽,张凤荣,等.生态刚性约束下的山区农村居民点整治与调控:以北京市门头沟区为例[J].*资源科学*,2017,39(2):220-230.
- GUAN X K, WANG X L, ZHANG F R, et al. Rehabilitation and adjustment of rural residences in mountainous areas under rigid ecological constraints [J]. *Resources Science*,2017,39(2):220-230.
- [9] 陈宗峰,李裕瑞,刘彦随.黄土丘陵沟壑区乡村聚落分布格局特征与类型[J].*农业工程学报*,2017,33(14):266-274.
- CHEN Z F, LI Y R, LIU Y S. Distribution pattern characteristic and type classification of rural settlements in loess hilly-gully region [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(14):266-274.
- [10] CHEN S, WANG X Y, LIN Q. Spatial pattern characteristics and influencing factors of mountainous rural settlements in metropolitan fringe area: A case study of Pingnan County, Fujian Province[J]. *Heliyon*, 2024, 10(4): e26606.
- [11] 石亚灵,肖亮,黄勇.社会网络视角的乡村聚落空心化机制及规划应对:四川达州五通庙村为例[J].*城市发展研究*,2023,30(4):121-132.
- SHI Y L, XIAO L, HUANG Y. Population hollowing of rural settlements based on social network and its planning: Wutongmiao Village of Dazhou Sichuan as an example[J]. *Urban Development Studies*, 2023, 30(4):121-132.
- [12] 王林,曾坚.鲁西南地区村镇聚落空间分异特征及类型划分:以菏泽市为例[J].*地理研究*,2021,40(8):2235-2251.
- WANG L, ZENG J. Spatial differentiation characteristics and types classification of rural settlements in southwest Shandong: A case study of Heze City[J]. *Geographical Research*,2021,40(8):2235-2251.
- [13] 许建和,柳肃,熊鹰,等.南方山地乡村聚落空间分布及其格局优化调整:以临武县西山瑶族乡为例[J].*经济地理*,2017,37(10):221-227.
- XU J H, LIU S, XIONG Y, et al. Spatial distribution and pattern optimization of rural settlements in southern mountain areas: A case study of Xishan Yao Nationality Township in Linwu[J]. *Economic Geography*, 2017, 37(10):221-227.
- [14] 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 Z X, XU Y Q, LU L H, et al. Research progress and prospects for spatial optimization of rural settlements [J].*China Land Science*,2021,35(6):95-104.
- [15] 唐志雄,宁荣荣,王德,等.黄河三角洲滨海湿地碳储量及其对未来多情景的响应[J].*生态学报*,2024,44(8):3280-3292.
- TANG Z X, NING R R, WANG D, et al. Carbon stocks in coastal wetlands of the Yellow River Delta and their response to future multi-scenarios[J].*Acta Ecologica Sinica*,2024,44(8):3280-3292.
- [16] 李倩,王成军,冯涛,等.基于SD-PLUS耦合模型的陕西省土地利用变化及碳储量多情景预测[J].*水土保持学报*,2024,38(3):195-206.
- LI Q, WANG C J, FENG T, et al. Multi-scenario prediction of land use change and carbon storage in Shaanxi Province based on the SD-PLUS coupled model[J].*Journal of Soil and Water Conservation*,2024,38(3):195-206.
- [17] 喇璐梦,勾蒙蒙,李乐,等.三峡库区生态系统服务权衡时空动态与情景模拟:以秭归县为例[J].*生态与农村环境学报*,2021,37(11):1368-1377.
- LA L M, GOU M M, LI L, et al. Spatiotemporal dynamics and scenarios analysis on trade-offs between ecosystem service in Three Gorges reservoir area: A case study of Zigui County[J].*Journal of Ecology and Rural Environment*,2021,37(11):1368-1377.
- [18] 戴菲,毕世波,郭晓华,等.基于形态学空间格局分析的伦敦绿地系统空间格局演化及其与政策的关联性研究[J].*国际城市规划*,2021,36(2):50-58.
- DAI F, BI S B, GUO X H, et al. Evolution of spatial pattern of London green space system based on morphological spatial pattern analysis and its relevance to policy [J].*Urban Planning International*,2021,36(2):50-58.
- [19] 李凤,周文佐,邵周玲,等.2000—2018年西秦岭景观格局变化及生态系统健康评价[J].*生态学报*,2023,43(4):1338-1352.
- LI F, ZHOU W Z, SHAO Z L, et al. Landscape pattern changes and ecosystem health assessment in the Western Qinling Mountains from 2000 to 2018[J].*Acta Ecologica Sinica*,2023,43(4):1338-1352.
- [20] 田昌园,张红丽,汪军红,等.近30年皖西大别山土壤侵蚀时空变化及其对景观格局的响应[J].*水土保持学报*,2024,38(3):37-44.
- TIAN C Y, ZHANG H L, WANG J H, et al. Temporal and spatial changes of soil erosion and its response to landscape pattern in Dabie Mountains of western Anhui in recent 30 years[J].*Journal of Soil and Water Conservation*,2024,38(3):37-44.
- [21] 刘佳依,许大为,徐嘉.基于InVEST模型的蒲河流域景

- 观格局及生境质量时空演变分析[J].水土保持学报, 2024, 38(2):258-267.
- LIU J Y, XU D W, XU J. Analysis of landscape patterns and spatio-temporal evolution of habitat quality in the PU river basin based on the in VEST model[J].Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(2):258-267.
- [22] 许诺瑾, 丁兵兵, 余新晓, 等. 基于土地利用变化的黄河上游四川段生态系统服务价值评价[J].水土保持学报, 2024, 38(2):178-189.
- XU N J, DING B B, YU X X, et al. Ecosystem service functions in the upper reaches of the Yellow River in Sichuan based on land use change value evaluation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2024, 38(2):178-189.
- [23] 刘玉卿, 张华兵, 孙小祥, 等. 1980—2018 年江苏里下河平原景观格局时空变化及其热点分析[J].浙江农林大学学报, 2022, 39(1):105-114.
- LIU Y Q, ZHANG H B, SUN X X, et al. Spatial-temporal variations of landscape pattern and hot spot analysis in the Lixiahe Plain of Jiangsu Province from 1980 to 2018 [J].Journal of Zhejiang A&F University, 2022, 39(1):105-114.
- [24] 葛莹, 朱国慧, 王华辰, 等. 基于 Ripley's K 函数浙江城市空间格局及其影响分析[J].地理科学, 2014, 34(11):1353-1360.
- GE Y, ZHU G H, WANG H C, et al. Pattern and impact of urban spatial distribution in Zhejiang Province based on Ripley's K function [J]. Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(11):1353-1360.
- [25] 罗君, 孙振示, 张学斌. 基于 Ripley's K 函数的绿洲景观格局演变分析:以张掖市甘州区为例[J].水土保持研究, 2019, 26(4):224-231.
- LUO J, SUN Z Q, ZHANG X B. Analysis of the characteristics and changes of landscape pattern of oasis in Ganzhou district of Zhangye City based on Ripley's K function[J].Research of Soil and Water Conservation, 2019, 26(4):224-231.
- [26] BESAG J. Spatial interaction and the statistical analysis of lattice systems[J].Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology, 1974, 36(2):192-225.
- [27] 李红波, 张小林, 吴江国, 等. 苏南地区乡村聚落空间格局及其驱动机制[J].地理科学, 2014, 34(4):438-446.
- LI H B, ZHANG X L, WU J G, et al. Spatial pattern and its driving mechanism of rural settlements in southern Jiangsu[J].Scientia Geographica Sinica, 2014, 34(4):438-446.
- [28] 任平, 洪步庭, 刘寅, 等. 基于 RS 与 GIS 的农村居民点空间变化特征与景观格局影响研究[J].生态学报, 2014, 34(12):3331-3340.
- REN P, HONG B T, LIU Y, et al. A study of spatial evolution characteristics of rural settlements and influences of landscape patterns on their distribution using GIS and RS[J].Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(12):3331-3340.
- [29] 王成, 费智慧, 叶琴丽, 等. 基于共生理论的村域尺度下农村居民点空间重构策略与实现[J].农业工程学报, 2014, 30(3):205-214.
- WANG C, FEI Z H, YE Q L, et al. Rural settlement space reconstruction strategy and implementation based on symbiosis theory on village scale[J].Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2014, 30(3):205-214.
- [21] 祁兰兰, 王敏, 王卿, 等. 基于 SDR 模型的抚仙湖流域生态安全空间分异特征研究[J].生态学报, 2023, 43(22):9527-9538.
- QI L L, WANG M, WANG Q, et al. Spatial differentiation characteristics of ecological security in Fuxian Lake Basin based on SDR model[J].Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(22):9527-9538.
- [22] 张鑫, 张丹, 张广森, 等. 关中平原城市群生态系统服务时空特征及生态功能区划分[J].干旱区地理, 2024, 47(9):1587-1595.
- ZHANG X, ZHANG D, ZHANG G S, et al. Spatiotemporal characteristics of ecosystem services and ecological function areas in Guanzhong Plain urban agglomeration[J].Arid Land Geography, 2024, 47(9):1587-1595.
- [23] SUN M Y, ZHANG L, YANG R J, et al. Construction of an integrated framework for assessing ecological security and its application in Southwest China[J].Ecological Indicators, 2023, 148:e110074.
- [24] 赵筱青, 石小倩, 李驭豪, 等. 滇东南喀斯特山区生态系统服务时空格局及功能分区[J].地理学报, 2022, 77(3):736-756.
- ZHAO X Q, SHI X Q, LI Y H, et al. Spatio-temporal pattern and functional zoning of ecosystem services in the karst mountainous areas of southeastern Yunnan[J].Acta Geographica Sinica, 2022, 77(3):736-756.

(上接第 347 页)