

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2025.02.028; CSTR:32311.14.rswc.2025.02.028.

王绍邦, 李志英, 龙晔, 等. 滇中高原湖区乡村聚落空间演化及驱动因素[J]. 水土保持研究, 2025, 32(2): 387-395.

Wang Shaobang, Li Zhiying, Long Ye, et al. Spatial evolution and driving factors of rural settlements in the plateau lake area in central Yunnan [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2025, 32(2): 387-395.

滇中高原湖区乡村聚落空间演化及驱动因素

王绍邦, 李志英, 龙晔, 杨柳, 丁晓焰

(云南大学 建筑与规划学院, 昆明 650091)

摘要: [目的] 探析滇中高原湖区乡村聚落空间格局演化机理, 以期为区域乡村发展和空间治理提供参考。 [方法] 运用基于 Ripley's K 函数确定带宽的核密度估计、Voronoi 图变异系数、景观指数、热点分析等方法, 分析了 1995—2020 年乡村聚落空间格局演化特征, 进而运用最优参数地理探测器分析了其驱动因素。 [结果] (1) 滇中高原湖区乡村聚落空间格局总体上呈现“数量增加—用地扩张—局部收缩”的演化特征; (2) 地形是湖区乡村聚落空间分布的主导因素, 社会经济多因子复合作用持续驱动聚落空间演化, 形成与城镇化进程相关联的阶段特征; (3) 城镇化中后期, 各湖泊区域乡村聚落空间分异愈发增强, 集聚与收缩现象并存。 [结论] 乡村振兴背景下, 需结合各湖泊区域发展趋势引导乡村功能专业化转型, 加强乡村建设用地集约利用, 耕地保护和生态修复, 探索人口收缩区域的村庄布局和用地优化。

关键词: 乡村聚落; 空间演化; 驱动因素; 最优参数地理探测器; 滇中高原湖区

中图分类号: K901.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2025)02-0387-09

Spatial evolution and driving factors of rural settlements in the plateau lake area in central Yunnan

Wang Shaobang, Li Zhiying, Long Ye, Yang Liu, Ding Xiaoyan

(School of Architecture and Urban Planning, Yunnan University, Kunming 650091, China)

Abstract: [Objective] The aims of this study are to analyze the evolution mechanism of rural settlement spatial patterns in the plateau lake area in central Yunnan, and to offer insights into regional rural development and spatial governance. [Methods] Ripley's K function for kernel density estimation to determine bandwidth, alongside the coefficient of variation of Voronoi diagrams, landscape indices, hot spot analysis, and other methodologies were used to examine the evolution characteristics of rural settlement spatial patterns from 1995 to 2020. Subsequently, the optimal parameters-based geographical detector model was employed to analyze the driving factors. [Results] (1) The spatial pattern of rural settlements in the plateau lake area in central Yunnan generally exhibited the evolution traits of quantity increase-land expansion-local contraction. (2) Topography emerged as the predominant factor influencing the spatial distribution of rural settlements in the lake area. The interplay of social and economic factors continued to propel the evolution of settlement space, delineating stage characteristics linked to the urbanization process. (3) During the middle and late stages of urbanization, the spatial differentiation of rural settlements in each lake area escalated, with aggregation and contraction coexisting. [Conclusion] In the context of rural revitalization, it is essential to steer the functional transformation of rural areas in alignment with the developmental trajectories of individual lake regions. This involves enhancing the intensive utilization of rural construction land, safeguarding arable land, and promoting ecological restoration. Additionally, it is crucial

收稿日期: 2024-04-22

修回日期: 2024-05-09

接受日期: 2024-05-21

资助项目: 国家自然科学基金(52368008); 云南省哲学社会科学规划项目(YB2022044); 云南省教育厅科学研究资助项目(2023J0027)

第一作者: 王绍邦(1999—), 男, 江苏南京人, 硕士研究生, 研究方向为城乡发展与土地利用。E-mail: w_shaobang@163.com

通信作者: 李志英(1975—), 女, 贵州都匀人, 博士, 教授, 主要从事景观生态安全与土地利用研究。E-mail: lizhy@ynu.edu.cn

<http://stbcyj.paperonce.org>

to investigate optimal village layouts and land use strategies in regions experiencing population decline, ensuring sustainable rural development.

Keywords: rural settlements; spatial evolution; driving factors; optimal parameters-based geographical detector model; plateau lake area in central Yunnan

乡村聚落空间格局是自然环境、历史文化、社会经济等因素综合作用的结果^[1],与乡村人地关系具有紧密的动态关联。中国的工业化、城镇化进程持续驱动乡村发展转型,同时引发了乡村衰退、用地失调、环境破坏等问题,聚落的空间重构是应对发展问题、推动乡村振兴的重要手段^[2]。当前,规模体系调整、结构重组与功能优化是全国乡村空间发展的总体趋势^[3-4],同时乡村发展状况具有显著的区域差异^[5]。乡村振兴和城乡融合发展背景下,结合特定时空尺度的聚落空间演变机理研究对区域乡村空间优化及发展引导具有重要意义。

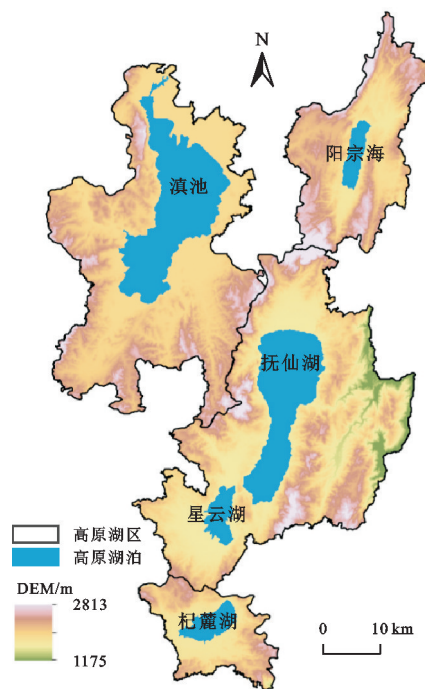
乡村聚落体系^[6]、空间格局^[7]的研究起步较早,随着城镇化进程对乡村转型发展的驱动,空间重构^[8]研究逐渐受到关注。近年来,相关研究从扶贫搬迁^[9]、空心化等^[10]特定社会经济问题切入,探讨空间现象的形成机制与政策应对。乡村聚落空间格局的特征、演变及其驱动机制是研究的基础和重点,对乡村规划和治理具有支撑作用^[11]。相关研究主要从分布、规模、形态 3 个方面刻画乡村聚落空间格局^[7,12],空间特征的分析方法有景观指数^[7]、探索性空间数据分析^[9]、分形维数等^[13],地理探测器^[14]、地理加权回归^[15]是影响因素研究的主要方法。既有研究在量化分析上积累了丰富成果,同时我国乡村聚落的空间特征具有区域分异性,需进一步加强特定地域的研究。云南省地形以高原山地为主,乡村聚落集中分布于坝区、河谷^[16],规模分异特征为“坝区高值、山区低值”^[5]。高原湖区地形平坦,是云南省最主要的人居空间,以滇中地区分布最为集中。该区域土地资源矛盾突出、生态系统脆弱,面临的城乡融合、农业高质量发展问题最为突出和复杂,亟待厘清乡村空间演变的规律。

研究以滇中 5 大高原湖区乡村聚落为对象,从整体和分区角度综合分析聚落空间的演化机理。在相关研究的基础上,对空间分析科学性、准确性的优化进行探索,基于多距离空间聚类分析(Ripley's K 函数)确定核密度估计带宽,运用最优参数地理探测器(optimal parameters-based geographical detector model, OPGD)进行驱动因素分析。以 1995 年、2005 年、2015 年、2020 年为时序,综合空间统计、景观指数、OPGD 等方法,分析乡村聚落空间分布、规

模和形态特征,进而探讨聚落空间演化的驱动因素,以期为区域乡村治理、规划和发展引导提供参考。

1 研究区概况

滇池、抚仙湖、杞麓湖、星云湖和阳宗海五大高原湖泊集中分布于云南省昆明市和玉溪市,本文以环湖泊 32 个乡镇(街道)的行政区划为基础,确定“滇中高原湖区”范围($102^{\circ}47'—103^{\circ}13'E$, $24^{\circ}06'—25^{\circ}14'N$),并将湖区整体划分为“滇池”“阳宗海”“抚仙湖—星云湖”“杞麓湖”4 个片区(图 1)。研究区域面积约 $3\,677.83\text{ km}^2$,第 7 次全国人口普查总人口约 217.4 万人,较“五普”“六普”分别增加 87 万人和 48 万人。至 2023 年,研究区域内约 $2/3$ 的行政单元由“乡”“镇”调整为“街道”,受城镇化影响较大,且承担重要的社会经济发展任务。各湖泊区域的城乡发展特征具有差异性,但同时面临社会经济发展、耕地保护、生态保护的多重压力。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号云 S(2023)34 号的标准地图制作,底图未做修改,下图同。

图 1 滇中高原湖区区位

Fig. 1 Location of the plateau lake area in central Yunnan

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

研究数据主要为时空地理数据,以 1995 年、2005

年、2015年、2020年4期土地利用数据为基础,提取“农村居民点”作为乡村聚落斑块,同时提取“水域”中的“湖泊”和“水库坑塘”,并将栅格数据转换为矢量数据。土地利用数据(空间分辨率30 m)、人口和GDP空间分布网格数据(1 km)来源于中国科学院资源环境科学数据平台(<https://www.resdc.cn/Default.aspx>),其中人口和GDP网格数据集的最近年份为2019年,以2019年数据代替表征2020年的人口和经济空间分布;DEM数据来源于地理空间数据云(<http://www.gscloud.cn>),同时处理得到坡度数据;气温、降水数据来源于国家青藏高原科学数据中心(<http://data.tpdc.ac.cn>);夜间灯光数据(空间分辨率1 km)^[17]来源于经过改进的长时序DMSP-OLS-Like数据集(已更新至2023年)。各乡镇(街道)2000年、2010年、2020年人口数据来源于第五、六、七次全国人口普查结果。

2.2 研究方法

2.2.1 核密度估计 核密度估计(Kernel Density Estimation, KDE)将搜索区内的点赋予不同权重,生成连续的密度表面,可分析乡村聚落的空间分布特征,密度值越高分布越集聚。其中,带宽(搜索半径)的设定对分析结果有关键影响^[18],需根据研究数据的空间分布情况和研究内容具体确定^[19]。部分研究基于多次试验比较确定带宽^[20],合理带宽的确定仍有待深入探讨。多距离空间聚类分析(Ripley's K函数)可以比较多尺度下点数据的集聚或分散程度^[21],参照相关研究^[22],本文尝试运用Ripley's K函数探索最高聚类程度对应的距离,进而确定核密度估计的带宽。Ripley's K函数的 $L(d)$ 变换计算公式如下:

$$L(d) = \sqrt{\frac{A \sum_{i=1}^n \sum_{j=1, j \neq i}^n k_{i,j}}{\pi n(n-1)}} \quad (1)$$

式中: d 为距离; n 为要素数目; A 为要素总面积; $k_{i,j}$ 为权重。

对1995年、2005年、2015年、2020年乡村聚落进行多距离空间聚类分析,各经过3次迭代运算后得到结果,4个年份的最显著聚类距离均为3 600 m,因此将3 600 m作为核密度估计的带宽。

2.2.2 泰森多边形变异系数 泰森多边形(Voronoi diagram)面积的变异系数(Coefficient of Variation, CV)可以衡量点数据的空间分布情况^[23], $CV > 64\%$ 时,数据集聚分布; $33\% \leq CV \leq 64\%$ 时,数据随机分布; $CV < 33\%$ 时,数据趋向均匀分布^[24]。计算公式如下:

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100\% \quad (2)$$

式中:CV为泰森多边形面积的变异系数; σ, \bar{x} 为多边形面积的标准差和平均值。

2.2.3 景观指数 景观指数能定量反映景观格局的结构组成和空间特征,利用Fragstats4.2计算景观(Landscape)尺度的景观指数,分析滇中高原湖区整体以及各分区乡村聚落的规模和形态特征。选取NP(数量)、TA(总面积)、AREA_MN(平均斑块面积)表征规模特征,选取SHAPE_MN(平均斑块形状指数)表征形态特征,SHAPE_MN可反映乡村聚落斑块的规则程度,值越大形状越不规则。

2.2.4 探索性空间数据分析

(1) 热点分析。热点分析(Getis-Ord G_i^*)计算输入数据集中每个要素的 G_i^* (z 得分),可判断高值或低值要素的空间集聚位置,利用热点分析探索乡村聚落用地规模大小的分布模式及其空间集聚位置。

(2) 空间自相关。双变量莫兰指数(Bivariate Moran's I)可以衡量两个变量在空间上的相关性^[25],指数范围为 $[-1, 1]$,大于0为正相关,小于0为负相关。采用全局双变量Moran's I 判断乡村聚落空间演化与驱动因子在空间上的正负相关性。

2.2.5 最优参数地理探测器 地理探测器可探测空间分异现象的驱动因子,因子解释程度用 q 值度量, q 的值域为 $[0, 1]$,越趋向1空间分异性越显著、因子解释力越强^[26]。其中,分异及因子探测可分析解释因子对因变量空间分异的解释程度,交互作用探测可进一步识别两因子间的交互作用。

地理探测器分析连续性数据时需进行离散化处理^[27],初始模型的离散化分级依赖经验判断,难以评估分类效果。研究者提出基于最优参数的地理探测器模型(OPGD),通过多种离散化方法迭代确定最优空间分级尺度,有效提升了分析精度和准确性^[28]。本文利用OPGD模型,探测乡村聚落空间分布和规模变化的驱动因子及其交互作用。参考相关研究,结合研究区域特征,从自然环境、社会经济两个方面选取9个驱动因子(表1),均处理为栅格数据,统一投影坐标,与乡村聚落数据相对应。分别以1995年聚落空间分布及1995—2020年聚落用地规模变化为因变量,选取相等间隔、自然断点、分位数、几何间隔、标准差5种分类方法,对变量的离散化分类进行迭代寻优。

3 结果与分析

3.1 乡村聚落空间格局演变

3.1.1 空间分布特征 核密度估计结果(图2)表明,1995年乡村聚落高密度集聚区为滇池东北侧、抚仙湖北侧;2005年为抚仙湖北侧、星云湖北侧,且密度

值进一步提升;2015 年星云湖北侧密度值有所下降,至 2020 年滇池东北侧集聚区基本消失。分区尺度下,滇池周边聚落呈“环状”分布;阳宗海周边聚落于北、东、南三侧呈“点状”分布;抚仙湖、星云湖周边聚落主要分布在抚仙湖北侧及星云湖四周,抚仙湖东侧有零散低密度分布;杞麓湖周边聚落呈“C 型”分布。

Voronoi 图面积变异系数(表 2)表明,1995—2020 年滇中高原湖区整体以及“滇池”“阳宗海”“抚仙湖—星云湖”片区的聚落均为集聚分布,其中“滇池”片区集聚程度最高,“杞麓湖”片区为随机分布;“滇池”“抚仙湖—星云湖”片区聚落的集聚程度持续提升。

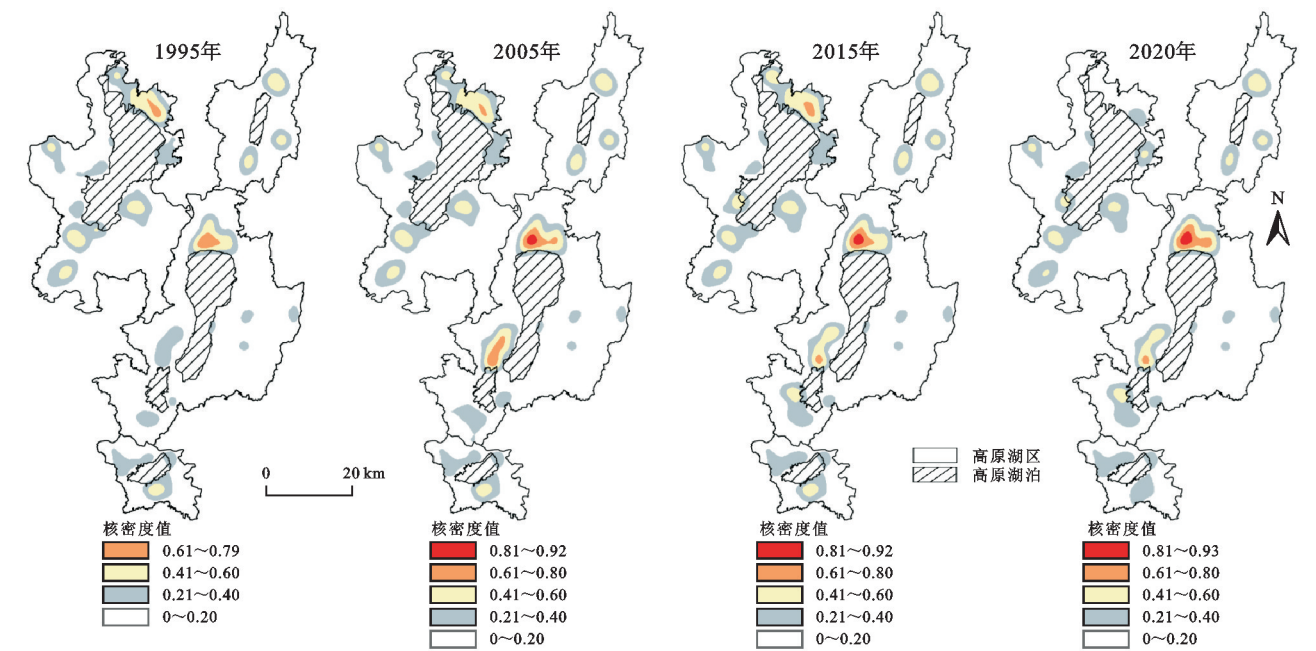


图 2 1995—2020 年乡村聚落核密度分布

Fig. 2 Kernel density estimation distribution of rural settlement from 1995 to 2020

表 2 1995—2020 年乡村聚落 Voronoi 图面积变异系数(CV)分析结果

Table 2 Analysis results of coefficient of variation of Voronoi diagram area for rural settlements

湖区	1995 年		2005 年		2015 年		2020 年	
	CV/%	分布模式	CV/%	分布模式	CV/%	分布模式	CV/%	分布模式
滇中	109.09	集聚	113.09	集聚	113.51	集聚	121.10	集聚
滇池	142.83	集聚	144.06	集聚	144.06	集聚	149.18	集聚
阳宗海	110.82	集聚	100.00	集聚	108.95	集聚	106.75	集聚
抚仙湖—星云湖	88.56	集聚	99.89	集聚	99.89	集聚	101.93	集聚
杞麓湖	61.97	随机	62.16	随机	62.16	随机	63.26	随机

3.1.2 规模和形态特征 景观指数分析结果(图 3)表明,1995—2020 年滇中高原湖区乡村聚落斑块的总体个数、面积和形态规则程度均呈先上升后下降的趋势。聚落数量上,“抚仙湖—星云湖”片区于 1995—2005 年增加明显,“滇池”片区于 2015—2020 年显著减少,其余变化较小。用地规模上,“滇池”片区聚落斑块总面积和平均面积均最大,在 2005—2015 年显著增加,随后减少;“阳宗海”“抚仙湖—星

表 1 乡村聚落空间演化驱动因素分析指标体系

Table 1 Analysis index system of rural settlement spatial evolution driving factors

类型	符号	指标	单位
自然环境	X_1	高程	m
	X_2	坡度	(°)
	X_3	年平均气温	℃
	X_4	年降水量	mm
	X_5	距水域距离	m
社会经济	X_6	人口密度	人/km ²
	X_7	GDP 密度	万元/km ²
	X_8	夜间灯光强度	
	X_9	距乡镇(街道)中心距离	m

云湖”片区聚落平均面积呈下降趋势,“杞麓湖”片区呈上升趋势。形态上,“滇池”片区聚落斑块不规则程度于 2015 年达到最大,其余于 2005 年达到最大。

热点分析结果(图 4)表明,4 个年份湖区聚落在用地规模上均存在高值聚类,1995 年、2005 年环滇池南部和星云湖南部形成两个“C 型”高值集聚区,2015 年、2020 年高值集聚区仅分布于滇池周边。此外,1995—2020 年抚仙湖东侧零散分布的聚落用地规模均较小。

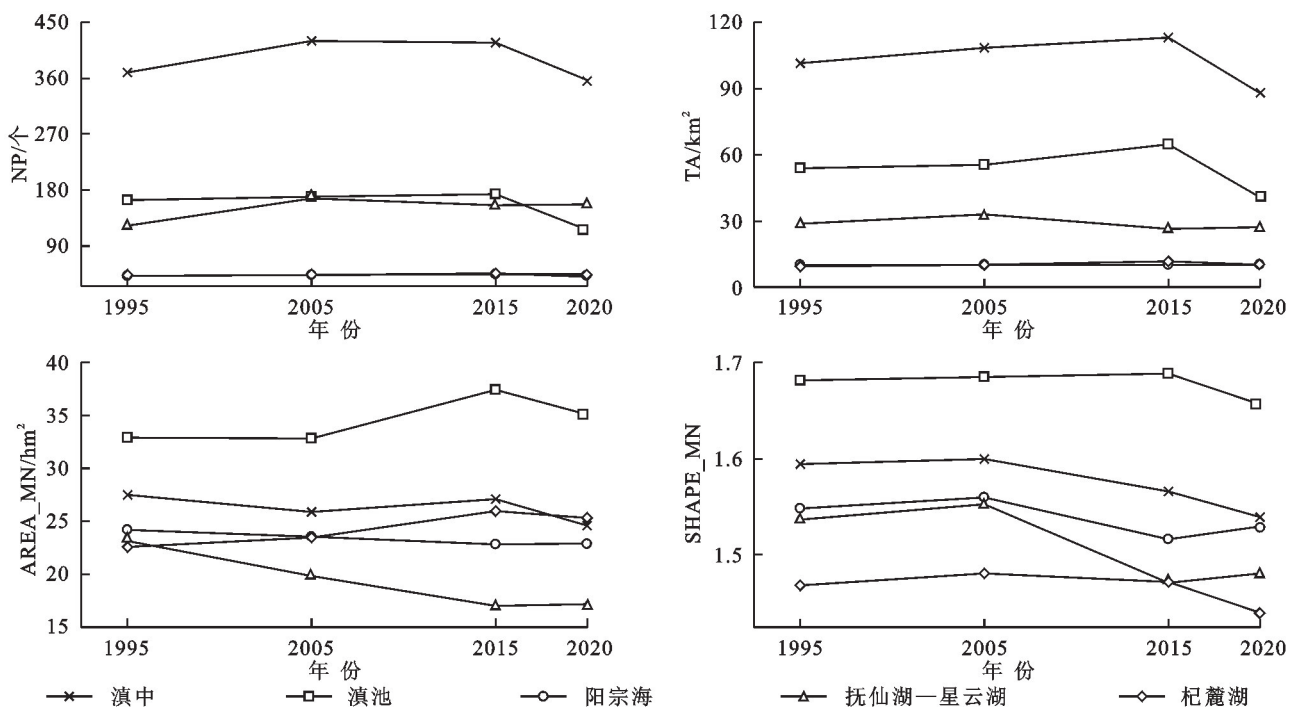
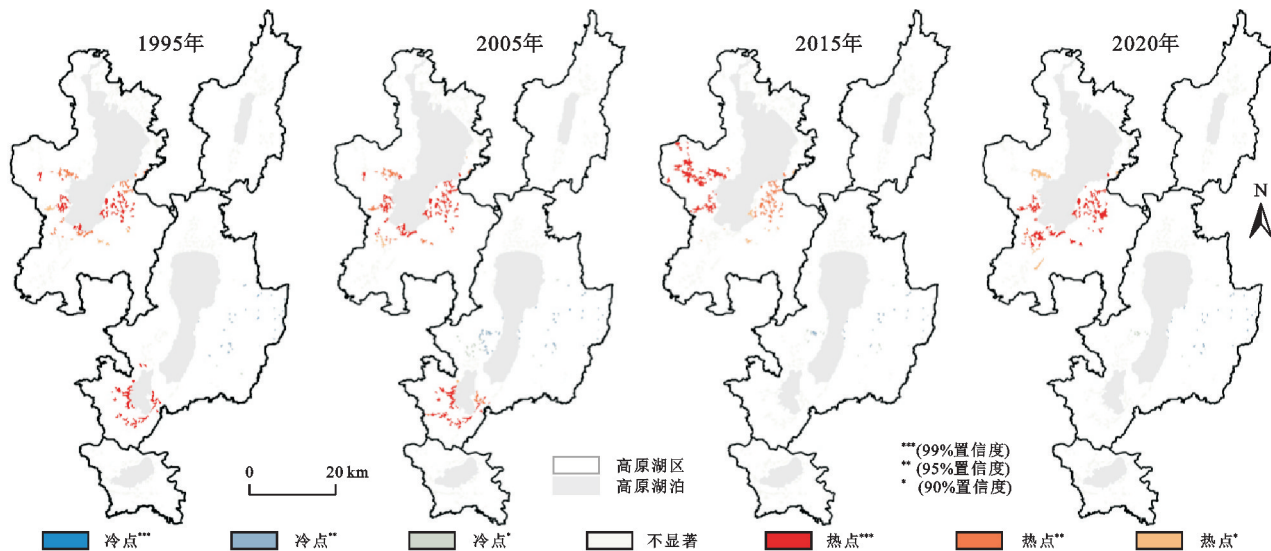


图3 1995—2020年乡村聚落景观指数分析结果

Fig. 3 Analysis results of rural settlement landscape index from 1995 to 2020

图4 1995—2020年乡村聚落用地规模 G_i^* 聚类分布Fig. 4 Cluster distribution of rural settlement land use scale G_i^* from 1995 to 2020

3.2 驱动因素分析

全局双变量 Moran's I 和 OPGD 因子探测结果 ($p < 0.01$) 见表 3。坡度 (X_2) 是 1995 年乡村聚落空间分布最主要的影响因素。1995—2005 年, 聚落数量显著增加、面积小幅上升, 人口密度 (X_6)、GDP 密度 (X_7)、夜间灯光强度 (X_8) 的正向驱动作用较大, 这一时期聚落扩张仍保持在地形平坦区域。2005—2015 年, 乡村聚落用地规模显著增加, 社会经济因子 (X_6, X_7, X_8) 的正向驱动作用进一步增强, 同时高程 (X_1)、坡度 (X_2)、距乡镇(街道)中心距离 (X_9) 转变为正向作用, 表明聚落面积扩张存在突破地形限制的

现象, 且表现出向乡镇(街道)中心靠近的倾向。2015—2020 年, 社会经济因子 (X_6, X_7, X_8) 转变为聚落数量和面积减少的驱动力, 地形平坦、靠近乡镇(街道)中心、远离水域的聚落易产生城市化转变。

驱动因子交互作用探测的结果(图 5)均为非线性增强 [$q(X_1 \cap X_2) > q(X_1) + q(X_2)$] 和双因子增强 [$q(X_1 \cap X_2) > \max[q(X_1), q(X_2)]$], 表明多因子复合作用对聚落空间演化的影响突出。1995 年聚落空间分布因子交互作用探测中, 高程 (X_1) 和坡度 (X_2) 的交互作用 q 值最大, 表明地形是湖区聚落初始空间分布的主导因素。面积变化方面, 因子交互作

用 q 值持续上升,其中与社会经济因子相关的 q 值上升明显,表明社会经济活动对湖区乡村聚落空间演化的影响持续加强。人口增长和社会经济活动增强是 1995—2015 年聚落扩张的主导因素,但滇池东北侧乡村聚落 2015 年后在昆明中心城区城市扩张下转变

为城市化地区。2015—2020 年聚落面积变化交互作用探测中,夜间灯光强度(X_8)、距乡镇(街道)中心距离(X_9)的交互作用 q 值最大,表明人类实际活动活跃且靠近乡镇(街道)中心地区的乡村聚落城市化转变最为显著。

表 3 1995—2020 年乡村聚落空间演化驱动因子探测 q 值

影响因子	1995 年聚落空间分布		聚落面积变化					
	q 值	相关性	1995—2005 年		2005—2015 年		2015—2020 年	
			q 值	相关性	q 值	相关性	q 值	相关性
X_1	0.1814	—	0.0169	—	0.0190	+	0.0750	—
X_2	0.3102	—	0.0123	—	0.0038	+	0.0678	—
X_3	0.1166	—	0.0133	—	0.0232	+	0.0243	—
X_4	0.0694	+	0.0064	+	0.0080	—	0.0302	+
X_5	0.1002	—	0.0126	—	0.0136	—	0.0152	+
X_6	0.1120	+	0.0249	+	0.0429	+	0.2432	+
X_7	0.1248	+	0.0257	+	0.0583	+	0.2234	+
X_8	0.1604	+	0.0208	+	0.0617	+	0.2060	+
X_9	0.1101	—	0.0107	—	0.0089	+	0.0148	—

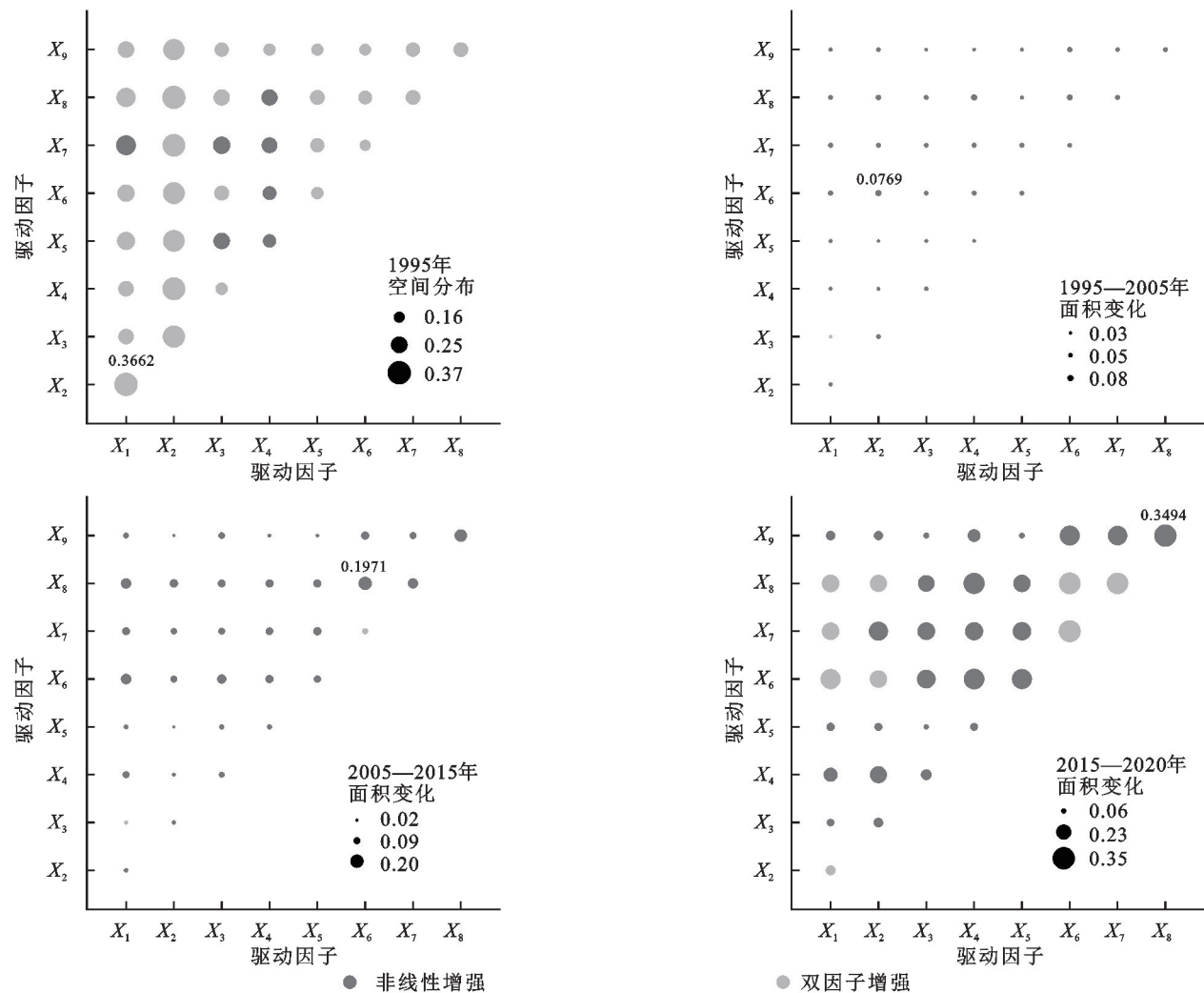


图 5 1995—2020 年乡村聚落空间演化驱动因子交互作用 q 值

Fig. 5 Interaction q values of rural settlement spatial evolution driving factors from 1995 to 2020

4 讨论

4.1 城镇化背景下的乡村聚落空间演化特征

自然地理条件是传统农业经济下乡村聚落分布的主导因素^[4],这一特征在高原山地地区更为突出。高原湖泊周边地势低平,往往形成较大的坝区,滇中地区高原湖泊分布集中,乡村聚落规模为云南省内的“高值区”^[5]。滇中高原湖区乡村发展受城镇化影响明显,部分乡镇逐渐转变为城市化地区,为城镇化发展提供农业转移人口的同时持续吸纳其他地区的人口(表4)。

表4 “五普”至“七普”期间各片区乡镇(街道)人口变化

Table 4 Population changes in townships in each district from the fifth to the seventh Population Census

湖区	人口数量变化/万人		常住人口中户籍人口比重/%		
	2000—2010年	2010—2020年	2000年	2010年	2020年
滇池	15.5	5.2	46	63	38
阳宗海	25.1	0.4	86	84	65
抚仙湖—星云湖	16.2	-3.8	92	91	81
杞麓湖	4.6	-0.2	87	82	76

结合研究结果,从城镇化进程的角度归纳湖区乡村聚落空间演化的阶段性特征和驱动因素:

(1) 1995—2005年:发展初始阶段的聚落数量增长。这一阶段乡村聚落空间变化的主要特征为“抚仙湖—星云湖”片区聚落数量的显著增长,由123个增长至166个,占研究区域聚落数量增长的84.3%。但该片区乡村聚落斑块面积并未大幅增加,平均斑块面积由23.17 hm²下降至19.81 hm²,表现为人口和经济增长下乡村聚落数量的自发增长。

(2) 2005—2015年:快速城镇化进程中的聚落规模扩张。这一阶段研究区域内各湖泊区域乡村聚落用地规模与社会经济发展状况成正比,以滇池和杞麓湖周边乡村聚落最为突出。2005—2015年,滇池所处的昆明市社会经济快速发展,人口城镇化率由58.05%上升至71.47%,GDP增长约3倍;杞麓湖所处的玉溪市通海县经济增长同样快速,GDP增长约2.6倍。滇池、杞麓湖周边乡村聚落数量变化较小,但用地规模增长显著,符合城镇化和农业经济发展驱动下聚落空间扩张的规律^[4]。

(3) 2015—2020年:城镇化中后期的空间分异。这一阶段,各湖泊区域发展目标和主体功能的差异愈发明显,乡村聚落的空间特征进一步分异。受昆明市中心城区城市扩张的影响,滇池东侧乡村聚落数量快速减少,但剩余聚落空间分布进一步集聚;随着人口的减少,“杞麓湖”片区聚落数量和平均斑块面积有所下降;“抚仙湖—星云湖”片区人口总数、常住人口中户籍人口比重均下降,但平均斑块面积略有上升。

4.2 对区域乡村发展和空间治理的启示

地形条件制约下,云南省生产生活用地集中分布于湖泊坝区,快速城镇化进程加剧了滇中高原湖区的土地资源矛盾,建设用地扩张持续压缩农业和生态空间,自然资源的负荷利用进一步导致以水污染为代表的生态破坏。社会经济活动对乡村聚落空间演化的驱动作用持续增强,城镇化中后期,各湖泊区域城镇化发展趋势和社会经济功能的差异驱动乡村聚落空间格局分异。研究结果对滇中高原湖区乡村发展和空间治理的启示如下:

(1) 结合城镇化和人口变化趋势引导社会经济发展。昆明市当前常住人口仍呈增长态势,《云南省国土空间规划(2020—2035年)》提出强化昆明在人口和产业集聚发展中的核心支撑作用。“滇池”区域吸纳外来人口显著,2020年常住人口中户籍人口比重下降至38%(表4),因此需优化城乡结构、强化农村基础设施建设,加强乡村建设用地集约化利用,推动城乡融合发展。其余湖泊区域人口总体呈减少趋势,但特色农业、生态旅游等多元业态发展促进外来人口比重上升,2010—2020年“阳宗海”“抚仙湖—星云湖”“杞麓湖”3个片区常住人口中户籍人口比重分别下降19%,10%,6%(表4),应进一步结合地区资源推动乡村功能专业化转型。

(2) 协调社会经济发展与生态环境保护的关系。研究区域内滇池、杞麓湖、星云湖污染均较为严重,至2022年滇池、星云湖仍为Ⅴ类水质,杞麓湖为劣Ⅴ类水质。农业面源污染对水体的生态功能有较大影响^[29],需限制污染物排放,加强湖泊保护和水生态修复,推动农业绿色化高质量发展。受地形影响,云南省坡耕地占比大、坡度陡^[30],对生态系统稳定性威胁较大,因此需在加强耕地保护的同时进行坡耕地治理,推动陡坡耕地退耕还林还草并通过植被恢复等生态修复措施减少水土流失。

5 结论

(1) 1995—2020年,滇中高原湖区乡村聚落空间格局总体上呈现“数量增加—用地扩张—局部收缩”的演化特征。2015年后各湖泊区域乡村聚落的空间分异愈发突出,“滇池”周边未转变为城市化区域的乡村聚落空间分布进一步集聚,且用地规模在研究区域内保持高值集聚;“阳宗海”“抚仙湖—星云湖”片区乡村聚落的空间格局总体保持稳定;“杞麓湖”片区乡村聚落呈现收缩态势。

(2) 自然地理环境是乡村聚落空间分布的主导因素,倾向于分布在地形平坦区域;社会经济发展对

乡村聚落空间演化的影响持续增强,在多因子复合作用的驱动下形成与城镇化进程相关联的阶段特征。快速城镇化阶段,乡村聚落趋向空间扩张,聚落数量、斑块面积和形态不规则程度均增加;中心城市城郊乡村聚落在城市扩张影响下转变为城市化区域。城镇化中后期,在人口减少的转变下,部分区域乡村聚落趋向收缩。

(3) 研究区域仍将承担省内人口和产业集聚的发展任务,需结合各湖泊区域城镇化和人口变化趋势,分类引导乡村功能专业化转型和空间治理,加强乡村建设用地集约利用、耕地保护和生态环境修复。应重点关注“滇池”区域城乡融合发展问题,同时强化收缩视角下乡村发展、村庄布局和用地优化的研究和实践探索。

参考文献(References):

- [1] 金其铭.我国农村聚落地理研究历史及现今趋向[J].地理学报,1988,43(4):311-317.
Jin Q M. The history and current trends of research on rural settlement geography in China[J]. Acta Geographica Sinica, 1988,43(4):311-317.
- [2] 李和平,贺彦卿,付鹏,等.农业型乡村聚落空间重构动力机制与空间响应模式研究[J].城市规划学刊,2021(1):36-43.
Li H P, He Y Q, Fu P, et al. A research on the dynamics of and the spatial responses to the restructuring agricultural rural settlements[J]. Urban Planning Forum, 2021(1):36-43.
- [3] 李小建,胡雪瑶,史焱文,等.乡村振兴下的聚落研究:来自经济地理学视角[J].地理科学进展,2021,40(1):3-14.
Li X J, Hu X Y, Shi Y W, et al. The role of rural settlements in rural revitalization: perspective of economic geography[J]. Progress in Geography, 2021,40(1):3-14.
- [4] 陈诚,高金龙,曹辉.乡村聚落分布与功能研究进展及展望:从城镇化到城乡融合[J].地理研究,2023,42(6):1480-1491.
Chen C, Gao J L, Cao H. A literature review of spatial distribution and function of rural settlements and its research prospects: from urbanization to urban-rural integration in China[J]. Geographical Research, 2023, 42(6):1480-1491.
- [5] 陶岸君,赵鹏凤,杨文杰.中国乡村聚落用地形态的地域分异特征研究[J].地理研究,2023,42(5):1267-1284.
Tao A J, Zhao P F, Yang W J. Regional differentiation of land use pattern of rural settlements in China[J]. Geographical Research, 2023,42(5):1267-1284.
- [6] 张京祥,张小林,张伟.试论乡村聚落体系的规划组织[J].人文地理,2002,17(1):85-88,96.
Zhang J X, Zhang X L, Zhang W. On planning organization of rural settlement system[J]. Human Geography, 2002,17(1):85-88,96.
- [7] 张荣天,张小林,李传武.镇江市丘陵区乡村聚落空间格局特征及其影响因素分析[J].长江流域资源与环境,2013,22(3):272-278.
Zhang R T, Zhang X L, Li C W. Spatial pattern and influencing factors of rural settlements in Zhenjiang hilly area[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2013,22(3):272-278.
- [8] 李红波,张小林,吴启焰,等.发达地区乡村聚落空间重构的特征与机理研究:以苏南为例[J].自然资源学报,2015,30(4):591-603.
Li H B, Zhang X L, Wu Q Y, et al. Characteristics and mechanism of rural settlements spatial reconstruction in developed areas: a case study of southern Jiangsu[J]. Journal of Natural Resources, 2015,30(4):591-603.
- [9] 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 R P, Zhou Z F, Zhu M, et al. Spatiotemporal evolution characteristics of rural settlements in Karst mountainous areas driven by poverty-alleviation relocation[J]. Scientia Geographica Sinica, 2023, 43(11): 2024-2032.
- [10] 石亚灵,黄勇,肖亮.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, Huang Y, Xiao L. 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.
- [11] 肖罗,魏春雨.基于CSSCI的中国乡村聚落形态研究知识图谱分析[J].经济地理,2021,41(4):148-157.
Xiao L, Wei C Y. Knowledge map on the study of Chinese rural settlement form based on CSSCI[J]. Economic Geography, 2021,41(4):148-157.
- [12] 李琛,吴映梅,高彬媛,等.高原湖泊乡村聚落空间分异及驱动力探测:以环洱海地区为例[J].经济地理,2022,42(4):220-229.
Li C, Wu Y M, Gao B P, et al. Spatial differentiation and driving factors of rural settlement in plateau lake: a case study of the area around the Erhai[J]. Economic Geography, 2022,42(4):220-229.
- [13] 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 Z T, Luo X L, Gu Z N, 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.
- [14] 许鑫,徐丽婷,周达宝,等.江西省乡村聚落时空演变及

- 影响因素[J].水土保持研究,2024,31(3):320-330.
- Xu X, Xu L T, Zhou D B, et al. Spatiotemporal evolution and influencing factors of rural settlements in Jiangxi Province[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024,31(3):320-330.
- [15] 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 Y Y, Gao J, Tong D, et al. Spatio-temporal evolution characteristics and influencing factors of rural settlements in Guangdong Province based on GTWR model[J]. Scientia Geographica Sinica, 2023,43(7):1249-1258.
- [16] 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 A J. Spatial differentiation pattern and comprehensive regionalization of rural settlement characteristics in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2023,78(12):3144-3160.
- [17] Wu Y Z, Shi K F, Chen Z Q, et al. Developing improved time-series DMSP-OLS-Like data (1992—2019) in China by integrating DMSP-OLS and SNPP-VIIRS[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2022,60:4407714.
- [18] Heidenreich N B, Schindler A, Sperlich S. Bandwidth selection for kernel density estimation: a review of fully automatic selectors[J]. AStA-Advances in Statistical Analysis, 2013,97(4):403-433.
- [19] 许泽宁,高晓路.基于电子地图兴趣点的城市建成区边界识别方法[J].地理学报,2016,71(6):928-939.
- Xu Z N, Gao X L. A novel method for identifying the boundary of urban built-up areas with POI data[J]. Acta Geographica Sinica, 2016,71(6):928-939.
- [20] 吴益坤,罗静,罗名海,等.大都市区周边乡村聚落空间格局研究:以武汉市为例[J].长江流域资源与环境,2022,31(1):37-48.
- Wu Y K, Luo J, Luo M H, et al. Analysis of spatial pattern of rural settlements in metropolitan areas: a case study of Wuhan[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022,31(1):37-48.
- [21] 王结臣,卢敏,苑振宇,等.基于 Ripley's K 函数的南京市 ATM 网点空间分布模式研究[J].地理科学,2016,36(12):1843-1849.
- Wang J C, Lu M, Yuan Z Y, et al. Point pattern analysis of ATMs distribution based on Ripley's K -function method in Nanjing city[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016,36(12):1843-1849.
- [22] 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 H W, Zha X C. 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.
- [23] 刘仙桃,郑新奇,李道兵.基于 Voronoi 图的农村居民点空间分布特征及其影响因素研究:以北京市昌平区为例[J].生态与农村环境学报,2009,25(2):30-33,93.
- Liu X T, Zheng X Q, Li D B. Voronoi diagram-based research on spatial distribution characteristics of rural settlements and its affecting factors: a case study of Changping District, Beijing[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2009,25(2):30-33,93.
- [24] Duyckaerts C, Godefroy G. Voronoi tessellation to study the numerical density and the spatial distribution of neurones[J]. Journal of Chemical Neuroanatomy, 2000,20(1):83-92.
- [25] Zhang Y L, Hu X J, Wei B J, et al. Spatiotemporal exploration of ecosystem service value, landscape ecological risk, and their interactive relationship in Hunan Province, Central-South China, over the past 30 years[J]. Ecological Indicators, 2023,156:111066.
- [26] 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.
- [27] Wang J F, Li X H, Christakos G, et al. Geographical detectors-based health risk assessment and its application in the neural tube defects study of the Heshun region, China[J]. International Journal of Geographical Information Science, 2010,24(1):107-127.
- [28] 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.
- [29] 赵祖军,郑田甜,赵筱青,等.云南高原湖泊流域种植业面源污染物的流失特征分析[J].农业资源与环境学报,2018,35(1):40-47.
- Zhao Z J, Zheng T T, Zhao X Q, et al. Non-point source pollutants loss of planting industry in the Yunnan Plateau Lake basin, China[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2018,35(1):40-47.
- [30] 陈正发,史东梅,何伟,等.1980—2015 年云南坡耕地资源时空分布及演变特征分析[J].农业工程学报,2019,35(15):256-265.
- Chen Z F, Shi D M, He W, et al. Spatio-temporal distribution and evolution characteristics of slope farmland resources in Yunnan from 1980 to 2015[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019,35(15):256-265.