DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2026.06.027 CSTR:32311.14.rswc.2026.06.027
李婧, 白贤清, 李睿凡, 等. 地理格网尺度下云南省"中国传统村落"的空间异质性及驱动机制研究[J]. 水土保持研究,2026,33(6):371-383.
Li Jing, Bai Xianqing, Li Ruifan, et al. Spatial heterogeneity and driving mechanisms of "Chinese Traditional Villages" in Yunnan Province at geographic grid scale[J]. Research of Soil and Water Conservation,2026,33(6):371-383.

地理格网尺度下云南省"中国传统村落"的空间异质性及驱动机制研究

李 婧, 白贤清, 李睿凡, 李卿昊, 陈 倩
(昆明理工大学 建筑与城市规划学院, 昆明 650500)

摘 要:[目的] 明确云南省"中国传统村落"的空间分异特征,探究影响因子对空间分异的作用机制,以期为传统村落的系统性保护与可持续发展提供理论依据。**[方法]** 以云南省"中国传统村落"为研究对象,在10 km×10 km格网尺度上,采用一系列空间分析方法,分析了其空间分布特征;继而使用最优参数地理探测器(OPGD)和多尺度地理加权回归模型(MGWR),探测了其空间分异性及驱动因素。**[结果]** (1) 云南省"中国传统村落"呈集聚型分布,形成了"3个高密度区+多个中密度区"的格局。(2) 其空间分布呈现显著的空间依赖性:不同影响因子对其空间异质性的解释度差异明显,其中历史文化维度的因子驱动作用最强。(3) A级景区数与云南省"中国传统村落"空间分异呈正相关,其他因素的影响则存在空间正负差异。**[结论]** 云南省"中国传统村落"的空间分异是多维度因素协同作用的结果,各影响因子与其空间分异之间的正负相关效应是塑造分异格局的关键驱动机制。因此,在传统村落的保护实践中,应充分考虑其空间分布差异及各影响因子的正负作用,因地制宜制定并实施保护策略。

关键词: 传统村落; 空间分异; 地理格网; OPGD; MGWR; 云南省
中图分类号: K928.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2026)06-0371-13

Spatial heterogeneity and driving mechanisms of "Chinese Traditional Villages" in Yunnan Province at geographic grid scale

Li Jing, Bai Xianqing, Li Ruifan, Li Qinghao, Chen Qian
(*Faculty of Architecture and City Planning, Kunming University of Science and Technology, Kunming* 650500, *China*)

Abstract: [**Objective**] This study aims to clarify the spatial differentiation characteristics of "Chinese Traditional Villages" in Yunnan Province, explore the mechanisms through which influencing factors contribute to this spatial differentiation, and thereby provide a theoretical basis for the systematic protection and sustainable development of traditional villages. [**Methods**] Taking the "Chinese Traditional Villages" of Yunnan Province as the research object, a series of spatial analysis methods were applied at a grid scale of 10 km × 10 km to analyze their spatial distribution characteristics. Subsequently, the optimal parameters-based geodetector (OPGD) and multiscale geographically weighted regression (MGWR) models were employed to analyze spatial differentiation and identify driving factors. [**Results**] (1) The "Chinese Traditional Villages" in Yunnan Province exhibited a clustered distribution pattern, forming a spatial pattern characterized by "three high-density zones and several medium-density zones". (2) Their spatial distribution showed significant spatial dependence. Different influencing factors exhibited obvious differences in explaining spatial heterogeneity, with historical and cultural dimensions demonstrating the strongest driving effect. (3) The number of Grade A scenic areas was positively correlated with

收稿日期: 2026-01-09 **修回日期:** 2026-02-11 **接受日期:** 2026-03-09
资助项目: 国家自然科学基金(52408022,52268013,52268005);云南省科技厅基础研究计划面上项目(202301AT070381)
第一作者: 李婧(1984—),女,江苏徐州人,博士,讲师,主要从事城乡规划、历史文化遗产保护、传统村落及民居文化地理研究。E-mail:jingle_lee@126.com
通信作者: 陈倩(1978—),女,云南昆明人,博士,副教授,主要从事历史遗产保护与更新、传统聚落保护与发展、村镇规划、乡土建筑设计研究。E-mail:chenqian@kust.edu.cn

the spatial differentiation of "Chinese Traditional Villages" in Yunnan Province, while the effects of other factors showed spatial differences in positive and negative associations. [**Conclusion**] The spatial differentiation of "Chinese Traditional Villages" in Yunnan Province results from the synergistic interaction of multiple factors. The positive and negative correlations between individual influencing factors and spatial differentiation constitute the key mechanisms shaping this pattern. Therefore, conservation practices for traditional villages should fully consider spatial distribution differences and the positive and negative effects of each influencing factor, and conservation strategies should be formulated and implemented according to local conditions.

Keywords: traditional villages; spatial differentiation; geographic grid; OPGD; MGWR; Yunnan Province

传统村落亦称"古村落",是人类农耕文明和历史文化遗产的宝库,其蕴含的多重价值对于维系中华文化多样性、诠释与传承聚居文化具有重要指导意义。然而,在乡村现代化建设的进程中,众多承载着丰富文化内涵及宝贵历史价值的传统村落,面临着如何保护的巨大挑战和压力,对中华民族的伟大复兴的实现也构成了严重威胁。为解决这一问题,自2012年以来,住房和城乡建设部等4部委评审认定了6批"中国传统村落"。截至目前,我国已有8 155个乡村聚落被列入"中国传统村落"保护名录,已形成全球规模最大、价值最为丰富、保护最完整的农耕文明遗产保护群。

与此同时,这也推动了近年学界对传统村落学术研究热潮,相关研究成果呈急剧增长态势。其中,从宏观层面对传统村落的空间分布及分异因素进行科学研究是这一方向的重要议题。众多学者已从区域、流域、经济带、省域及文化线路沿线等不同空间尺度开展研究[1-2],普遍引入空间分析模型,这在一定程度上突破了既往研究多为定性分析的局限。以上研究成果深刻揭示了传统村落空间分布规律及影响机制,为传统村落保护的精准施策提供理论基础。这不仅是地理学研究优势,也是学术研究热点。但研究区域多以行政区划的乡镇,甚至地市为单元基准,精度有限。已有相关研究表明,高精度的地理格网可以更为有效地对地理事物进行空间分析[3]。因此,有必要运用新的技术方法,以地理格网为数据单元,进行高度定量化的精细识别和深入探索。

最近邻指数、标准差椭圆、核密度估计等空间分析或数理统计方法,已经较为成熟,这是既有文献在研究方法上的重要贡献。地理探测器、地理加权回归等定量模型解决空间分异性问题,推动了空间分析方法的创新。地理探测器无需线性假设,能够揭示空间分异性及其影响因子的内在机制及交互关系,已较为经典,但仍在关于空间尺度和影响因子的离散方式上受人为主观因素影响大[4]。最优参数地理探测器模型(Optimal Parameters-based Geodetector, OPGD)在此基础上增加参数优化模块,提高研究精度,有效地解决了空间尺度和影响因子的分区效应[5]。另一方面,地理探测器忽视了影响因子存在显著的空间非平稳性,仅能解释各因素对聚落演变特征的全局影响,缺乏能够刻画空间非平稳性的局部回归方法[6]。地理加权回归(Geographically Weighted Regression, GWR)将空间位置纳入回归参数,有效地解决了上述方法的局限。而经典GWR虽然能够表达空间非平稳性,但各因素的空间尺度相同,不能反映不同影响因素的空间异质性尺度差异[7]。多尺度地理加权回归(Multiscale Geographically Weighted Regression, MGWR)则对其进行改进,考虑了影响因素的空间尺度差异,使得空间异质性的建模结果更加稳健可靠[8]。目前对传统村落空间分布及影响因素研究的文献,多对上述两种回归模型选择其一进行应用。鉴于此,本研究结合最优参数地理探测器(OPGD)和多尺度地理加权回归(MGWR),不仅能够探测各要素的影响力大小和交互影响作用,还能进一步探究各影响因子在空间上对传统村落分布的异质化影响。

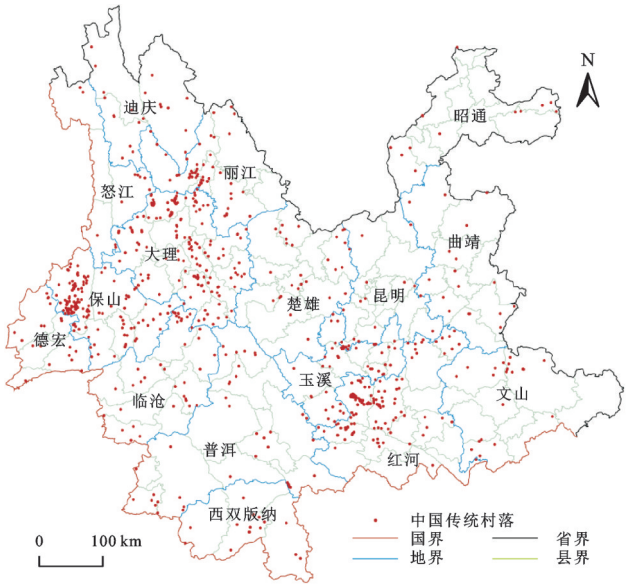
在剖析传统村落空间分异因素时,既往研究多综合分析自然环境条件、社会经济发展、地域文化特征等层面的影响,但是具体影响因素也因具体研究领域的不同而有所差异。因此,本文在数据可获取的前提下,用古驿道取代现代路网,针对民族地区增加少数民族人口占比,引入植被指数NDVI反映生态环境,通过格网尺度下的定量精细分析,以期为传统村落遗产保护与可持续发展提供理论支撑。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究范围及对象

云南省(21°8′—29°15′N,97°31′—106°11′E)地处中国西南边陲,39.41万km^{2}的土地上生活着25个世居少数民族,拥有多元的民族文化和丰富多姿的地理景观。从雪域高原的藏房、金沙江边的"木楞房"到热带雨林的竹楼、元阳梯田的"蘑菇房",从茶马古道上的驿居重镇、民族走廊上的"特色村寨"到

军屯戍边的卫所遗址、滇池湖畔的“方正如印”,云南省拥有777个“中国传统村落”,数量位居全国首位,几乎达到了全国总数的10%。研究范围覆盖全省16个州/市、129个区/县(图1)。



注:本图基于国家地理信息公共服务平台下载的审图号GS(2024)0650号的标准地图制作,底图未作修改,下图同。

图1　云南省“中国传统村落”分布图

Fig. 1　Distribution of “Chinese Traditional Villages” in Yunnan Province

1.2　研究框架与方法

1.2.1　*研究框架*　为系统揭示云南省“中国传统村落”的空间异质性及驱动机制,首先,本研究运用最邻近指数、标准椭圆差、核密度估计和空间自相关一系列方法,系统解析云南省“中国传统村落”的空间分布特征。继而,收集并整合多源数据,从自然地理、气候条件、生态环境、区位交通、社会经济与历史文化6个维度,构建系统、完整的云南省“中国传统村落”空间异质性影响因子指标体系;为突破既往研究分析精度不足、变量统计口径不一的局限,在10 km×10 km格网的基础上,对各维度数据进行均值化处理以待后续分析。随后,为突破经典地理探测器在离散化方法与分类区间上依赖主观设定的局限,采用最优参数地理探测器探测主导空间分异的关键影响因子。进而,通过对比线性回归模型、地理加权回归模型与多尺度地理加权回归模型的拟合指标,选取拟合优度最高的多尺度地理加权回归模型,以揭示各影响因子对云南省“中国传统村落”空间分布作用的异质性。

1.2.2　*研究方法*

(1)最近邻指数。最邻近指数是表示点要素在地理空间中相互邻近程度的地理指标[9]。公式为:

$$R=\bar{r}_1/\bar{r}_E;\quad \bar{r}_E=\frac{1}{2\sqrt{D}} \tag{1}$$

式中:R为最邻近指数;$\bar{r}_1$为实际最邻近距离;$\bar{r}_E$为理论最邻近距离;D为点密度。当$R=1$,点要素分布为随机型;$R>1$,点要素趋于均匀型;$R<1$,点要素趋于集聚型[10]。

(2)标准差椭圆。标准差椭圆分析是一种以椭圆的中心、长轴、短轴、旋转角等参数来衡量空间上点要素的分布范围、离散程度和方向延展的方法[1]。椭圆的长半轴表征点要素空间聚集趋势,其数值大小直接反映要素在特定方向上的集中程度;而短半轴对应着点要素分布的离散程度,体现要素的扩展广度。作为衡量椭圆形态偏心程度的扁率指标,通过计算长短半轴的长度差值进行量化,当该差值呈现显著增大趋势,则表示该组点要素在分布上具有突出的方向性特征。公式为:

$$X_{\mathrm{SDE}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2}{n}} \tag{2}$$

$$Y_{\mathrm{SDE}}=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(y_i-\bar{y})^2}{n}} \tag{3}$$

$$\tan\theta=\frac{\sum_{i=1}^{n}\tilde{x}_i^2\sum_{i=1}^{n}\tilde{y}_i^2+\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{n}\tilde{x}_i^2-\sum_{i=1}^{n}\tilde{y}_i^2\right)^2+\left(4\sum_{i=1}^{n}\tilde{x}_i\tilde{y}_i\right)^2}}{2\sum_{i=1}^{n}\tilde{x}_i\tilde{y}_i} \tag{4}$$

式中:X_{SDE}为沿X轴方向的标准差;Y_{SDE}为沿Y轴方向的标准差;$\tan\theta$为椭圆长轴的旋转角;x_i和y_i为第i个要素坐标值;$\bar{x}$和$\bar{y}$为要素平均中心;n为要素总数;$\tilde{x}_i$和$\tilde{y}_i$为中心化坐标,表示各点相对于平均中心的偏移。

(3)核密度估计(Kernel Density Estimation,KDE)。核密度估计法是以点的空间分布上的密集程度来反映其集聚程度,区域内点要素发生概率的高低与其密集程度有关,点在一定空间上比较稀疏则事件发生概率低,点在空间上分布密集则说明事件发生概率高[11]。公式为:

$$f(x)=\frac{1}{nh}\sum_{i=1}^{n}K\left[\frac{1}{h}(x-x_i)\right] \tag{5}$$

式中:$f(x)$为核密度估计值;x为待估计核密度函数的自变量;x_i为第i个样本点的观测值;h为搜索半径;n为搜索范围内的已知点数量;K为距离权重。

(4)空间自相关。空间自相关所反映的是一个区域单元上的某种现象或某一属性值与邻近区域单元上同一现象或属性值的相关程度[12]。其可从全局

与局部两个尺度进行自相关分析。其中全局自相关(Moran′s Index)衡量的是全局空间的自相关性,对某一要素的观测值进行描述,检验其在空间上是否具有集聚效应;局部自相关(Local Indicators of Spatial Association, LISA)可以从局部空间关联和差异程度两个角度对不同空间单元和其相邻单元进行度量,通过可视化的表达可以刻画出局部异常值和热点区域在空间上的具体情况[13]。其中全局自相关公式为:

$$I = Z_i \sum_{i=1}^{n} W_{ij} Z_j \tag{6}$$

式中:I为莫兰指数;Z_i,Z_j分别为i,j空间单元观测值的标准化值;W_{ij}为空间权重。莫兰指数的值介于[-1,1],大于0为正相关,小于0为负相关,接近0表示不相关。

局部自相关公式为:

$$I_i = \frac{x_i - \bar{x}}{m_0} \sum_{j=1}^{n} W_{ij}\left(x_j - \bar{x}\right) \tag{7}$$

式中:I_i为局部莫兰指数;x_i为各单元"中国传统村落"数量;$\bar{x}$为所有全部单元的"中国传统村落"数量的平均值;W_{ij}为单元i和j之间的空间权重矩阵;m_0为所有单元观测值的方差。要识别不同的聚类模式可根据局部自相关指数进行判断:如果"中国传统村落"的属性在此存在相似的高值或低值集聚,那么I_i值即为正;反之,如果"中国传统村落"的属性在此存在相反的高值或低值集聚,I_i值为负[14]。

(5)最优参数地理探测器模型(OPGD)。地理探测器是可以在没有前提假设的情况下科学揭示空间异质性现象背后驱动力的统计学方法[15]。但传统地理探测器在参数选择上依赖主观判断,影响分析结果的准确性与可重复性。而最优参数地理探测器(OPGD)借助先进算法,筛选出使q值最大的最优分析参数,使得结果更加准确可靠。q值作为地理探测器中用于衡量影响因子对空间异质性解释力度的重要指标,其数值越大,表明该影响因子对空间异质性的影响越显著[16-17]。公式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^{l} N_h \sigma_h^2}{N\sigma^2} = 1 - \frac{\mathrm{SSW}}{\mathrm{SST}} \tag{8}$$

$$\mathrm{SSW} = \sum_{h=1}^{l} N_h \sigma_h^2, \quad \mathrm{SST} = N\sigma^2 \tag{9}$$

式中:q为云南省"中国传统村落"分异的影响因子,取值范围为[0~1],数值越大,表明影响因子对云南省"中国传统村落"空间分异的解释力越强;其中1为影响因素的数量;N,N_h分别为单元数量和样本数;σ_h^2和σ^2分别为第h区的离散方差和"中国传统村落"的离散方差;SSW和SST为层内方差之和、全区总方差。

(6)多尺度地理加权回归模型(MGWR)。地理加权回归模型(GWR)考虑了因变量和自变量之间的空间非平稳特征,通过嵌入多种变量的空间位置信息,弥补了全局回归模型不能捕获变量间空间非平稳关系的巨大局限性,能够有效揭示各种驱动因素重要性的空间差异[18]。传统村落的空间分布受自然人文和社会经济等多因素影响,并在空间上表现出明显的尺度效应和空间异质性。而多尺度地理加权回归模型(MGWR)在计算中可根据影响因子不同,分别从不同尺度选取最优带宽,优于传统地理加权回归模型(GWR),能够为传统村落空间分布研究提供更科学、准确的见解[19]。公式为:

$$Y_i = \beta_{\mathrm{bw0}}(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^{k} \beta_{\mathrm{bw}j}(u_i, v_i) X_{ij} + E_i \tag{10}$$

式中:(u_i, v_i)为第i个单元的空间位置;Y_i和X_{ij}分别为"中国传统村落"分布密度Y和影响因子X_j在(u_i, v_i)处的观测值;$\beta_{\mathrm{bw}j}$和β_{bw0}分别为第j个影响因子的回归系数和(u_i, v_i)处的截距;bw$j$,bw0和E_i分别为第j个影响因子、截距使用的最优带宽和第i个空间单元独立分布的随机残差;k为影响因子的个数。

1.3 数据来源及处理

1.3.1 *数据来源* 本文所用数据主要分为:(1)全国30 m分辨率数字高程模型DEM来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台(https://www.gscloud.cn/home)。(2)行政边界数据来源于国家地理信息公共服务平台(https://www.tianditu.gov.cn/)。(3)植被指数NDVI、年均气温、年降水量、人口密度、生产总值GDP来源于中国科学院资源环境科学数据中心(https://www.resdc.cn/)提供的1 km分辨率栅格数据。地形起伏度1 km分辨率栅格数据来源于地球资源数据云平台(www.gis5 g.com)。(4)水系数据是以DEM高程模型经水文分析生成,通过多次流量测试,选取与高清卫星图基本一致的水系流量值而生成的水系矢量数据。(5)云南省古驿道参考《云南对外交通史》《中国历史地图集》等相关历史研究文献经判读、描绘并转化成矢量数据[20-21]。(6)"中国传统村落"数据来源于住房和城乡建设部网站(https://www.mohurd.gov.cn/index.html)公示的1—6批名录,云南省共计777个。非物质文化遗产数据来源于中国非物质文化遗产网(https://www.ihchina.cn/)公示的1—5批名录,共计145个;A级景区数据来源于云南省文化和旅游厅(https://dct.yn.gov.cn/)公示名录,共计624个;文物保护单位数据来源于国家文物局综合行政管理平台(http://gl.ncha.gov.cn/)公示的1—8批名录,共计168个。区域中心城镇数

据选取国家统计局(https://www.stats.gov.cn/)公布的《全国统计用区划代码和城乡划分代码》所列乡镇级以上城镇政府驻地定位。通过百度坐标API获取上述数据经纬度坐标,并利用91卫图检验、纠正,获取各数据矢量点位。(7)少数民族人口占比、城镇化率数据来源于《2020年云南省人口普查年鉴》和《2024年云南省统计年鉴》。

1.3.2　数据处理　地理格网(Fishnet)分析法是基于规则网格单元对地理空间数据进行量化、模拟和分析,适合多尺度的空间分析[22]。首先需要确定适宜的格网尺度。本文借鉴前人研究,采用云南省行政区范围,经过多次尝试计算,划分10 km×10 km的矩形格网,以研究范围切割保留及提取,共获得4 184个有效网格单元。其中,除邻近省界、国界区域的网格因边界切割面积不同外,内部完整格网面积为100 km^2。为保证各维度指标数据在格网单元上具有可比性,提取各影响因子指标的格网均值作为分析的数据基础(图2)。

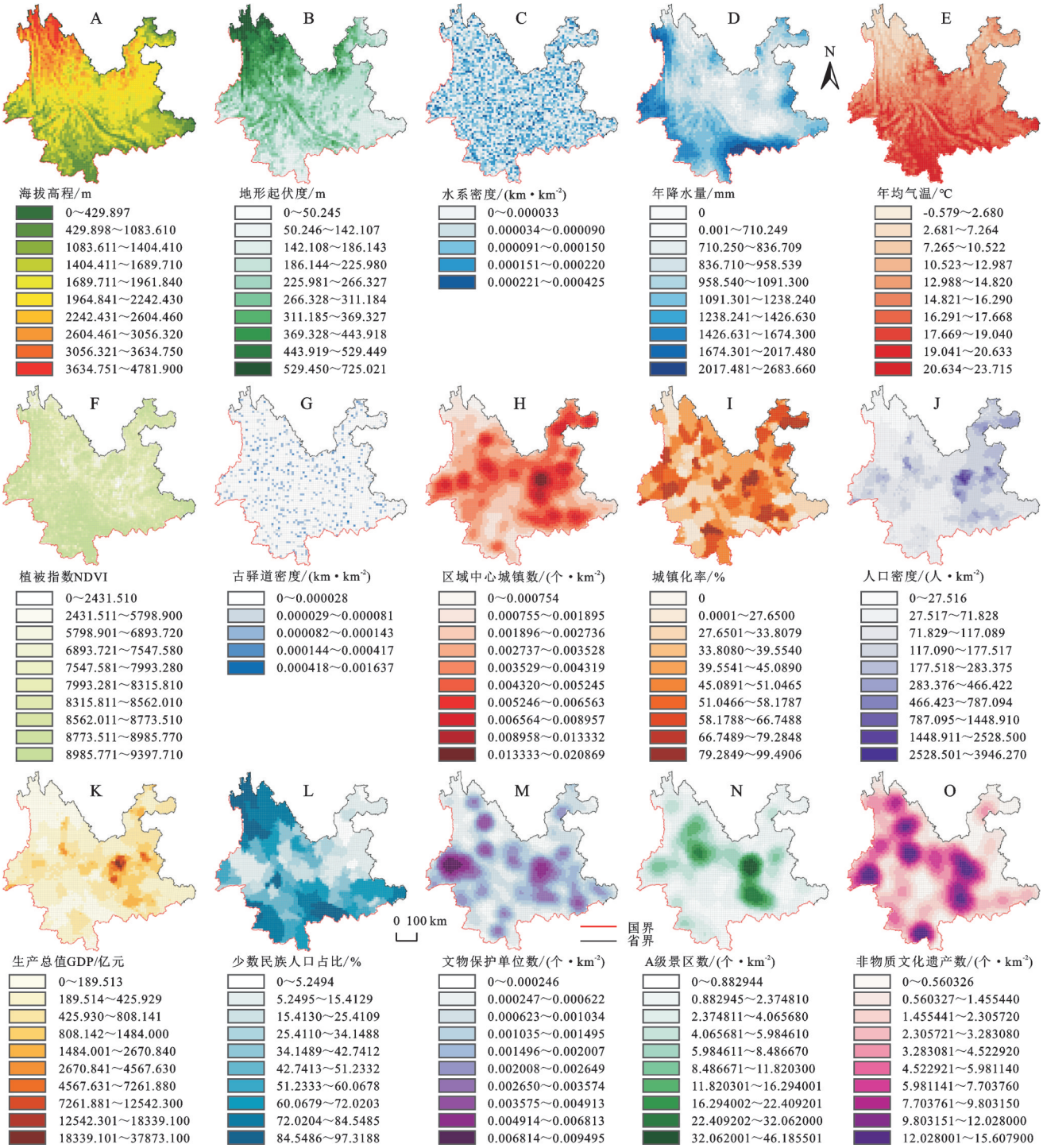


图2　指标体系中各影响因子自变量分布图

Fig. 2　Distribution of independent variables of each influencing factor in indicator system

其中，选取云南省“中国传统村落”数作为探测要素，提取格网单元的“中国传统村落”核密度均值为因变量Y。借鉴已有研究，从自然地理、气候条件、生态环境、区位交通、社会经济、历史文化6个维度，选取15项影响因子作为自变量X，构建云南省“中国传统村落”空间分异的影响因子指标体系（表1）。尤其是，综合考虑到云南省具有多民族聚居分布、丰富的历史文化等特点，引入少数民族人口占比、古驿道密度等指标要素以增强影响因子指标体系的针对性和完整性。

表1 云南省“中国传统村落”空间分异的影响因子指标体系

Table 1 Indicator system for influencing factors of spatial differentiation of “Chinese Traditional Villages” in Yunnan Province

类型	维度	指标	字母代码	指标解释	计算/提取方法
因变量		“中国传统村落”数(个/km²)	Y	1—6批“中国传统村落名录”云南省	基于点位数据，提取格网单元“中国传统村落”核密度均值
自变量	自然地理	海拔高程(m)	X_1	地形条件的重要指标	基于DEM数据，提取格网单元高程均值
		地形起伏度(m)	X_2	单位面积内最大相对高程差，定量描述地貌形态	基于km栅格数据，提取格网单元起伏度均值
		水系密度(km/km²)	X_3	反映与水系的关系	格网内水系总长度/格网单元面积
	气候条件	年降水量(mm)	X_4	衡量气候特征的重要指标	基于km栅格数据，提取格网单元年降水量均值
		年均气温(℃)	X_5		基于km栅格数据，提取格网单元年均气温均值
	生态环境	植被指数NDVI	X_6	植被覆盖、生长活力的指标，反映生态条件	基于km栅格数据，提取格网单元植被指数NDVI均值
	区位交通	古驿道密度(km/km²)	X_7	反映与古代交通的关系	格网内古驿道总长度/格网单元面积
		区域中心城镇数(个/km²)	X_8	反映与区域中心城镇之间的关系	基于城镇分布点位数据，提取格网单元区域中心城镇核密度均值
	社会经济	城镇化率(%)	X_9	县域层面的城镇化发展水平	基于县域数据，提取格网单元城镇化率均值
		人口密度(人/km²)	X_{10}	反映人类活动强度	基于km栅格数据，提取格网单元人口密度均值
		GDP(亿元)	X_{11}	反映地方经济状况	基于km栅格数据，提取格网单元GDP均值
	历史文化	少数民族人口占比(%)	X_{12}	反映民族聚居区的各民族分布与人口占比情况	基于县域数据，提取格网单元少数民族人口占比均值
		文物保护单位数(个/km²)	X_{13}	反映地方历史，文化遗产保护状况	基于点位数据，提取格网单元文物保护单位核密度均值
		A级景区数(个/km²)	X_{14}	反映文旅开发对传统村落留存的影响	基于点位数据，提取格网单元A级景区核密度均值
		非物质文化遗产数(个/km²)	X_{15}	反映地方历史，地域文化留存	基于点位数据，提取格网单元非物质文化遗产核密度均值

2 结果与分析

2.1 空间分异特征

2.1.1 空间分布类型 借助ArcGIS平均最近邻工具对云南省777个“中国传统村落”点要素进行分析，得出预期平均距离为11 260.63 m，平均观测距离为7 909.05 m，平均最邻近比率R为0.702 363<1，且Z得分为−15.871 889，显著水平p为0.000 000，表明在宏观尺度上，云南省“中国传统村落”的空间分布形态为集聚型。云南省约94%的面积为山地与高原，境内无大型平原，高原山地间分布着各种成因的中小型山间盆地（西南地区称坝子）[23]。乡村聚落的选址多倾向于平缓的坝子，这些地区河网密布，水利条件好，土壤肥沃，利于耕种与居住[24]。同时，由于区位交通、社会经济发展和地方保护政策等因素也影响了乡村聚落传统风貌的保护与留存。因此，云南省“中国传统村落”在空间上表现出明显的集聚现象。

2.1.2 总体分布格局 核密度分析结果显示，云南省“中国传统村落”在空间分布格局上呈现“3个高密度区＋多个中密度区”的结构特征（图3）。“3个高密度区”指滇西保山集聚区、滇西北大理—丽江集聚区、滇东南红河集聚区。“多个中密度区”指滇东南文山、滇西南西双版纳、临沧和普洱等地区。中密度区内，“中国传统村落”虽也聚集，但数量与规模均较“3个高密度区”略小。少数民族文化作为云南地域文化的重要组成，传统村落正是其文化积淀与传承的核心载体。滇西北大理—丽江集聚区内民族以白族、纳西族为主，滇东南红河集聚区则集中分布着哈

尼族和彝族[25],两大片区鲜明的民族特色使其传统村落受到更多关注,并得以系统性保护与存续。滇西保山虽非少数民族聚居区,但从历史背景看,明代以来中央为巩固边疆推行的屯田戍边政策,组织数以万计的汉族军事移民迁入[26],不仅推动了地区聚落的发展与繁荣,也使得承载汉文化特色的聚落风貌在此得到较为完整的保存。

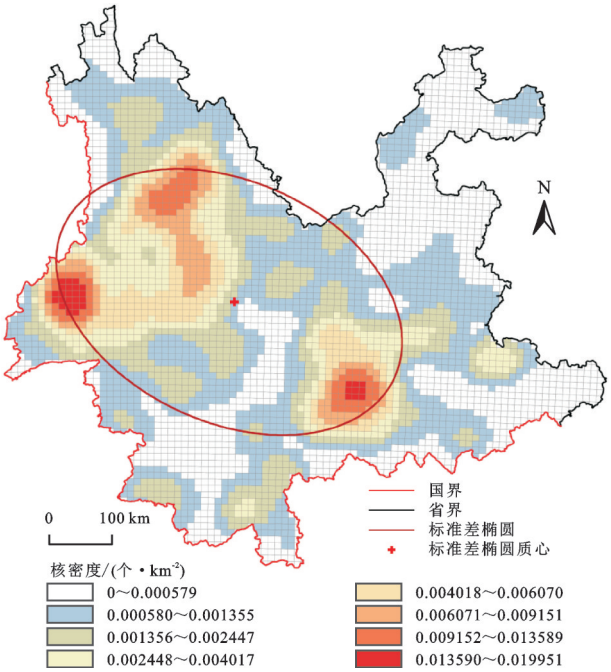


图 3　云南省“中国传统村落”格网核密度与标准差椭圆分布图

Fig. 3　Distribution of kernel density and standard deviation ellipse of “Chinese Traditional Villages” grid in Yunnan Province

根据标准差椭圆分析结果可知,云南省“中国传统村落”分布的空间质心偏西,位于楚雄与大理交界处。长轴短轴差距较大,表示传统村落空间集聚明显,分布指向性强,其区域离散方向的椭圆长轴明显沿着“云岭—哀牢山”的走势,呈西北—东南方向延伸。云南西部为横断山系纵谷区,各类型山地约占全省总面积的84%,分布着高黎贡山、怒山、云岭等山脉,整体由西北向东南方向延伸[24]。高山峡谷间孕育了澜沧江、金沙江、怒江和红河(元江)等大型河流水系,形成了若干沿西北向东南呈“扫帚状”展开的天然河谷通道[27]。冲击河谷优越的耕作环境与气候条件,吸引了氐羌族群在此定居与发展,形成民族迁徙与活动的重要地理走廊[28]。

2.1.3　空间分异特征　为进一步识别云南省“中国传统村落”的空间分异特征,运用ArcGIS进行全局自相关分析,莫兰指数Moran′s I(0.292 841)、p值(为0)、z值得分(为25.966 016,大于2.58)表明格网中的云南省“中国传统村落”的空间分布与影响因子之间存在正相关性的集聚特征,进而表明运用空间回归模型(OLS,GWR和MGWR)对空间分异的驱动机制进行分析的适用性和可行性。

空间分布的聚类和异常值可从局部自相关LISA图中精确识别,分为3种聚类模式(图4A)。具体来看,“高/高聚类”表明此区域与其邻近区域具有高密度分布的正相关性,包括三大片区和两小片区,三大片区为滇西保山、滇东南红河与滇西北大理—丽江地区,两小片区为临沧北部和玉溪北部;“低/高异常值聚类”为此区域呈现显著低值集聚,与此相邻的区域则呈现高值集聚,呈分散状围绕在“高/高聚类”周边;“高/低异常值聚类”表明此区域虽呈现显著高值集聚,但其邻近区域则是低值集聚,呈零星状分布全省。

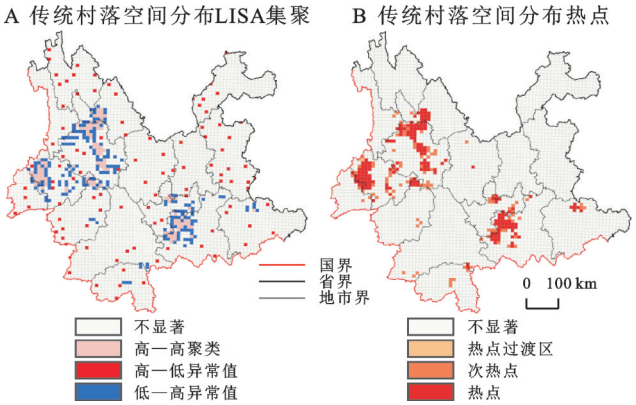


图 4　云南省“中国传统村落”LISA集聚与热点分布图

Fig. 4　LISA clustering and hotspot distribution of “Chinese Traditional Villages” in Yunnan Province

根据热点分析计算出的G值将要素分为三级,生成云南省“中国传统村落”热点分布图(图4B)。图中可见,热点区域与“高/高聚类”大致相同,进一步印证了红河、保山和大理—丽江是云南省“中国传统村落”的密集分布区域。

2.2　分异影响因子探测

2.2.1　单因子探测分析　采用最优参数地理探测器,对上述6个维度的15项影响因子进行探测,以揭示不同因子对云南省“中国传统村落”空间分异的解释力。传统的地理探测器分析结果会由于主观的离散方式和分类区间组合而存在显著的差异。本文运用最优参数地理探测器,将分类区间设置为5~10类,分别用自然间断点法、几何间隔法、相等间隔法、分位数法对相关影响因子进行离散化处理。最终通过计算各方法的q值,选取每项影响因子q值最大时的分类区间及离散方法组合作为最优参数(图5)。

单影响因子探测结果显示,古驿道密度(X_7)的p值为0.38,未通过显著性检验($p<0.05$),后续分析将其剔除(图6)。在通过显著性检验的14个影响因子中,A级景区数(X_{14})、文物保护单位数(X_{13})、非物质

文化遗产数(X_{15})等历史文化因素,单影响因子解释力显著,q值均达到0.3以上,其中A级景区数(X_{14})解释力最高,达到0.418;区域中心城镇数(X_8)、GDP(X_{11})、海拔(X_1)、地形起伏度(X_2)等影响因子解释力次之,q值位于0.028~0.1;另外,植被指数NDVI(X_6)、水系密度(X_3)等q值小于0.02,对传统村落空间分布的影响强度微弱。总体来说,历史文化维度对于云南省"中国传统村落"的空间异质性影响强度较高,区位交通、气候条件、社会经济维度的影响强度次之,生态环境、自然地理维度影响强度较弱。

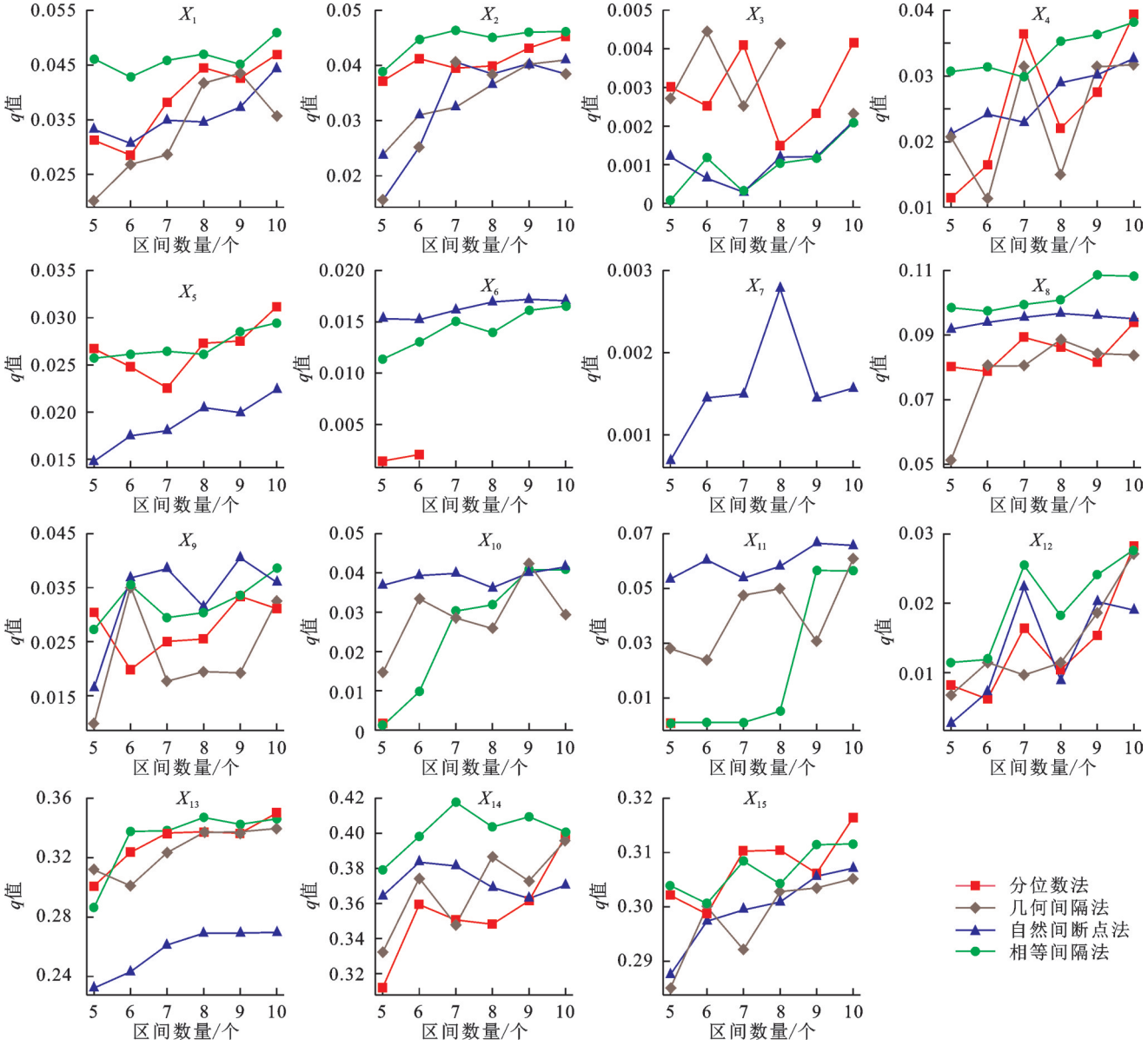


图5 云南省"中国传统村落"空间分异影响因子的q值统计图

Fig. 5 q-value statistics of influencing factors of spatial differentiation of "Chinese Traditional Villages" in Yunnan Province

2.2.2 交互探测分析 进一步使用交互探测器以确定影响因子之间的相互协同作用。对筛选后的14项因子进行双因子交互探测,结果显示,各因子之间的相互协同作用明显强于单一因子的解释力,因子之间的相互作用呈现非线性增强和双因子增强两种类型(图7)。其中,文物保护单位密度(X_{13})∩A级景区密度(X_{14})交互作用下解释力最显著,q值高达0.626。其他影响因素在与单因子驱动解释能力较好的A级景区密度(X_{14})、文保单位密度(X_{13})及非物质文化遗产密度(X_{15})等影响因子的协同作用下,解释力大幅增强。另外,结果显示$X_1 \cap X_2$,$X_3 \cap X_{10}$,$X_3 \cap X_{13}$,$X_3 \cap X_{14}$,$X_8 \cap X_{11}$,$X_8 \cap X_{13}$,$X_8 \cap X_{14}$,$X_{10} \cap X_{11}$,$X_{13} \cap X_{14}$,$X_{13} \cap X_{15}$,$X_{14} \cap X_{15}$,这11对因子之间的协同作用呈现为双因子增强,其协同作用下对传统村落分布空间异质性的影响力不如其他因子协同作用力显著。结果表明,云南省"中国传统村落"的空间分异受历史文化、气候条件、区位交通、社会经济的相互作用影响显著。在形成上,各因子不是独立作用而是协同作用,

各因子相互作用的变化反映了云南省“中国传统村落”空间分异的主要驱动力。

2.3　分异影响机制解析

2.3.1　影响因子筛选　首先,将15项影响因子代入普通最小二乘法(Ordinary Least Squares, OLS)模型进行初步回归分析。首先根据方差膨胀因子(Variance Inflation Factor, VIF)结果筛除存在多重共线性的影响因子,其中包括生产总值GDP、人口密度、年均气温和海拔高程。同时筛除没有通过显著性检验(p值>0.01)的影响因子即古驿道密度、水系密度和年均降水量(表2)。之后,将剩余的非物质文化遗产数、文物保护单位数、A级景区数、区域中心城镇数、少数民族人口占比、城镇化率、地形起伏度和植被指数NDVI这8项影响因子重新拟合OLS模型,结果表明,8项影响因子p值<0.01且VIF<7.5,其拟合度高且不存在多重共线性。同时OLS模型的Koenker(BP)值(p<0.01)检验结果显著,说明影响因子的作用存在空间异质性,需进一步对各影响因子进行空间回归分析。

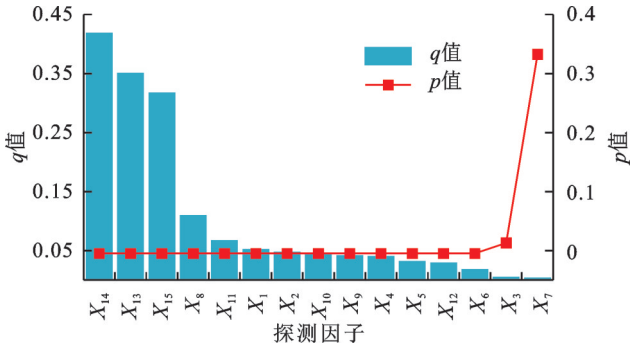


图6　云南省“中国传统村落”空间分异影响因子的单因子探测结果

Fig. 6 Single-factor detection results of influencing factors of spatial differentiation of “Chinese Traditional Villages” in Yunnan Province

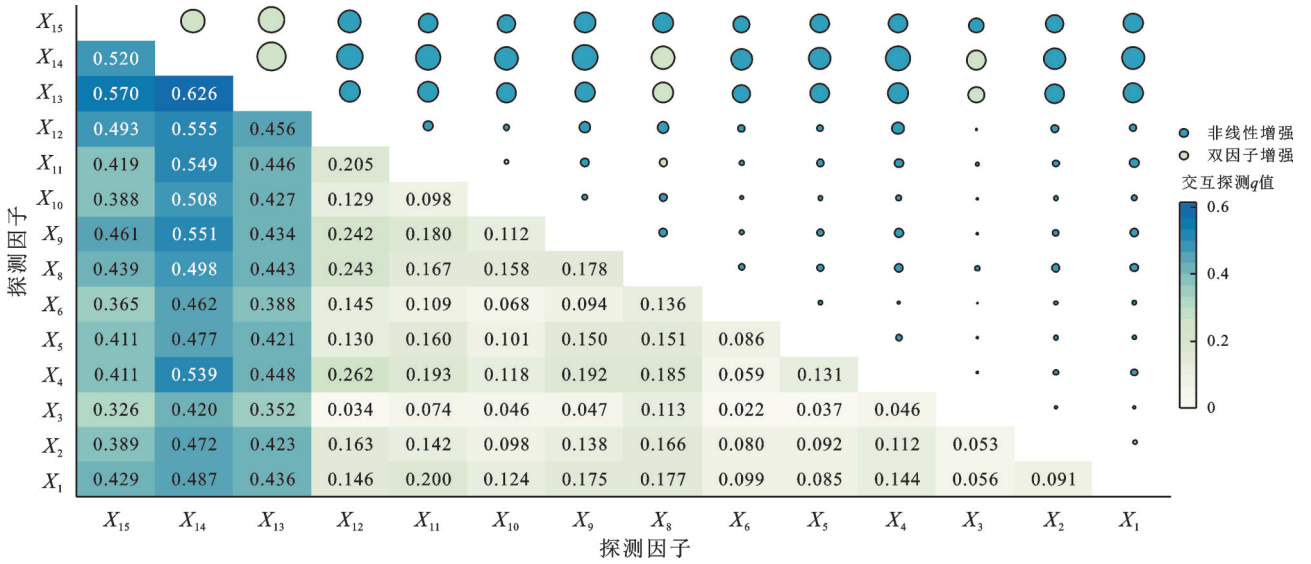


图7　云南省“中国传统村落”空间分异影响因子的交互探测q值

Fig. 7 The q-value heatmap of interactive detection for influencing factors of spatial differentiation of “Chinese Traditional Villages” in Yunnan Province

表2　云南省“中国传统村落”空间分异影响因子共线性检验结果

Table 2　Collinearity diagnostic results of influencing factors of spatial differentiation of “Chinese Traditional Villages” in Yunnan Province

自变量	系数	概率	Robust_Pr	VIF	结果
非物质文化遗产数	0.000562	0.00000*	0.00000*	2.251102	通过
A级景区数	0.001268	0.00000*	0.00000*	3.256214	通过
文物保护单位数	0.001365	0.00000*	0.00000*	1.780753	通过
区域中心城镇数	−0.001225	0.00000*	0.00000*	3.193717	通过
少数民族人口占比	−0.000272	0.00000*	0.00000*	1.865096	通过
城镇化率	−0.000318	0.00000*	0.00000*	1.385599	通过
地形起伏度	0.000217	0.00000*	0.00000*	1.175715	通过
植被指数NDVI	0.000247	0.00000*	0.00000*	1.249763	通过

2.3.2　模型比较　将上述8项解释力较高的因子分别输入多尺度地理回归(MGWR)模型和地理回归(GWR)模型进行分析,并将OLS,GWR和MGWR三组模型的结果进行比较(表3)。通过对比表征模型拟

合优度的R^2值可知，GWR模型(R^2=0.844)的拟合效果显著优于OLS模型(R^2=0.539)，而MGWR模型的拟合优度(R^2=0.976)为三者最高，其调整R^2值(0.974)小于R^2值。同时，MGWR的阿凯克信息准则(Akaike Information Criterion corrected，AICc)值较OLS和GWR模型分别降低了10 588.406 02，6 665.933 8(当AICc值相差大于3，值较低的模型更优)，进一步表明MGWR模型的拟合效果最佳。由此可见，MGWR模型在回归分析中可以从多维尺度选择与影响因子更加适配的带宽这一算法，与经典GWR模型相比，对于影响因子作用的分析更为精准，弥补了OLS模型和经典GWR模型中的设定局限。以此证明，本文采用可根据不同影响因子作用差异自适应选择带宽的多尺度地理回归(MGWR)模型，对于揭示云南省“中国传统村落”空间分异及其影响因子的异质性作用具有必要性。

2.3.3 驱动机制分析 为研究影响因子作用机制在研究区域的局部空间差异，在ArcGIS软件中对MGWR模型各影响因子系数进行了空间分布可视化(图8)。整体而言，A级景区数与传统村落空间分布呈显著正相关；而文物保护单位数、非物质文化遗产数、区域中心城镇数、少数民族人口占比、城镇化率、地形起伏度以及植被指数NDVI对云南省“中国传统村落”的空间分布影响存在正负差异，表现出明显的空间异质性(图9)。

表3 OLS，GWR与MGWR模型的指标对比

Table 3 Comparison of performance indicators for OLS, GWR, and MGWR models

模型	R^2	调整R^2	AICc
OLS	0.539	0.538	−37105.0154
GWR	0.844	0.839	−41027.4876
MGWR	0.976	0.974	−47693.4214

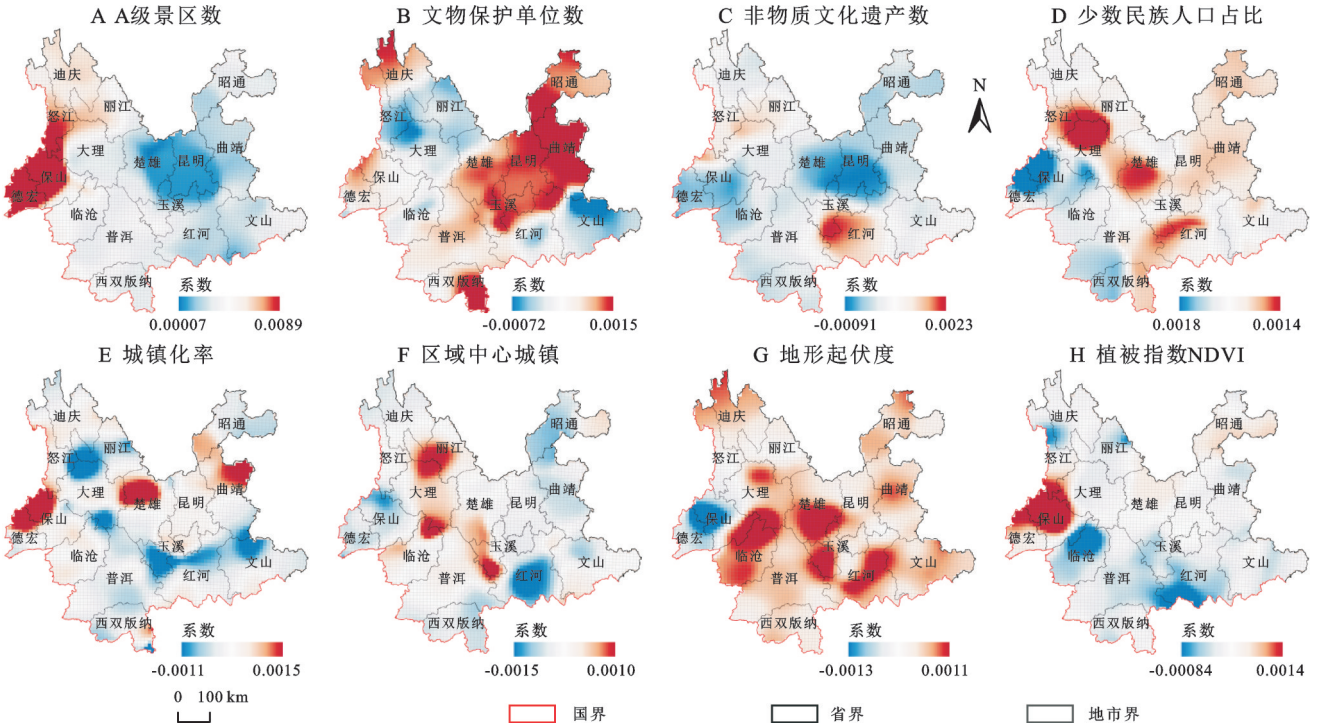


图8 云南省“中国传统村落”空间分异影响因子的MGWR回归模型系数分布图

Fig. 8 Distribution of MGWR regression coefficients for influencing factors of spatial differentiation of “Chinese Traditional Villages” in Yunnan Province

具体来看，表征正向影响的A级景区数，其影响强度在空间地理格网中呈现由西向东递减的趋势。非物质文化遗产数、文物保护单位数、少数民族人口占比和地形起伏度，对云南省“中国传统村落”空间分布的正向影响较负向影响更为显著。结合A级景区均为正向影响这一特征，表明历史文化要素的数量与完整性不仅是中国传统村落评定的关键依据，其保护与发展亦有助于区域历史文化的传承；反之，不当的保护发展模式则可能对其造成负面影响。从少数民族人口占比这一因子来看，云南省作为我国民族多样性最为突出的省份之一，少数民族的空间分布格局与传统村落分布存在显著关联。例如，滇西北作为省内少数民族文化富集区，正是前文中少数民族人口占比系数分布的高值区域，印证了二者的空间耦合性。

城镇化率是8项影响因子中唯一正负效应相当的一项，其与“中国传统村落”的关系具体表现为：曲靖—楚雄—保山—德宏部分地区的“中国传统村落”分布

在城镇化率较高的区域,而大理、丽江、怒江和红河,“中国传统村落”则集中分布在城镇化率较低的区域。这一现状凸显云南省“中国传统村落”受城镇化进程的影响具有双重性,反映出城镇化建设对其发展是一把“双刃剑”:一方面城市建设滞后可能会为传统村落的留存提供有利的空间载体;但传统村落的保护与城市的发展并非对立,科学合理的城市发展同样能够提升传统村落的保护水平。

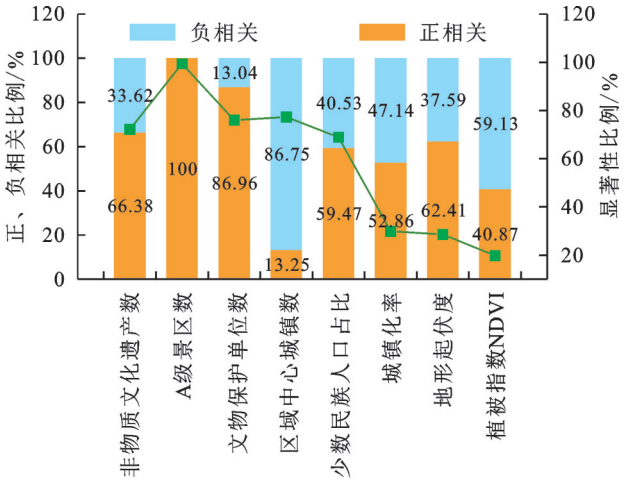


图 9　云南省“中国传统村落”空间分异影响因子的正负值与显著性对比统计图

Fig. 9　Comparative statistics of positive/negative values and significance of influencing factors of spatial differentiation of “Chinese Traditional Villages” in Yunnan Province

中国古代村落在选址中普遍体现出对良好生态景观环境的追求。就呈现显著负相关的两项影响因子——植被指数NDVI和区域中心城镇数而言,植被指数NDVI负相关区域往往与区域中心城镇数正相关区域在空间上高度对应,反之亦然。这表明,当“中国传统村落”位于中心城镇数的高值区时,则更倾向于分布在植被指数NDVI更高的区域。进而说明:当区域中心城镇数量较多导致城镇密度和规模扩大时,会在一定程度上挤占周边生态空间,侵蚀传统村落赖以生存的生态用地,从而对传统村落生存空间构成潜在威胁。

3　讨论与结论

3.1　讨　论

日益剧烈的城乡转型一定程度上加剧了传统乡村的地域文化面临巨大冲击,“中国传统村落”的评定为历史保护和发展利用提供了新的机遇。深入探索具有较高历史价值和文化内涵的传统村落的空间格局、聚集态势及驱动机制,对于进一步认识传统村落的空间特征和形成机制至关重要。受限于数据和史料,文章存在以下不足之处亟待继续探索:

(1) 地理格网尺度旨在实现精细识别,但受限于数据精度,遗憾的是本文城镇化率、少数民族占比仅获取到区县级数据,乡镇级难以获得。尤其是对于民族多样性的云南省,少数民族占比经模型分析得出影响程度居中。数据受限可能对结果有一定影响。用古驿道取代现代路网,是考虑到历史道路与传统村落形成发展的关系更为直接和密切,但受限于史料,目前取得的古驿道线路缺少分支网络,仅用古驿道主路数据可能使其在地理探测器、地理加权回归模型中未通过检验而被剔除。这与我们的实践认识不符,云南省留存着许多与古驿道关系密切、互惠共生的传统村落,如曲靖的黄土坡和白雾村、楚雄的黑井古镇和炼象关、大理的云南驿以及昆明的禄脿村等,不胜枚举。未来的研究工作中需要克服这一困难,以达到更深刻精准的研究结论。

(2) 两个模型均探测出历史文化维度的指标在解释力上普遍较强、正向影响较高,而自然生态维度的指标或未通过模型检验,或在解释力上普遍较弱。这应该是因为目前既有文献普遍以“中国传统村落”作为研究样本,存在研究对象和驱动指标的错位。已被评为“中国传统村落”的样本,代表其保护较好的留存状态已达到国家级认定标准。在本文结论中,历史文化维度中的A级景区数、文物保护单位数、非物质文化遗产数等指标,亦是国家级的名录数据,是《传统村落评价认定指标体系》中明确设置的重要标准,与“中国传统村落”高度关联对应。但自然地理、气候生态等维度更多的是影响传统村落生成的基础条件,在模型解释中较弱,可能与样本有限、并不能代表所有广义上的传统村落有关。鉴于云南省拥有复杂的自然生态系统、多元的少数民族文化,对于传统村落的完整性保护以及自然环境因素在整个区域传统村落保护中的作用,后续仍有必要进行系统的研究。

3.2　结　论

(1) 云南省“中国传统村落”在空间分布类型上呈现集聚型,在空间分布格局上呈现“3个高密度区和多个中密度区”的结构特征。“3个高密度区”即滇西保山集聚区、滇西北大理—丽江集聚区、滇东南红河集聚区。其空间分布质心位于楚雄与大理交界处,区域离散方向的椭圆长轴明显沿着“云岭—哀牢山”呈西北—东南方向走势。(2) 通过全局空间自相关检验,还发现云南省“中国传统村落”的空间分布具有显著的空间依赖性,即更倾向于集聚存在。从影响因素来看,15项影响因子对云南省“中国传统村落”空间异质性的解释度存在明显差异。其中,历史文化维度的影

响最高。各影响因子的相互协同作用明显增强,表现出双因子增强及非线性增强。(3)从驱动机制来看,不同因素的影响呈现出显著的空间异质性。其中,A级景区数与云南省“中国传统村落”空间分异呈正相关;文物保护单位数、非物质文化遗产数、区域中心城镇数、少数民族人口占比、城镇化率、地形起伏度以及植被指数NDVI对其影响存在正负差异。

参考文献(References):

[1] 吴佳倚,储建国,展婧馨.黄河流域特色乡村空间格局特征及主控因素分析[J].水土保持研究,2025,32(2):305-315.
Wu J Y, Chu J G, Zhan J X. Spatial pattern of characteristic villages and its controlling factors in the Yellow River Basin[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025,32(2):305-315.

[2] 许启昌,时少华.大运河沿线传统村落与非物质文化遗产的空间关系及其影响因素[J].地理科学,2025,45(3):603-612.
Xu Q C, Shi S H. Spatial relationship and influencing factors of traditional villages and intangible cultural heritage along the Grand Canal[J]. Geographical Science, 2025,45(3):603-612.

[3] 何小芊,厉峰,高军波.基于地理网格的中国传统村落空间分布及影响因素[J].地理科学,2024,44(6):995-1004.
He X Q, Li F, Gao J B, et al. Spatial distribution and influencing factors of Chinese traditional villages based on geographic grid[J]. Scientia Geographica Sinica, 2024,44(6):995-1004.

[4] 汪东川,刘昊洫,杨菲,等.青海省海南藏族自治州生态系统健康评价及驱动因素分析[J].环境科学研究,2025,38(11):2540-2548.
Wang D C, Liu H T, Yang F, et al. Ecosystem health assessment and driving factor analysis in Hainan Tibetan Autonomous Prefecture, Qinghai Province[J]. Research of Environmental Sciences, 2025,38(11):2540-2548.

[5] 赵晓燕,李永平,谈树成,等.成渝双城经济圈生态环境质量时空演变格局及其驱动力[J].生态学报,2025,45(1):319-333.
Zhao X Y, Li Y P, Tan S C, et al. Analysis of spatial and temporal evolution patterns and driving forces of ecological environment quality in Chengdu-Chongqing Economic Circle[J]. Acta Ecologica Sinica, 2025,45(1):319-333.

[6] 周向丽,王智超,刘益珠,等.基于MGWR的乡村聚落空间演变的影响因素分析:以海口市为例[J].热带地理,2023,43(8):1599-1610.
Zhou X L, Wang Z C, Liu Y Z, et al. Factors influencing the evolution of rural settlements based on MGWR: a case study of Haikou City[J]. Tropical Geography, 2023,43(8):1599-1610.

[7] Song J L, Yu H C, Lu Y. Spatial-scale dependent risk factors of heat-related mortality: a multiscale geographically weighted regression analysis[J]. Sustainable Cities and Society, 2021,74:103159.

[8] Yu H C, Fotheringham A S, Li Z Q, et al. On the measurement of bias in geographically weighted regression models[J]. Spatial Statistics, 2020,38:100453.

[9] 高文静,肖大威,卓晓岚.云南少数民族特色村寨的分布特征及影响因素[J].经济地理,2022,42(9):228-238.
Gao W J, Xiao D W, Zhuo X L. Spatial distribution characteristics and influencing factors of Ethnic Groups' Villages in Yunnan[J]. Economic Geography, 2022,42(9):228-238.

[10] 陈国磊,张春燕,罗静,等.中国红色旅游经典景区空间分布格局[J].干旱区资源与环境,2018,32(9):196-202.
Chen G L, Zhang C Y, Luo J, et al. Spatial distribution pattern of classical red tourism scenic spots in China[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2018,32(9):196-202.

[11] 杨燕,胡静,刘大均,等.贵州省民族传统村落空间分异与影响因素研究:基于6类民族传统村落[J].干旱区资源与环境,2022,36(2):178-185.
Yang Y, Hu J, Liu D J, et al. Spatial differentiation of ethnic traditional villages in Guizhou Province and the influencing factors[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022,36(2):178-185.

[12] 佟玉权.基于GIS的中国传统村落空间分异研究[J].人文地理,2014,29(4):44-51.
Tong Y Q. Research on the spatial differentiation of Chinese traditional village based on GIS[J]. Human Geography, 2014,29(4):44-51.

[13] Chen W X, Yang Z, Yang L Y, et al. Identifying the spatial differentiation factors of traditional villages in China[J]. Heritage Science, 2023,11(1):149.

[14] 牛彦龙,王毅.基于MGWR模型的太行山区传统村落空间分异格局与影响机制研究[J].干旱区资源与环境,2024,38(9):87-96.
Niu Y L, Wang Y. Spatial differentiation patterns of traditional villages in Taihang mountain area and influencing mechanisms: a MGWR model based analysis[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2024,38(9):87-96.

[15] 田磊,孙凤芝,张淑娴.黄河流域非物质文化遗产空间分布特征及影响因素[J].干旱区资源与环境,2022,36(5):186-192.
Tian L, Sun F Z, Zhang S X. Spatial distribution characteristics of intangible cultural heritage in the Yellow River Basin[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2022,36(5):186-192.

[16] 王劲峰,徐成东.地理探测器:原理与展望[J].地理学报,2017,72(1):116-134.

Wang J F, Xu C D. Geodetector: principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica, 2017,72(1):116-134.

[17] Song Y Z, Wang J F, 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.

[18] 乔亚军,徐网谷,刘坤,等.基于多尺度地理加权回归模型的黑龙江省植被NPP时空演变研究[J].生态学报,2025,45(10):4878-4888.
Qiao Y J, Xu W G, Liu K, et al. Spatio-temporal evolution of vegetation NPP in Heilongjiang Province based on the multi-scale geographically weighted regression model [J]. Acta Ecologica Sinica, 2025,45(10):4878-4888.

[19] 卢宾宾,葛咏,秦昆,等.地理加权回归分析技术综述[J].武汉大学学报(信息科学版),2020,45(9):1356-1366.
Lu B B, Ge Y, Qin K, et al. A review on geographically weighted regression[J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2020,45(9):1356-1366.

[20] 陆韧.云南对外交通史[M].昆明:云南民族出版社,1997.
Lu R. Foreign traffic history of Yunnan[M]. Kunming: Yunnan Ethnic Publishing House, 1997.

[21] 谭其骧.中国历史地图集[M].北京:中国地图出版社,1987.
Tan Q X. Chinese historical atlas[M]. Beijing: China Map Publishing House, 1987.

[22] 李江苏,王晓蕊,李小建.中国传统村落空间分布特征与影响因素分析[J].经济地理,2020,40(2):143-153.
Li J S, Wang X R, Li X J. Spatial distribution characteristics and influencing factors of Chinese traditional villages[J]. Economic Geography, 2020,40(2):143-153.

[23] 童绍玉,陈永森.云南坝子研究[M].昆明:云南大学出版社,2007.
Tong S Y, Chen Y S. Research on Yunnan Basins[M]. Kunming: Yunnan University Press, 2007.

[24] 云南省地方志编纂委员会.云南省志:卷一·地理志[M].昆明:云南人民出版社,1998.
Yunnan Provincial Local Records Compilation Committee. Yunnan provincial chronicles: volume Ⅰ·geography [M]. Kunming: Yunnan People's Publishing House, 1998.

[25] 尹绍亭.试论云南民族地理[J].地理研究,1989(1):40-49.
Yin S T. Ethnic of geography Yunnan[J]. Geographical Research, 1989(1):40-49.

[26] 陆韧.明代云南汉族移民定居区的分布与拓展[J].中国历史地理论丛,2006,21(3):74-83.
Lu R. The distribution and development of the Han immigrant's settlement in Yunnan during the Ming Dynasty[J]. Journal of Chinese Historical Geography, 2006,21(3):74-83.

[27] 叶文,张卓亚,杨宇明.云南风景地理学[M].北京:科学出版社,2017.
Ye W, Zhang Z Y, Yang Y M. Landscape geography of Yunnan[M]. Beijing: Science Press, 2017.

[28] 郭天真.“横断走廊”:民族文化与族群地理的有机整合[J].民族学刊,2025,16(8):114-120,165.
Guo T Z.“Hengduan Corridor”: organic integration of ethnic culture and geography[J]. Journal of Ethnology, 2025,16(8):114-120,165.

(上接第 370 页)

[26] 邓文彬,宋森,易红梅.基于改进遥感生态指数的淮东地区生态环境质量时空变化分析[J].干旱区地理,2025,48(12):2073-2086.
Deng W B, Song S, Yi H M. Spatio-temporal variation analysis of ecological environment quality in Zhundong area based on improved remote sensing ecological index [J]. Arid Land Geography, 2025,48(12):2073-2086.

[27] Jiang H, Wu Y F. Change trend analysis of the time-series shadow-eliminated vegetation index (SEVI) for the Wuyishan Nature Reserve with the Sen+Mann-Kendall method[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2021,658(1):012016.

[28] 李彩霞,任涛,李永恒.黄土高原典型沟壑区生态敏感性分析:以甘肃省庆阳市为例[J].中国沙漠,2025,45(6):166-175.
Li C X, Ren T, Li Y H. Ecological sensitivity analysis of typical gully regions on the Loess Plateau: a case study of Qingyang City, Gansu Province[J]. Journal of Desert Research, 2025,45(6):166-175.

[29] 张音,孙从建,刘庚,等.基于GEE和改进型遥感生态指数的黄河流域生态环境质量评价[J].干旱区资源与环境,2025,39(11):103-115.
Zhang Y, Sun C J, Liu G, et al. Evaluation of eco-environmental quality in the Yellow River Basin based on GEE and improved remote sensing ecological index [J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2025,39(11):103-115.

[30] 王晓蕾,黄亦龙.基于Google Earth Engine和干旱改进型遥感生态指数的青海省生态环境质量评价[J].生态学报,2025,45(20):10008-10020.
Wang X L, Huang Y L. Ecological environment quality evaluation of Qinghai Province based on GEE and arid improved remote sensing ecological index[J]. Acta Ecologica Sinica, 2025,45(20):10008-10020.