

# 云南省保山市传统村落人居环境适宜性 空间特征及影响因素

贺凯航<sup>1</sup>, 袁西<sup>1</sup>, 宋钰红<sup>1,2</sup>

(1.西南林业大学园林园艺学院, 云南昆明 650224;

2.国家林业和草原局西南风景园林工程技术研究中心, 云南昆明 650224)

**摘要:** [目的] 分析云南省保山市传统村落人居环境适宜性空间特征及影响因素, 为传统村落人居环境的建设与提升提供决策参考和理论支持, 促进山地型传统村落的保护、利用和可持续发展。[方法] 以云南省保山市142个国家级传统村落作为研究对象, 从自然环境、人文环境两方面构建涵盖地形、气候、经济等8个维度18项指标的评价体系, 采用主客观组合赋权及空间可视化方法评估保山市传统村落人居环境适宜性水平及其空间特征, 并综合运用地理探测器和地理加权回归模型分析影响传统村落人居环境适宜性的主导因素。[结果] ①保山市传统村落人居环境适宜性综合指数趋近于正态分布, 且存在较为明显的空间聚集现象。②保山市传统村落人居环境适宜性的影响因素间存在显著的交互作用, 其中商业设施密度与其他因素的协同作用是驱动空间分异特征的主导力量。③影响因素对保山市各传统村落人居环境适宜性的影响程度呈区域化差异。[结论] 保山市传统村落人居环境适宜性空间分异特征是多种影响因素共同作用下的产物, 各因素影响程度呈区域化差异。传统村落需根据自身情况制定差异化人居环境提升方案。

**关键词:** 传统村落; 人居环境适宜性评价; GWR模型; 空间特征; 云南省保山市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2025)06-0357-12

中图分类号: TU982.29

**文献参数:** 贺凯航, 袁西, 宋钰红. 云南省保山市传统村落人居环境适宜性空间特征及影响因素[J]. 水土保持通报, 2025, 45(6): 357-368. He Kaihang, Yuan Xi, Song Yuhong. Spatial characteristics and influencing factors of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City, Yunnan Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2025, 45(6): 357-368.

DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2025.06.010

CSTR: 32312.14.stbctb.2025.06.010

## Spatial characteristics and influencing factors of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City, Yunnan Province

He Kaihang<sup>1</sup>, Yuan Xi<sup>1</sup>, Song Yuhong<sup>1,2</sup>

(1.College of Landscape Architecture and Horticulture Science, Southwest Forestry

University, Kunming, Yunnan 650224, China; 2.Southwest Landscape Engineering &

Technology Center, National Forestry and Grassland Administration, Kunming, Yunnan 650224, China)

**Abstract:** [Objective] The spatial characteristics and influencing factors of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City, Yunnan Province were analyzed, in order to provide decision-making references and theoretical support for the construction and improvement of human settlements, and to promote the protection, utilization, and sustainable development of mountainous traditional villages. [Methods] Taking 142 national-level traditional villages in Baoshan City as research objects, this study constructed an evaluation system covering 18 indicators across eight dimensions—including topography, climate, and economy—from the perspectives of both natural and human environments. The subjective and objective combination weighting and spatial visualization were employed to evaluate the suitability level and spatial characteristics of human settlements.

收稿日期: 2025-05-21

修回日期: 2025-07-22

采用日期: 2025-07-28

资助项目: 国家自然科学基金项目“云南少数民族聚落景观基因图谱研究”(51968064), “滇藏茶马古道云南段古村落在多元文化影响下的景观格局保护研究”(31560231); 云南省“高层次人才培养支持计划”(YNWR-CYJS-2020-022); 云南省风景园林一流学科建设资助项目

第一作者: 贺凯航(2003—), 男(汉族), 湖南省株洲市人, 硕士研究生, 研究方向为风景园林规划设计与理论。Email: 2933511267@qq.com。

通信作者: 宋钰红(1970—), 女(汉族), 浙江省绍兴市人, 教授, 主要从事风景园林规划设计、乡村景观、城乡绿色空间等方面研究。Email: songyuhong@swfu.edu.cn。

Furthermore, geodetector and geographically weighted regression models were comprehensively utilized to analyze the dominant factors affecting the human settlement suitability in traditional villages. [Results] ① The comprehensive index of human settlement suitability for traditional villages in Baoshan City approximated a normal distribution and exhibited a relatively pronounced spatial clustering phenomenon. ② Significant interaction was observed among the influencing factors of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City. The synergy between commercial facility density and other factors was the dominant force driving the spatial differentiation characteristics. ③ The influence degree of influencing factors on the human settlement suitability of traditional villages in Baoshan City showed regional differences. [Conclusion] The spatial differentiation characteristics of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City are the results of the combined effects of multiple influencing factors. The influence degree of each factor exhibits regional differences. Therefore, differentiated improvement plans for human settlements should be formulated based on the specific conditions of each traditional village.

**Keywords: traditional villages; human settlement suitability evaluation; GWR model; spatial characteristics; Baoshan City of Yunnan Province**

传统村落作为物质与非物质文化遗产的载体,留存着古朴的建筑风貌、悠久的历史文化和鲜明的地域特色,其人居环境承载传统民俗风情,是中国农耕文明发展演变的重要见证<sup>[1]</sup>。随着工业化和城镇化进程的加快,传统村落相对封闭的外部环境逐渐开放,极大地改善了传统村落人居环境质量,但伴随而来的聚落空心化、生态退化、设施落后、区域发展不平衡等一系列问题,同样也给传统村落人居环境带来了巨大挑战<sup>[2]</sup>。鉴于此,为保护传统村落并实现其人居环境的可持续发展,国家采取了一系列积极应对措施。2021年,政府部门出台《农村人居环境整治提升五年行动方案(2021—2025年)》<sup>[3]</sup>等文件,为传统村落人居环境可持续性发展指明了方向。人居环境适宜性作为评估区域可持续性发展的关键指标,已受到学者们的广泛关注,研究传统村落人居环境适宜性对于指导其人居环境提升有着重要的意义<sup>[4]</sup>。

人居环境适宜性是对适宜居住程度的综合评价,是对人居环境质量优劣进行科学的定量描述和评估的理论<sup>[5]</sup>。研究人居环境适宜度对提高人居环境质量、促进人居环境可持续性发展具有重要意义。目前,对于人居环境适宜度的研究主要包括城市人居环境适宜性评价<sup>[6]</sup>、人居环境自然适宜性评价<sup>[7]</sup>、乡村人居环境适宜度研究<sup>[5]</sup>、人居环境评价时空演变<sup>[8]</sup>、人居环境适宜性空间格局等<sup>[9]</sup>。研究方法多采用问卷调查法、层次分析法、模糊综合评价法、熵值法及GIS空间自相关等<sup>[10-11]</sup>方法。现有研究对人居环境适宜性已做出大量探索,但大多集中于人居环境适宜性评价及空间分布特征相关研究,对深入探究其影响因素作用强度、作用方式以及作用差异性相关研究较少。尤其对于地形复杂、生态环境敏感、

发展相对滞后的山区乡村聚落而言,人居环境适宜性的相关研究则更为缺乏。针对上述问题,本研究试图对传统村落人居环境现状开展适宜性相关研究,分析传统村落人居环境适宜性空间分布特征及其影响因素,深入探究传统村落人居环境适宜性提升障碍,以完善人居环境适宜性相关研究。云南省保山市地处中国西南地区,地形地貌复杂多样,其传统村落多建于地形复杂、生态敏感的山地环境中,是典型的山地型传统村落聚集区。复杂的地形地貌、不便的交通等问题,严重制约保山市传统村落人居环境适宜性的提升,因此对保山市传统村落开展相关研究,对于西南地区山地型传统村落人居环境适宜性提升具有重要的实践意义。综上所述,本研究选取保山市142个传统村落作为研究对象,从自然环境和人文环境两个方面构建传统村落人居环境适宜性综合评价体系,探究其空间分布特征,同时结合地理探测器和GWR等模型分析影响传统村落人居环境适宜性的主要影响因素以及各因素对传统村落人居环境适宜性的差异影响,旨在促进山地型传统村落的保护、利用和可持续发展,并为保山市传统村落人居环境的建设与提升提供决策参考和理论支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区域

保山市地处云南省西部,外与缅甸接壤,全市辖有隆阳区、腾冲市、施甸县、龙陵县、昌宁县,国土面积约1.96万km<sup>2</sup>。该地区地形起伏较大,地形地貌复杂多样,全市海拔为534~3762 m,整体呈现西北高,东南低。属低纬度山地中亚热带季风气候,年均降水量947.0~2 097.5 mm,年均气温14.8~17.1℃。作为“大杂居,小聚居”的多民族、多宗教地区。截至

2023年末全市常住人口240.7万人,其中彝、白、傣、傈僳、回、苗等少数民族占人口总数的11.9%。保山市传统村落数量众多,截至2024年,共有142个村落入选中国传统村落名录,居于云南省第二,其中腾冲市入选全国2022年传统村落集中连片保护利用示范县(市、区)名单,并依托传统村落打造24个A级旅游景区。

## 1.2 数据来源

选取保山市142个传统村落作为研究对象(图1)。村落数据来源于中国传统村落网中的第1—6批传统村落名录,采用百度地图拾取坐标系统获取地理坐标并转换为矢量数据。研究所用高程、土地覆盖、夜间灯光等相关地理数据主要来源于国家地球系统科学数据中心(<http://www.geodata.cn>)、地理遥感生态网(<http://www.gisrs.cn>)、中国科学院资源环境科学与数据中心(<http://www.resdc.cn>)。人文环境统计数据主要来源于《中国县域统计年鉴》和《保山统计年鉴》,商业设施、医疗卫生设施、教育设施等数据采用高德地图POI爬取获得,个别数据缺失采用插值法计算。空间分辨率为1 km×1 km,所有空间数据投影坐标统一为WGS\_1984\_UTM\_Zone\_47 N。基于数据的可获取性,本研究中数据除商业设施、教育设施、医疗卫生机构POI数据为2024年爬取外,其余数据均源于2022年。

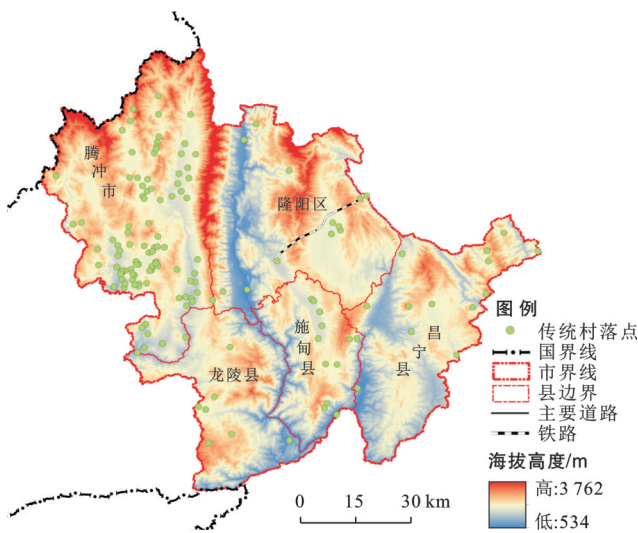


图1 保山市传统村落概况

Fig.1 Overview of traditional villages in Baoshan City

## 1.3 人居环境适宜性评价模型指标选取

根据研究区实际情况及数据的可获得性,从自然环境和人文环境两个维度构建保山市人居环境适宜性评价指标体系,包括地形、气候、水文、生态、经济、交通、城镇化、公共服务便捷度8个要素及18个

相关指标(表1)。地形起伏度和坡度衡量该地区地形的复杂程度和多样性,对农业生产和生态环境有着重要影响<sup>[12]</sup>。温湿度指数和风效应指数用于表征地区人居环境的气候舒适程度<sup>[13]</sup>。水文指数由降水量和水域面积两部分加权得出,反映该地区水资源丰缺程度<sup>[14]</sup>。选取NDVI、空气质量指数、自然灾害指数表征传统村落人居环境生态环境适宜性<sup>[15]</sup>。经济要素选取GDP、商业设施密度、地方财政一般预算支出作为指标,反映当地经济状况和发展水平<sup>[16]</sup>。交通要素选取道路设施密度、距中心城镇距离、陆地交通通达指数3个指标,衡量交通通达程度对当地居民的影响<sup>[17]</sup>。城镇化要素选取夜间灯光指数、土地利用强度两个指标,用以表征传统村落及其周边地区城镇化水平<sup>[18]</sup>。公共服务便捷度要素选取教育设施可达性、医疗卫生机构可达性,衡量居民到达基础公共服务设施的便捷程度<sup>[19]</sup>。

## 1.4 研究方法

### 1.4.1 人居环境适宜性评价

根据传统村落人居环境适宜性评价体系中不同指标的特性,将各项指标分为正向指标和负向指标,并对原始数据进行无量纲化处理。指标权重的确定是人居环境适宜性评价的基础,为避免人为确立权重的主观性和客观计算权重的片面性,本研究采用AHP-CRITIC组合赋权法确定各指标的权重。AHP法是一种主观赋权方法,常用于解决多目标、多准则、多要素、多层次的非结构化复杂决策问题<sup>[20]</sup>。CRITIC法是对熵权法的一种改进。它通过计算指标间的标准差和相关系数来确定指标的客观权重,从而反映指标间的对比强度和冲突性<sup>[21]</sup>。采用AHP法和CRITIC法分别计算各指标的主观和客观权重,并运用矩阵思想的方法对主客观权重组合赋权,以确定因素层中各指标的权重(表1)。根据指标权重计算各要素权重,综合传统村落相关数据及传统村落人居环境适宜性评价模型,得出传统村落人居环境适宜性综合得分。

### 1.4.2 地理探测器

地理探测器主要用于检测地理要素空间的差异,并运用因素检测和交互检测分析其驱动力。本研究使用SONG等<sup>[22]</sup>改进的参数最优地理探测器,按第4—6类的最优离散化方法进行分类,优化离散化处理存在的人为主观影响及离散效果不佳等问题。该方法可以分析指标层影响因素对传统村落人居环境适宜性的影响程度及各因素间的交互作用,计算公式为

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

式中： $q$ 为影响因素对传统村落人居环境适宜性的影响程度； $L$ 为因变量和自变量的分层； $N_h$ 和 $\sigma_h^2$ 分别表

示 $h$ 的单元数和方差； $N$ 和 $\sigma^2$ 分别为研究区整体的单元数和方差。 $q$ 的取值范围为 $[0, 1]$ ，其值越大表示影响因素对传统村落人居环境适宜性解释力越强，反之越弱。

表 1 传统村落人居环境适宜性评价指标体系及权重赋值

Table 1 Evaluation indicator system and weight assignment for human settlement suitability in traditional villages

准则层	要素层	要素权重	指标层	指标权重	指标释义
自然环境	地形	0.093 5	地形起伏度( $X_1$ )	0.042 6	表征区域内高程变化的剧烈程度
			坡度( $X_2$ )	0.050 9	表征地表倾斜程度
	气候	0.099 1	温湿度指数( $X_3$ )	0.051 8	表征气温和湿度对人体舒适度影响程度
			风效应指数( $X_4$ )	0.047 3	表征风速、气温和日照时数对人体舒适度影响程度
	水文	0.054 3	水文指数( $X_5$ )	0.054 3	表征地区水文条件
			NDVI( $X_6$ )	0.068 9	表征地区植被覆盖度
	生态环境	0.185 7	空气质量指数( $X_7$ )	0.056 2	表征综合污染物浓度
			自然灾害指数( $X_8$ )	0.060 6	表征区域自然灾害风险综合评估
人文环境	经济	0.207 3	GDP( $X_9$ )	0.041 6	表征地区经济发展水平
			商业设施密度( $X_{10}$ )	0.100 0	表征区域商业设施发展水平
			地方财政一般预算支出( $X_{11}$ )	0.065 7	表征地区公共服务设施与基础设施建设水平
	交通	0.139 1	道路网络密度( $X_{12}$ )	0.047 5	表征该村落基础交通发展水平
			距中心城镇距离( $X_{13}$ )	0.036 7	表征居民对公共资源使用及出行的便利程度
			陆地交通通达指数( $X_{14}$ )	0.054 9	表征村落居民生产生活的交通便利性
	城镇化	0.071 9	夜间灯光指数( $X_{15}$ )	0.033 1	表征该地区人类活动强度
			土地利用强度( $X_{16}$ )	0.038 8	表征该地区人类活动对土地利用强度
	公共服务便捷度	0.149 0	教育设施可达性( $X_{17}$ )	0.074 3	表征村落居民到达教育设施的便捷程度
			医疗卫生机构可达性( $X_{18}$ )	0.074 7	表征村落居民到达医疗卫生机构的便捷程度

#### 1.4.3 空间自相关分析

空间自相关分析是探究地理数据空间依赖性和集聚模式的常用方法之一。本研究使用莫兰指数(Moran's  $I$ )反映保山市传统村落人居环境适宜性的总体集聚趋势。莫兰指数取值范围为 $[-1, 1]$ ，当莫兰指数大于0时，存在空间正相关；当莫兰指数小于0时，存在空间负相关；当莫兰指数等于0时，不存在空间自相关；其绝对值越高，空间自相关性越强。局部莫兰指数(local Moran's  $I$ )可以揭示局部的空间集聚特征，根据其结果可以分为高-高、低-低、高-低和低-高4种类型。

#### 1.4.4 K-means 聚类分析

采用K-means聚类方法，基于评价体系要素层中的地形、气候、水文、生态环境、经济、交通、城镇化、公共服务便捷度8个要素，对保山市传统村落人居环境适宜性进行聚类并分析分布特征。该方法步骤为：①通过肘部法则确定 $k$ 的个数；②将所有样本划分为 $k$ 个聚类；③计算各聚类平均值并以此为重心；④计算每个样本到各聚类重心的欧式距离，将其

分配到距离最近的聚类；⑤重复该步骤直到各样本无法计算为止。

#### 1.4.5 地理加权回归模型

GWR模型是对普通最小二乘模型(OLS)的拓展，通过计算各样本点间的空间关系和回归系数，确定不同地理位置的不同驱动因素的影响，从而阐明研究区域内的空间变化<sup>[23]</sup>。本研究运用GWR模型解释各影响因素对人居环境适宜性的影响机制，计算公式为

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^k \beta_k(u_i, v_i) X_{ik} + \epsilon_i \quad (2)$$

式中： $Y_i$ 表示 $i$ 样本的人居环境适宜性； $\beta_0$ 表示在 $i$ 点的截距； $k$ 表示自变量的个数； $\beta_k$ 表示位置 $i$ 处的第 $k$ 个自变量的系数； $X_{ik}$ 表示位置 $i$ 处的第 $k$ 个独立变量； $\epsilon_i$ 表示位置 $i$ 处的随机残差。

## 2 结果与分析

### 2.1 传统村落适宜性评价及空间分异特征

#### 2.1.1 要素评价及空间分布特征

传统村落人居环境适宜性评价结果如图2所示。

可以看出,自然环境适宜性总体得分较高,大部分传统村落得分主要集中在0.5~0.9之间,整体呈倒“U”字型的波动趋势,表明多数传统村落自然环境适宜性较好,仅少部分传统村落自然环境较差。人文环境适宜性得分普遍低于自然地理适宜性得分,总体水平中等偏下,得分大多在0.3~0.6之间,整体趋势呈现“局部高,整体低”的不均匀分布。由此可知,传统村落人文环境发展并不均衡,仅少部分传统村落人文环境适宜性较好。从传统村落自然环境适宜性和人文环境适宜性(图3a,3b)来看,保山市传统村落自然环境适宜度有明显的空间分布特征。大致呈现自西向东递减的趋势,得分较高的区域主要集中在腾冲市和龙陵县,其他区县得分较低。人文环境适宜性则分布不均,大多靠近区县市中心的区域适宜性较高,且腾冲市和隆阳区适宜性居高。

### 2.1.2 综合评价及空间分布特征

将传统村落人居环境自然环境适宜度和人文环境适宜度进行加权组合,得出传统村落人居环境适宜度综合指数及空间分布特征。

由图2b可知,保山市传统村落人居环境适宜度综合指数主要集中在0.4~0.7,少部分传统村落适宜度综合指数位于该区间之外,平均值为0.57左右,表明保山市传统村落的适宜性存在一定差异,且总体水平较高,趋近于正态分布(图2c)。从图3c可知,保山市传统村落人居环境适宜性具有显著的空间差异性,呈现出从腾冲市向昌宁县递减的趋势,适宜性较高的传统村落多聚集在腾冲市和隆阳区两地,而保山市南部地区传统村落人居环境适宜性水平较低,这说明腾冲市丰富的旅游资源及良好的交通条件,有利于当地传统村落的发展。

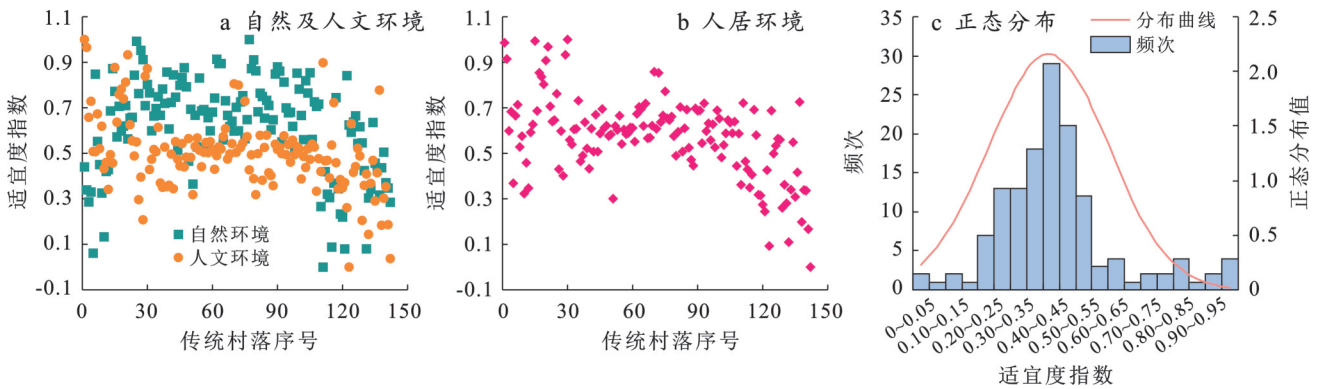


图2 保山市传统村落人居环境适宜性综合评价结果

Fig.2 Comprehensive evaluation results of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City

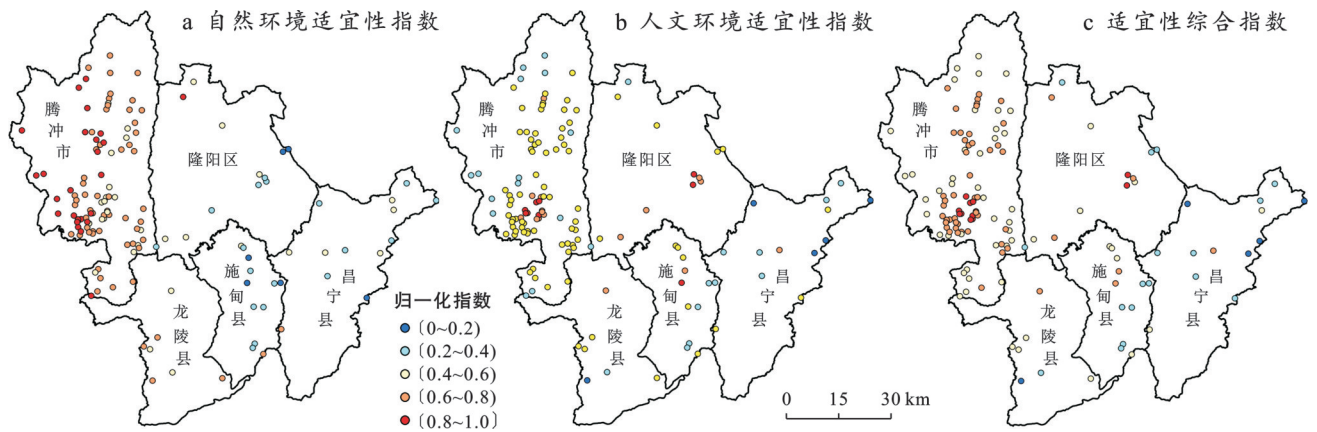


图3 保山市传统村落人居环境适宜性空间分异特征

Fig.3 Spatial differentiation characteristics of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City

### 2.1.3 人居环境适宜性空间相关关系

保山市传统村落人居环境适宜性及其评价体系中各影响因子的Moran's I值均大于0.1,表明传统村落人居环境适宜性及其显著影响因子的分布并不是随机现象,而是呈现空间正相关关系,在市域的空间

尺度上存在显著的集聚效应。图4a表明,46%的传统村落呈现出显著性聚集,其中高-高型和低-低型分别为27%和11%,高-低型和低-高型占比较少。高-高型主要分布于腾冲市中部,低-低型传统村落主要集中在保山市东南部,低-高型则聚集在腾冲市高-高

型传统村落外围,高-低型在研究区内呈零星分布。

### 2.1.4 人居环境适宜性聚类分析

根据 K-means 聚类分析结果(表 2),将研究区传统村落划分为 3 个类型:①生态保育型村落( $n=35$ );②均衡发展型村落( $n=88$ );③城乡融合型村落( $n=19$ ),各类型传统村落有着不同的分布特征(图 4b)。生态保育型村落的特点是生态环境良好而其他自然环境适宜性较差,且人文环境较之其他类型略差,如昌宁县银宝村。该类型传统村落人居环境适宜性较差,受自然条件限制,发展水平较低,大多分布在昌宁县和腾冲市西北部。均衡发展型村落有着良好的自然环境适宜性,公共服务便捷度适中,

而经济、交通、城镇化相较于城乡融合型村落得分较低,如腾冲市甸苴村。这类传统村落占比较大,有良好的自然和交通条件,发展潜力较大,分布于保山市各地。城乡融合型村落在经济、交通、城镇化上水平远高于其他传统村落类型且自然条件良好,但生态环境适宜性较低,如隆阳区板桥村。这类传统村落分布于各市区县中心周边,区位优势明显,同时也面临着一定的生态压力。此外,经济、交通、城镇化是对聚类结果贡献最大的 3 个要素,其贡献值分别为 1.00,0.77,0.69,大部分传统村落得分较低,仅城乡融合型村落得分较高,这也表明保山市传统村落在人文环境适宜性方面发展并不均衡。

表 2 保山市传统村落人居环境适宜性聚类分析

Table 2 Cluster analysis of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City

要素	聚类类别方差分析差异对比结果(平均值±标准差)			贡献值	F	p
	生态保育型( $n=35$ )	均衡发展型( $n=88$ )	城乡融合型( $n=19$ )			
地形	0.37±0.19	0.69±0.13	0.66±0.21	0.57	51.918	0.000**
气候	0.34±0.17	0.59±0.15	0.54±0.16	0.40	32.784	0.000**
水文	0.44±0.30	0.71±0.15	0.53±0.28	0.29	22.425	0.000**
生态	0.78±0.14	0.62±0.12	0.55±0.20	0.31	24.317	0.000**
经济	0.20±0.12	0.26±0.10	0.69±0.19	1.00	114.11	0.000**
交通	0.37±0.18	0.53±0.13	0.87±0.12	0.77	77.265	0.000**
城镇化	0.14±0.06	0.15±0.06	0.42±0.21	0.69	66.469	0.000**
公共服务便捷度	0.65±0.22	0.89±0.09	0.95±0.05	0.57	51.413	0.000**

注:\*表示为 $p<0.05$ ,\*\*表示为 $p<0.01$ 。

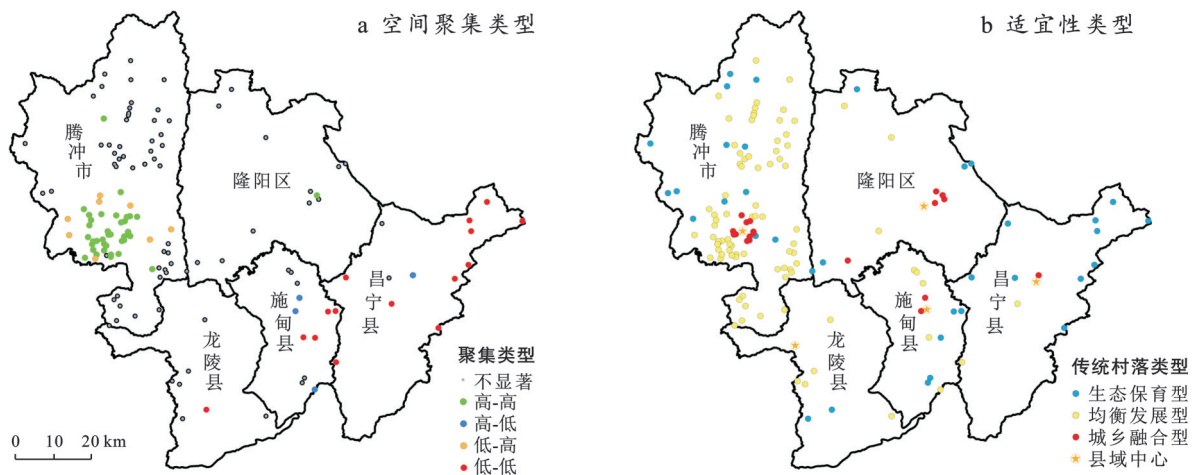


图 4 保山市传统村落人居环境适宜性空间聚集情况及聚类分布特征

Fig.4 Spatial clustering and cluster distribution characteristics of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City

## 2.2 保山市传统村落人居环境适宜性驱动力分析

### 2.2.1 单因素驱动分析

使用因子探测器对 18 个指标因子进行解释力探测,得到各因子对传统村落人居环境适宜性的解释

力。由表 3 可知,18 个影响因素中有 7 个通过了 0.01 水平的显著性检验,4 个通过了 0.05 水平的显著性检验。这 11 个因素分别为商业设施密度、教育设施可达性、地形起伏度、陆地交通通达指数、医疗卫生机

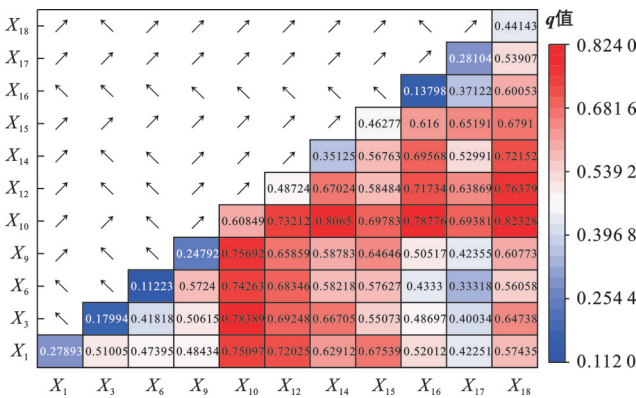
构可达性、GDP 值、温湿度指数、土地利用强度、NDVI 值、道路网络密度、夜间灯光指数,表明保山市传统村落人居环境适宜性受到经济、公共服务便捷度、地形、交通、气候、城镇化影响较大。进一步分析以上显著性因子的  $q$  值可知,商业设施密度和教育设施可达性是影响保山市传统村落适宜性分布的主导影响因子,解释力分别为 0.61 和 0.58。

表 3 保山市传统村落人居环境适宜性影响因子解释力  
Table 3 Explanatory power of influencing factors on human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City

影响因子	$q$	$p$	排序	影响因子	$q$	$p$	排序
$X_{10}$	0.61	0.00	1	$X_9$	0.26	0.00	10
$X_{17}$	0.58	0.00	2	$X_{13}$	0.22	0.98	11
$X_{15}$	0.55	0.02	3	$X_3$	0.18	0.00	12
$X_{12}$	0.49	0.02	4	$X_{16}$	0.14	0.01	13
$X_{18}$	0.44	0.00	5	$X_4$	0.12	1.00	14
$X_{14}$	0.34	0.00	6	$X_6$	0.12	0.02	15
$X_2$	0.32	0.14	7	$X_7$	0.11	1.00	16
$X_5$	0.31	0.18	8	$X_{11}$	0.08	1.00	17
$X_1$	0.28	0.00	9	$X_8$	0.05	0.99	18

2.2.2 驱动因子交互作用分析

鉴于不同因子对传统村落人居环境适宜性的影响可能并不是单独发生的,进一步对通过显著性检验的 11 个影响因子进行交互探测检验。探测结果(图 5)显示,各因子的影响并非相互独立,存在双因子增强或非线性增强效应,两因子间交互作用的影响均大于单因子影响。这表明传统村落人居环境适宜性并非各影响因子独立、直接作用,而是多因素共同作用的结果。



注:↘表示非线性增强关系;↗表示双因素增强关系。

图 5 保山市传统村落人居环境适宜性因子交互作用检测结果  
Fig.5 Interaction detection results of human settlement suitability factors in traditional villages of Baoshan City

由图 5 可知,土地利用强度( $X_{16}$ )的协同作用最为显著,除同教育设施可达性为双因子增强外,与其他因子均为非线性增强效应;此外,商业设施密度、道路网络密度、陆地交通通达指数、夜间灯光指数和医疗卫生机构可达性 5 个因子与其他各因子交互作用后的解释力均大于 0.5,其中商业设施密度的增效作用虽不如土地利用,但与其他因子交互作用的解释力显著高于其他因子,即商业设施密度与其他因子的协同作用是影响传统村落人居环境适宜性水平的主导力量。

2.3 主要影响因素作用空间差异分析

2.3.1 主要影响因素筛选与模型构建

虽然以上 11 个显著影响因子对传统村落人居环境适宜性都存在一定空间自相关性,但并不能排除各因子间存在较高的相关性和多重共线性问题。因此,采用 Origin 2024 对影响因子进行相关性分析(图 6),其中分别剔除了道路网络密度、夜间灯光指数和土地利用强度 3 个高度相关和不相关的因素,并运用 ArcGIS 中的 OLS 模型对其他 8 个影响因子进行组合检验。方差膨胀因子(VIF)常用于评估局部多重共线性,VIF 大于 7.5 表示解释变量存在冗余。本次检验中(表 4)各解释变量的 VIF 均小于 7.5,说明方程变量设置合理。此外,根据检验结果对因子进一步进行筛选,选取最优因子作为下一步 GWR 模型构建的变量。结果表明,陆地交通通达指数相较于其他因子而言系数较小,且未通过  $p$  值检验,对回归方程的影响不显著,其余因子均通过显著性检验和协方差检验。因此,选取地形起伏度( $X_1$ )、温湿度指数( $X_3$ )、NDVI 值( $X_6$ )、GDP 值( $X_9$ )、商业设施密度( $X_{10}$ )、教育设施可达性( $X_{17}$ )、医疗卫生机构可达性( $X_{18}$ ) 7 个影响因素作为解释变量( $X$ ),人居环境适宜性综合指数作为因变量( $Y$ ),进行 GWR 模型构建。

2.3.2 主要影响因素的作用空间差异

研究发现,各解释变量对因变量的作用强度在空间上均存在一定的异质性,且变异程度和特征不同(图 7)。

(1) 地形起伏度( $X_1$ )。地形起伏度对传统村落人居环境适宜性大多呈现出正向影响,整体呈现出“西部低,东部高”的分布规律,回归系数为  $-0.026 \sim 0.167$ ,影响作用较强的地域位于保山市东部及南部 4 个区县,表明这些区域传统村落人居环境发展受地形复杂性的制约更为显著。相比之下,地形起伏度对腾冲市大部分村落的影响相对较弱。

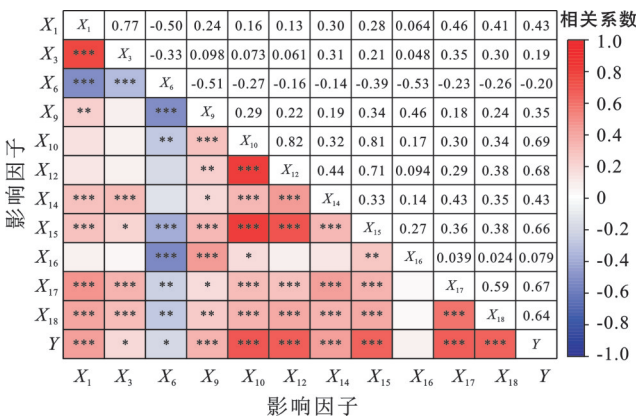
(2) 温湿度指数( $X_3$ )。温湿度指数对不同区域的传统村落人居环境适宜性的影响差异显著,回归

系数为-0.115~0.049,其影响呈现“中部正,南北负”的特征。在海拔相对较低,气候更温和湿润的中部区域(如隆阳区大部、施甸北部、腾冲南部部分区域),气候条件对适宜性有微弱的正向影响;而在海拔较高、气候偏凉的腾冲西北部和南部部分区域,气候条件则表现出一定的负面影响。

表 4 保山市传统村落人居环境适宜性主要影响因子协方差检验

Table 4 Covariance test of main impact factors of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City

变量	系数	概率	VIF
地形起伏度( $X_1$ )	0.145	0.000***	3.278
温湿度指数( $X_3$ )	-0.105	0.000***	2.576
NDVI( $X_6$ )	0.127	0.000***	1.749
GDP( $X_9$ )	0.090	0.000***	1.436
商业设施密度( $X_{10}$ )	0.149	0.000***	1.303
陆地交通通达指数( $X_{14}$ )	0.011	0.590	1.374
教育设施可达性( $X_{17}$ )	0.119	0.000***	1.818
医疗卫生机构可达性( $X_{18}$ )	0.076	0.000***	1.685
$R^2$	0.833		
校正 $R^2$	0.823		
$F$	83.199		
$P$	<0.001***		



注: \*表示相关显著性水平为  $p \leq 0.05$ ; \*\*表示相关显著性水平为  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*表示相关显著性水平为  $p \leq 0.001$ 。

图 6 保山市传统村落人居环境适宜性影响因子相关性分析  
Fig.6 Correlation analysis on impact factors of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City

(3) NDVI( $X_6$ )。归一化植被指数对传统村落人居环境适宜性有正向影响,回归系数为 0.014~0.144,其对腾冲市及昌宁县影响较小,而对其他三区影响较大,从西北到东南整体呈现出“低—高一低”的波浪形变化趋势。植被覆盖度作用的空间差异也反映出其受到传统村落发展等因素的影响,如

隆阳区部分传统村落受植被覆盖度影响较大的原因可能是城镇化水平过高,从而导致植被覆盖度相对较低。

(4) GDP( $X_9$ )。GDP与传统村落人居环境适宜性的回归系数为-0.022~0.131,其回归系数变化同地形起伏度相似,除腾冲市南部地区影响不大外,均受到较为显著的正向影响。保山市东部及南部经济相对欠发达,GDP水平提升对改善传统村落人居环境适宜性的影响更为显著,对腾冲市南部及隆阳区部分区域则影响较低。此外,结合回归系数来看,大多数传统村落的经济发展与人居环境适宜性形成良好的促进关系,表明保山市传统村落经济发展的同时也一定程度上带动其自身人居环境适宜性的提升。

(5) 商业设施密度( $X_{10}$ )。商业设施密度对传统村落人居环境适宜性有正向影响,回归系数为 0.103~0.175,其作用强度较之其他影响因子更为显著,同时也说明该影响因子是影响保山市传统村落人居环境适宜性的主导因子之一。商业设施密度作用的空间差异整体呈现出由西北向东南递减的趋势,对腾冲市和隆阳区传统村落影响最大,这可能受地理位置、交通条件、城镇化程度等多种因素影响。腾冲市与隆阳区大部分传统村落相较于其他区县人文环境适宜性较好,具有一定区位优势,商业设施密度与其他因素的协同作用更加明显,因此发展旅游业等相关产业,带动传统村落商业设施发展,能够有效提高该地区传统村落人居环境适宜性。此外,商业设施密度与道路网络密度和夜间灯光指数有高度相关性,从侧面反映出交通条件和城镇化程度对传统村落人居环境适宜性水平的提高同样起着关键的作用。

(6) 教育设施可达性( $X_{17}$ )。教育设施可达性对传统村落人居环境适宜性有正向影响,回归系数为 0.027~0.160,整体分布趋势呈“北高南低”的特点。不同地区传统村落教育设施可达性作用空间差异可能与当地居民对教育重视的程度、经济发展水平及其他基础设施的完善有一定关系,在腾冲市、隆阳区北部等区域传统村落改善其教育设施可达性对提升人居环境适宜性的效果更为明显,而在龙陵县等南部区域影响则相对较弱。

(7) 医疗卫生设施可达性( $X_{18}$ )。医疗卫生可达性与传统村落人居环境适宜性的回归系数为 0.025~0.146,均呈正向影响,整体为南高北低的分布趋势。不同地区传统村落医疗卫生设施可达性的差异可能受当地基础设施、经济发展水平、交通条件等因素的综合影响。结合回归系数来看,提升龙陵县及腾冲市南

部的传统村落医疗卫生设施可达性,能够有效改善该地传统村落人居环境适宜性;而对于其他影响不

大的传统村落,人居环境适宜性可能更多地受其他因素的影响,如自然环境、基础设施等。

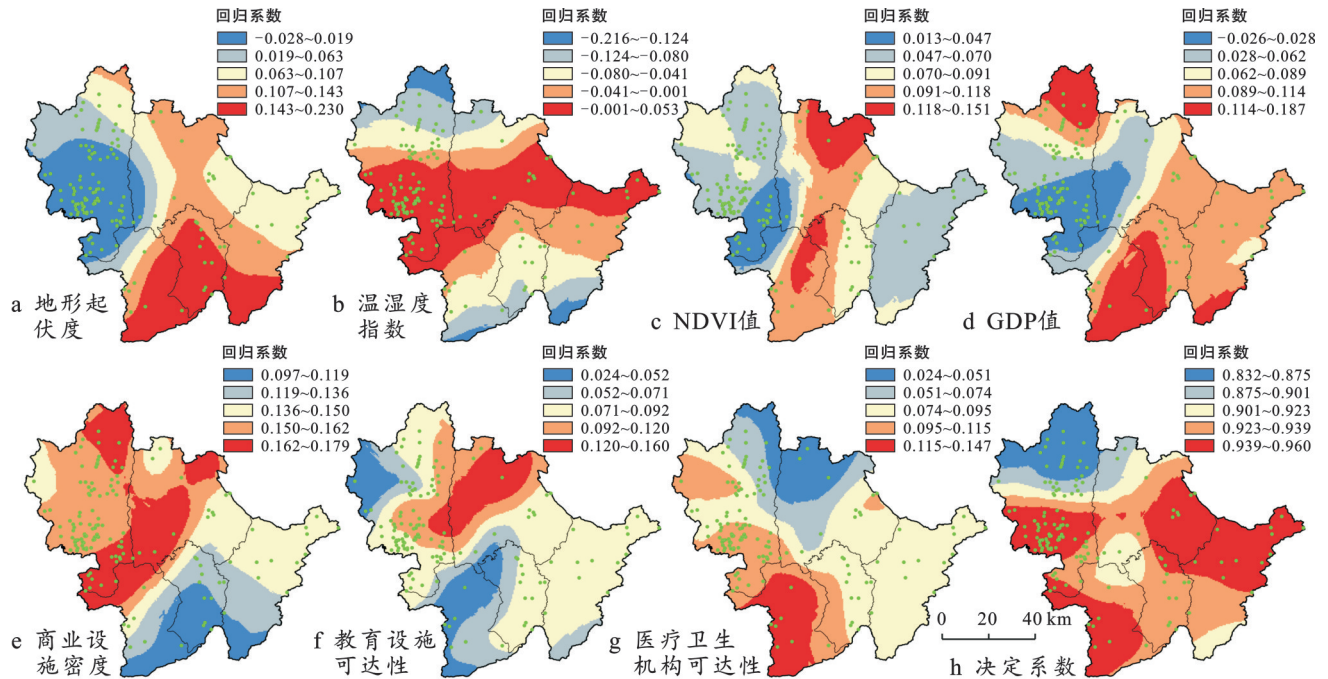


图7 保山市传统村落人居环境适宜性主要影响因子GWR模型系数分析

Fig.7 GWR model coefficient analysis of main impact factors of human settlement suitability in traditional villages of Baoshan City

### 3 讨论

#### 3.1 保山市传统村落人居环境适宜性空间分布特征

本研究从自然环境和人文环境两方面构建指标体系,综合评价保山市142个传统村落人居环境适宜性,结果显示保山市传统村落人居环境适宜性标准化指数水平居中,整体趋势较为符合正态分布。在空间分布特征上,整体呈现集聚分布,具有明显的区域性差异,其中适宜性水平较高的传统村落主要集中于腾冲市和隆阳区,保山市南部及北部地区适宜性水平较低。此外,根据8个要素将传统村落分为生态保育型、均衡发展型和城乡融合型3个类型,各类型空间分布与上述特征相似。这种空间分布特征的形成与地形、气候、经济等多种影响因素密切相关,类似于其他研究中发现的村落空间聚集模式<sup>[23-24]</sup>。从空间分布特征来看,保山市人居环境适宜性高的传统村落大多数为地势较为平坦、气候温和湿润的地区,而适宜性较低的传统村落大多受复杂地形和不利气候的影响,间接说明自然地理适宜性影响社会经济适宜性的发展,从而影响到整个传统村落人居环境的提升。

#### 3.2 保山市传统村落人居环境适宜性主要影响因素的相关性

研究表明,保山市传统村落人居环境适宜

性受到地形、气候等自然地理因素以及经济、交通等社会经济因素的共同影响,其每个影响因素间作用强度、作用方式以及作用机制各不相同。

在自然环境方面,地形起伏度、温湿度指数、归一化植被指数等自然因素对人居环境适宜性有显著影响并表现出区域化差异。相关性分析结果表明,气候、生态、交通和城镇化等因素与地形起伏度相关性较高,表明地形起伏度对它们具有约束性,这与段小微等<sup>[25]</sup>的研究结果类似。保山市地形地貌复杂,建设难度较大,一定程度上限制传统村落人居环境发展。此外,地形起伏度对传统村落人居环境适宜性大多呈现正向影响,但对腾冲市传统村落影响不大,可能与其交通条件改善、发展生态旅游等有关<sup>[26]</sup>,也表明适合的策略可以缓解自然地理条件对人居环境适宜性的制约。良好气候条件是影响人居环境适宜性的关键因素之一,位于高海拔地区的传统村落气温较低,影响了人居环境适宜性,而保山市海拔较低、起伏较小的中部地区气候温和湿润,更适合人们居住,且有利于发展农业生产<sup>[27]</sup>,其传统村落人居环境适宜性更优越。归一化植被指数与地形、城镇化之间存在较高的相关性且均为负相关,这可能是由于地形条件限制植物生长进而影响到人居环境适宜性<sup>[28]</sup>,而其与城镇化负相关关系则印证城镇化

进程对生态的破坏,因此对传统村落人居环境改善提升的同时,应该兼顾生态环境的保护,采取相应措施,避免人居环境质量下降。

在人文环境方面,经济、交通、城镇化、公共服务设施便捷度对保山市传统村落人居环境适宜性提升均发挥着重要的作用。就经济而言,GDP值和商业设施密度都是影响保山市传统村落人居环境适宜性的主要因素,商业设施密度与其他因素的协同作用是影响保山市传统村落人居环境适宜性水平的主导力量,表明经济发展能够带动传统村落人居环境其他因素共同发展,进而改善传统村落人居环境适宜性。隆阳区和腾冲市部分传统村落人居环境适宜性较高的原因可能就在于其区位优势明显,发展相关产业更加便利,因此,人居环境适宜性较高的传统村落,适当发展旅游业等<sup>[29]</sup>相关产业对其人居环境进一步提升至关重要。而保山市北部及南部地区相对落后,经济发展水平较低,可能导致传统村落保护治理投入不足,人居环境适宜性水平较低<sup>[30]</sup>。交通、城镇化、经济三个因素间有着极高的相关性,且与经济要素协交互作用显著,三者间的协同作用能够有效推动区域经济发展,提高传统村落人居环境适宜性。保山市传统村落公共服务便捷度水平均较高,能够满足村民日常医疗卫生、教育等需求,所表现出的作用空间差异,可能与不同传统村落所处地理位置、交通可达性及距中心城镇距离等要素密切相关<sup>[5]</sup>。位于坝区、交通干线附近的村落通常能更便捷地获取更高层级的公共服务,而深居山区、交通不便的村落则可能主要依赖本村镇或邻近小型服务点。

### 3.3 优化与提升建议

人居环境适宜性是多种因素共同作用的结果。由于传统村落之间各因素发展不均衡,影响程度也存在差异,因此,传统村落人居环境适宜性优化与提升应根据各类型村落特征,着重改善传统村落的弱项,合理解决人居环境提升障碍。目前,保山市各类型传统村落人居环境提升面临的主要障碍不同,生态保育型村落受限于自然条件且人文环境较差;均衡发展型村落经济、城镇化水平有待提升;城乡融合型村落则面临一定生态压力。针对以上问题,结合现有研究成果,对保山市各类型传统村落人居环境适宜性的优化与提升提出以下建议。

(1) 生态保育型村落。基于这类型村落特点,优化策略为扬优势与补短板相结合。一方面,应合理推动村落及周边地区交通和城镇化建设,并加大对基础公共服务设施投入,改善居民基本生活条件和生活质量,弥补人文环境适宜性的不足。另一方面,生态

保育型村落发展虽受限于地形条件,但其生态优势明显,可结合村落实际情况因地制宜地发展生态经济,适当开发区域优势资源,促进村落可持续发展。

(2) 均衡发展型村落。这类村落人居环境适宜性相对较好,优化策略为提升经济活力并加强城镇化建设。应推动经济多元化发展,引导特色旅游、特色农业、传统手工业等产业发展,拓展就业渠道,增加居民收入来源。同时,在保持传统村落原有风貌的基础上,完善基础设施建设,优化土地利用效率,并进一步改善交通条件,提升村落人居环境适宜性。

(3) 城乡融合型村落。这类传统村落与周边城镇联系紧密,发展潜力大,优化策略为协调生态环境保护和人文环境发展。鉴于其所面临的生态压力,建议在其发展过程中着重生态环境保护,加强环境监管措施,防止对生态环境的过度开发和破坏。此外,在不破坏传统村落风貌和生态环境的前提下,适度发展文旅产业,如文化体验、乡村民宿等项目,并完善商业服务网络,满足居民日常和游客消费需求。

## 4 结论

本研究以保山市142个传统村落作为研究对象,采用AHP—CRITIC组合赋权和空间可视化的方法,分析保山市传统村落人居环境适宜性及其空间分布特征,并利用地理探测器和GWR模型探究影响传统村落人居环境适宜性的因素。

(1) 保山市传统村落人居环境适宜性总体水平为中等偏上,且存在较为明显的空间聚集现象。综合指数较高的传统村落主要分布于腾冲市与隆阳区,保山市北部及南部地区传统村落综合指数较低,依据8个要素可将其分为生态保育型、均衡发展型和城乡融合型。

(2) 保山市传统村落人居环境适宜性受经济、公共服务便捷度、地形、交通、气候、城镇化等多要素的共同影响,商业设施密度和教育设施可达性是最重要的驱动因子。保山市传统村落人居环境适宜性分布特征是各影响因素间交互作用下增效的产物,商业设施密度与其他因素的协同作用是影响传统村落人居环境适宜性水平的主导力量。

(3) 影响要素对保山市传统村落人居环境适宜性的影响程度存在空间异质性,其中商业设施密度作用为正向影响,且较其他因子影响系数更大,是影响保山市传统村落人居环境适宜性的主导因子之一。

### 参考文献(References)

[1] 胡燕,陈晟,曹玮,等.传统村落的概念和文化内涵[J].

- 城市发展研究,2014,21(1):10-13.
- Hu Yan, Chen Sheng, Cao Wei, et al. The concept and cultural connotation of traditional villages [J]. *Urban Development Studies*, 2014,21(1):10-13.
- [2] 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.
- Li Bohua, Zheng Shinian, Dou Yindi, et al. Transformation and development mode of traditional village human settlement environment from the perspective of “double repairs”: A case study of two typical villages in Hunan Province [J]. *Progress in Geography*, 2019, 38 (9) : 1412-1423.
- [3] 中共中央办公厅,国务院办公厅.《农村人居环境整治提升五年行动方案(2021—2025年)》[EB/OL] [2021-12-05]. [https://www.gov.cn/zhengce/2021-12/05/content\\_5655984.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2021-12/05/content_5655984.htm).
- General Office of the Central Committee of the Communist Party of China, General Office of the State Council. A five-year action plan for the improvement of rural human settlements (2021—2025) [EB/OL] [2021-12-05]. [https://www.gov.cn/zhengce/2021-12/05/content\\_5655984.htm](https://www.gov.cn/zhengce/2021-12/05/content_5655984.htm).
- [4] Wang Yi, Jin Cheng, Lu Mengqiu, et al. Assessing the suitability of regional human settlements environment from a different preferences perspective: A case study of Zhejiang Province, China [J]. *Habitat International*, 2017,70:1-12.
- [5] 张元博,黄宗胜,陈旋,等.贵州石漠化区布依族传统村落人居环境适宜度[J].*应用生态学报*,2019,30(9):3203-3214.
- Zhang Yuanbo, Huang Zongsheng, Chen Xuan, et al. Suitability of human settlement environment in Buyei traditional villages in rocky desertification area of Guizhou, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2019,30(9):3203-3214.
- [6] 夏钰,林爱文,朱弘纪.长三角地区城市人居环境适宜度空间格局演变[J].*生态经济*,2017,33(2):112-117.
- Xia Yu, Lin Aiwen, Zhu Hongji. Evolvement of spatial pattern of urban human settlement environment suitability in Yangtze River delta [J]. *Ecological Economy*, 2017, 33(2):112-117.
- [7] Feng Zhiming, Yang Yanzhao, Zhang Dan, et al. Natural environment suitability for human settlements in China based on GIS [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2009,19(4):437-446.
- [8] 夏小园,陈颖明,郜晴,等.基于地理探测器的江苏省城市人居环境适宜性时空变化研究[J].*水土保持通报*,2020,40(3):289-296.
- Xia Xiaoyuan, Chen Haoming, Gao Qing, et al. A study on temporal and spatial variations of suitability of urban living environment in Jiangsu Province based on a geographical detector [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2020,40(3):289-296.
- [9] Zhong Qikang, Dong Tian. Exploring the spatiotemporal trends and influencing factors of human settlement suitability in Hunan Province traditional villages [J]. *Scientific Reports*, 2024,14:25319.
- [10] Guan Yingying, Li Xueming, Yang Jun, et al. Spatial differentiation of comprehensive suitability of urban human settlements based on GIS: A case study of Liaoning Province, China [J]. *Environment, Development and Sustainability*, 2022,24(3):4150-4174.
- [11] 李帅,魏虹,倪细炉,等.基于层次分析法和熵权法的宁夏城市人居环境质量评价[J].*应用生态学报*,2014,25(9):2700-2708.
- Li Shuai, Wei Hong, Ni Xilu, et al. Evaluation of urban human settlement quality in Ningxia based on AHP and the entropy method [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2014,25(9):2700-2708.
- [12] 封志明,李文君,李鹏,等.青藏高原地形起伏度及其地理意义[J].*地理学报*,2020,75(7):1359-1372.
- Feng Zhiming, Li Wenjun, Li Peng, et al. Relief degree of land surface and its geographical meanings in the Qinghai-Tibet Plateau, China [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2020,75(7):1359-1372.
- [13] 唐焰,封志明,杨艳昭.基于栅格尺度的中国人居环境气候适宜性评价[J].*资源科学*,2008,30(5):648-653.
- Tang Yan, Feng Zhiming, Yang Yanzhao. Evaluation of climate suitability for human settlement in China [J]. *Resources Science*, 2008,30(5):648-653.
- [14] 封志明,唐焰,杨艳昭,等.基于GIS的中国人居环境指数模型的建立与应用[J].*地理学报*,2008,63(12):1327-1336.
- Feng Zhiming, Tang Yan, Yang Yanzhao, et al. Establishment and application of human settlements environment index model (HEI) based on GIS [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2008,63(12):1327-1336.
- [15] 王毅,陆玉麒,车冰清,等.浙江省生态环境宜居性测评[J].*山地学报*,2017,35(3):380-387.
- Wang Yi, Lu Yuqi, Che Bingqing, et al. Eco-environment evaluation for human settlements in Zhejiang Province [J]. *Mountain Research*, 2017, 35 (3) : 380-387.
- [16] 李雪铭,李婉娜.1990年代以来大连城市人居环境与经济协调发展定量分析[J].*经济地理*,2005,25(3):383-386.
- Li Xueming, Li Wanna. Quantitative analysis about coordinating development of environment of urban

- human settlements and economy in Dalian since the 1990s [J]. *Economic Geography*, 2005, 25(3): 383-386.
- [17] 姚尧, 李林龙, 孙振辉, 等. 交通驱动下微观地块尺度的城市土地利用变化模拟: 以深圳市为例 [J]. *国际城市规划*, 2022, 37(6): 17-25.  
Yao Yao, Li Linlong, Sun Zhenhui, et al. Simulation of urban land-use change at micro land parcel scale driven by traffic: A case study of Shenzhen [J]. *Urban Planning International*, 2022, 37(6): 17-25.
- [18] Chen Lekai, Zhong Qikang, Li Zhe. Analysis of spatial characteristics and influence mechanism of human settlement suitability in traditional villages based on multi-scale geographically weighted regression model: A case study of Hunan Province [J]. *Ecological Indicators*, 2023, 154: 110828.
- [19] 王爱, 付伟, 陆林, 等. 基于15分钟生活圈的住区公共服务设施配置研究 [J]. *人文地理*, 2023, 38(4): 72-80.  
Wang Ai, Fu Wei, Lu Lin, et al. Research on spatial configuration of public facilities in residential district based on 15-minute life-circles [J]. *Human Geography*, 2023, 38(4): 72-80.
- [20] Anuradha, Gupta S. AHP-based multi-criteria decision-making for forest sustainability of lower Himalayan foothills in northern circle, India: A case study [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2022, 194(12): 849.
- [21] Diakoulaki D, Mavrotas G, Papayannakis L. Determining objective weights in multiple criteria problems: The critic method [J]. *Computers & Operations Research*, 1995, 22(7): 763-770.
- [22] Song Yongze, Wang Jinfeng, Ge Yong, 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.
- [23] Xu Yuqian, Yang Xinyi, Feng Xiaohuan, et al. Spatial distribution and site selection adaptation mechanism of traditional villages along the Yellow River in Shanxi and Shaanxi [J]. *River Research and Applications*, 2023, 39(7): 1270-1282.
- [24] 李伯华, 尹莎, 刘沛林, 等. 湖南省传统村落空间分布特征及影响因素分析 [J]. *经济地理*, 2015, 35(2): 189-194.  
Li Bohua, Yin Sha, Liu Peilin, et al. Spatial distribution of traditional villages and the influencing factors in Hunan Province [J]. *Economic Geography*, 2015, 35(2): 189-194.
- [25] 段小微, 李小建. 山区县域聚落演化的空间分异特征及其影响因素: 以豫西山地嵩县为例 [J]. *地理研究*, 2018, 37(12): 2459-2474.  
Duan Xiaowei, Li Xiaojian. Spatial differentiation and its influencing factors of settlements evolution in mountainous counties: A case study of Songxian county in western Henan Province [J]. *Geographical Research*, 2018, 37(12): 2459-2474.
- [26] 纪惠文, 查小春. 秦岭东部乡村聚落空间演变特征及其影响因素研究: 以商洛市丹凤县为例 [J]. *生态与农村环境学报*, 2022, 38(1): 32-42.  
Ji Huiwen, Zha Xiaochun. Spatial evolution characteristics and influencing factors of rural settlement in eastern Qinling Mountains: A case study of Danfeng County in Shangluo City, China [J]. *Journal of Ecology and Rural Environment*, 2022, 38(1): 32-42.
- [27] 李嘉欣, 区智, 依燕叫, 等. 西双版纳傣族传统村落微气候与舒适度研究 [J]. *建筑科学*, 2023, 39(12): 42-53.  
Li Jiaxin, Ou Zhi, Yi Yanjiao, et al. Study on microclimate and comfort in traditional ethnic Dai Villages in Xishuangbanna autonomous region [J]. *Building Science*, 2023, 39(12): 42-53.
- [28] 夏凯, 黄义忠. 基于MODIS-NDVI的云南省植被时空变化及驱动因素分析 [J]. *南方农业学报*, 2023, 54(11): 3427-3437.  
Xia Kai, Huang Yizhong. Spatiotemporal changes and driving factors of vegetation in Yunnan based on MODIS-NDVI [J]. *Journal of Southern Agriculture*, 2023, 54(11): 3427-3437.
- [29] 贺小荣, 杨嘉艺, 汤礼莎, 等. 乡村旅游地人居环境韧性水平时空格局及障碍因子识别: 以湖南洞庭湖区为例 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2025, 45(5): 198-213.  
He Xiaorong, Yang Jiayi, Tang Lisha, et al. Spatiotemporal pattern and barrier factor identification of the resilience level of the human settlements in rural tourism areas: A case study of Dongting Lake area [J]. *Journal of Central South University of Forestry & Technology*, 2025, 45(5): 198-213.
- [30] Tang Lisha, Long Hualou. Simulating the development of resilient human settlement in Changsha [J]. *Journal of Geographical Sciences*, 2022, 32(8): 1513-1529.