

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.04.011.

马丽萍, 刘波, 陈正超, 等. 基于高分辨率数据的农村居民点分布格局及影响因素研究[J]. 水土保持研究, 2024, 31(4): 395-407.

Ma Liping, Liu Bo, Chen Zhengchao, et al. Research on the Distribution Patterns and Influencing Factors of Rural Settlement Based on High Resolution Data[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(4): 395-407.

# 基于高分辨率数据的农村居民点分布格局及影响因素研究

马丽萍<sup>1,2</sup>, 刘波<sup>1,2</sup>, 陈正超<sup>3</sup>, 张兵<sup>3</sup>

(1.南京信息工程大学 遥感与测绘工程学院, 南京 210000;

2.自然资源部遥感导航一体化应用工程技术创新中心, 南京 210000; 3.中国科学院 空天信息创新研究院, 北京 100094)

**摘要:** [目的]剖析高分辨率视角下西南农村居民点大区域分布特征, 探讨不同因素对农村居民点空间分布的影响, 为农村居民点空间发展提供科学依据。[方法]针对当前研究中“区域性规律”和“内部精细结构”难以兼顾的不足, 基于高分辨率农村居民点数据, 采用核密度、空间热点探测、可达性分析和地理探测器等方法, 从全域和斑块尺度研究了广西农村居民点空间分布特征, 进一步分析自然因素、区位因素和社会经济因素对农村居民点空间分布的影响。[结果](1) 研究区农村居民点整体分布呈显著集聚型, 以小规模、低密度、复杂形状为主要分布特征。全省农村居民点平均密度为 5.59 个/km<sup>2</sup>, 规模和形状均呈现显著高值集聚特征。(2) 农村居民点分布具有显著分异性, 随着高程和坡度的增加, 以及耕地、道路和水域可达性的减小, 农村居民点总面积、规模和密度呈现递减趋势。不同地质背景居民点空间分布差异较大, 喀斯特区农村居民点分布总面积少但规模较大, 形状更复杂、密度更低。(3) 自然、区位和社会经济等不同因素对农村居民点分布的影响具有明显的差异性, 社会经济因素对农村居民点分布总面积具有较强的“决定力”, 区位因素特别是耕地与道路对农村居民点分布规模和形状具有主导作用, 而对农村居民点分布密度影响最重要的是自然因素。[结论]广西农村居民点空间分布地域差异性显著, 不同因子对农村居民点产生显著效果。

**关键词:** 农村居民点; 空间格局; 高分辨率数据; 喀斯特区

中图分类号: K901.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)04-0395-13

## Research on the Distribution Patterns and Influencing Factors of Rural Settlement Based on High Resolution Data

Ma Liping<sup>1,2</sup>, Liu Bo<sup>1,2</sup>, Chen Zhengchao<sup>3</sup>, Zhang Bing<sup>3</sup>

(1.School of Remote Sensing & Geomatics Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210000, China; 2.Remote Sensing Navigation Integration Application Engineering Technology Innovation Center, Ministry of Natural Resources, Nanjing 210000, China; 3.Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China)

**Abstract:** [Objective] The aims of this study are to analyze the characteristics of large-area distribution of rural settlements in southwest China from a high-resolution perspective, to explore the influence of different factors on the spatial distribution of rural settlements, and to provide a scientific basis for the spatial development of rural settlements. [Methods] With respect to the prevailing research inadequacies that struggle to balance ‘regional rules’ with ‘internal fine structure’, this study leveraged high-resolution rural settlement data, utilized kernel density, spatial hotspot detection, accessibility analysis, and geographic

收稿日期: 2023-09-01

修回日期: 2023-09-21

资助项目: 国家自然科学基金“融合成像机理与深度学习的复杂目标识别研究”(42071407)

第一作者: 马丽萍(1999—), 女, 青海海北人, 硕士研究生, 研究方向为地表环境信息获取与遥感监测。E-mail: 20211211029@nuist.edu.cn

通信作者: 刘波(1984—), 男, 内蒙古乌兰察布人, 博士, 副研究员, 主要从事生态遥感、高光谱遥感以及遥感大数据应用研究。E-mail: boxu-eyu\_liu@hotmail.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

detectors to analyze the spatial distribution of rural settlements in Guangxi. At both global and patch scales, we investigated the spatial distribution characteristics of rural settlements, further analyzed the impact of natural, locational, and socio-economic factors on this spatial distribution. [Results] (1) The overall distribution of rural settlements in the study area was significantly clustered, mainly characterized by small-scale, low-density, and complex shapes. The average density of rural settlements throughout the province was 5.59 per km<sup>2</sup>, with both scale and shape exhibiting significant clustering features of high values. (2) The distribution of rural settlements demonstrated notable differentiation. With the increase of elevation and slope, as well as the decrease of accessibility to farmland, roads, and water areas, the total area, scale, and density of rural settlements showed a declining trend. There was a large disparity in the spatial distribution of settlements under different geological backgrounds. Rural settlements in karst areas had a smaller total area but larger scale, more complex shape, and lower density. (3) Different factors such as natural, locational, and socio-economic variables had distinctly different influences on the distribution of rural settlements. Socio-economic factors had a strong ‘determining power’ on the total area of rural settlement distribution. Locational factors, namely farmland and roads, played a dominant role in the scale and shape of rural settlement distribution. In contrast, natural factors exerted the most significant influence on the distribution density of rural settlements. [Conclusion] The spatial distribution of rural settlements in Guangxi has significant regional differences, and different factors have significant effects on rural settlements.

**Keywords:** rural settlements; spatial pattern; high-resolution data; karst areas

作为我国农村人口的主要居住地,农村居民点是农村人口进行政治、经济、文化活动的重要场所<sup>[1]</sup>,也是城乡建设用地的重要组成部分,其结构、形态、景观演变及用地变化等历来是乡村地理学研究的重要内容<sup>[2]</sup>。区域自然背景与人文社会因素的差异,使得不同地区农村居民点在空间上表现出明显不同的规模和形态特征<sup>[3]</sup>。我国西南地区生态环境脆弱、岩溶发育强烈、喀斯特地貌广布,农村居民点的形成和发展受特殊地质背景与地貌影响较大,农村居民点空间分布及其影响因素有着强烈的喀斯特地域基因与分布特点<sup>[4]</sup>。由于长期以来农村居民点缺乏统一规划,普遍存在着规模小、面积细碎、分布散乱、数量多、内部空间布局松散无序等现象,不仅影响农村整体形象,造成农村土地资源浪费,还制约当地农村经济发展、生态环境的改善,成为影响社会主义新农村建设和城乡统筹发展的不利因素。因此,在我国乡村振兴的战略背景下,深入分析西南典型地区农村居民点空间分布特征及其影响因素,有助于科学合理地规划土地利用,缓解人地矛盾,对制定农村居民点整治规划、空间布局优化策略及城乡统筹协调发展具有重要的指导意义。

自1841年德国地理学家科尔在《人类交通居住与地形的关系》一书中研究了不同类型聚落及影响因素后,关于居民点的研究迅速增多,内容包括形成、区位、职能、发展、土地利用、布局优化等领域<sup>[5]</sup>,如Robinson<sup>[6]</sup>

根据居民点选址的综合因素提出了居民点布局优化的相关理论;Clark等<sup>[7]</sup>经过研究美国城市郊区农村居民点的分布发现研究区农村居民点由孤立、散乱分布逐渐转向集中连片分布。国内学者关于农村居民点的研究早期主要集中于农业生产、用地整理和优化用地配置等<sup>[8]</sup>方面,如杨庆媛等<sup>[9]</sup>以重庆市为例提出西南低山丘陵区农村居民点土地整理模式。之后随着技术的进步和理论体系的完善,学者对农村居民点的研究也在不断丰富。在研究内容上,学者开始更加关注农村居民点的时空演变、空间分布、影响因素、用地适宜性评价<sup>[10]</sup>、布局优化等<sup>[11]</sup>方面。张晗等<sup>[12]</sup>对贵溪市2005—2015年农村居民点时空演变进行研究,发现研究区农村居民点主要以东南—西北轴为扩展方向,东南、中部、西北3个方向是重点发展方向;杨勇等<sup>[13]</sup>基于遥感图像分类解译数据,探讨华北平原农村居民点空间分布特征,发现华北平原农村居民点呈现南—北方向的空间分异与集聚特征,密度表现为南部较高、北部较低的趋势,同时与农村居民点面积规模分布呈现局部负相关。在研究地域上,学者主要关注于平原、山地丘陵、高原等<sup>[14]</sup>,此外对于喀斯特山区也有所关注。王兆林等<sup>[15]</sup>研究发现山地丘陵区农村居民点空间分布存在显著差异,且农村居民点多分布于低海拔、地形平缓区域;孙耀鹏等<sup>[16]</sup>以贵州开阳县为例研究喀斯特山区农村居民点分布特征,发现

研究区农村居民点以高值聚集分布为主,呈现“北密南疏”的空间分布特征。在研究尺度上,当前研究主要集中于微观尺度的村域、镇域,以及较小尺度的县域、市域<sup>[17]</sup>,仅有少量研究涉及区域尺度大范围农村居民点。李保杰等<sup>[18]</sup>以丰县为例研究苏北地区农村居民点空间分布格局。李裕瑞等<sup>[19]</sup>利用人口统计数据 and 土地利用数据从全国大范围尺度定量分析了1996年以来我国农村人口和农村居民点用地的总体态势和时空变化特征。刘立文等<sup>[10]</sup>利用百度地图POI数据分析山西省农村居民点的空间分布特征,发现研究区农村居民点呈现“南密北疏”的分布特征。

综上所述,国内外学者从不同角度对农村居民点进行了大量理论与实践研究,但由于技术手段、数据源和成本等因素的限制,当前研究还存在以下不足:(1)农村居民点相关研究主要集中于市县或村镇区域的小范围研究,这种小尺度研究仅能反映小范围农村居民点分布特征,无法充分反映农村居民点区域性空间分布特征与规律,不利于农村居民点空间格局的整体把握;农村居民点分布与各种自然环境因素密切相关,而县市村镇等小区域往往自然环境等因素相对较为均一,因此难以有效识别和评估农村居民点的分布特征与影响因素,制约了对农村人居环境的科学认识水平。(2)大范围大尺度研究倾向于采用粗粒度和低分辨率居民点分布数据,缺乏高分辨率居民点信息。农村居民点通常分布细碎散乱,而基于中低分辨率遥感数据往往由于大量混合像元的存在难以准确提取农村居民点分布信息,农村居民点面积和边界形状存在较大误差,难以有效反映农村居民点分布的内部结构与“微观”特征,不利于农村居民点的科学整治规划与精细布局优化。因此,针对当前研究的不足与缺失,本研究兼顾大区域与高分辨率特性,基于高分辨率居民点信息,从大区域尺度探讨农村居民点分布特征规律及其影响因素,同时以高分辨率精细图斑为基本单元充分挖掘农民居民点分布的内部结构与景观特性,克服当前研究中普遍存在的“区域性规律”和“内部精细结构”难以兼顾的弊端,为农村居民点分布格局的科学认识和规划优化提供“微观”与“宏观”的决策信息。

作为我国西南典型区域,广西喀斯特地貌广布、生态环境脆弱、地表景观破碎度高、人地矛盾突出,其在农村居民点分布上具有典型性和代表性。因此本文以广西壮族自治区为研究区,基于高分辨率农村居民点信息,采用核密度、空间热点探测、相关分析、地理探测器等方法,从省域和图斑尺度分析农村居民点整体、规模、形状、密度的空间分布特征,剖析高分辨率视角下西南农村居民点大区域分布格局与规律,探

讨自然因素、区位因素和社会经济因素对农村居民点分布的影响,为农村居民点空间发展和布局优化提供科学依据,为解决西南地区人地矛盾、改善农村环境提供基础信息。

## 1 研究区域、数据来源与研究方法

### 1.1 研究区概况

广西壮族自治区,简称“桂”,位于中国南部,东经 $104^{\circ}28'$ — $112^{\circ}04'$ ,北纬 $20^{\circ}54'$ — $26^{\circ}23'$ 。行政区域土地面积23.76万 $\text{km}^2$ ,处于中国西南边陲,位于我国地势第二台阶中的云贵高原东南边缘,两广丘陵西部,南面毗邻北部湾海是西部唯一的沿海地区,地理位置得天独厚,整个地形四周多山地和高原,而中部与南部多为平地,西北高、东南低,地势呈西北向东南倾斜状,西北部与东南部之间形成盆地地貌,因此被称为“广西盆地”;广西山多地少,陆地总面积中,山地占39.8%,石山占19.7%,丘陵占10.3%,台地占6.3%,平原占20.6%,水面仅占3.3%;2022年广西常住人口达5 047万人,少数民族占常住人口37.6%,是我国少数民族的主要聚居地之一,世居在广西的少数民族有壮族、瑶族、苗族等12个,其中壮族人口数量最多。广西境内道路网密布,河流众多,境内有著名的喀斯特地貌,主要集中分布在桂西南、桂西北、桂中和桂东北地区,约占土地总面积的37.8%,其发育类型之多在全球范围内较为罕见。

### 1.2 研究数据

研究数据包括:(1)空间数据。农村居民点、河流、道路、耕地等矢量数据主要来源于中国科学院空天信息研究院,以2017年2 m分辨率的GF-1影像为主要数据源,对影像进行几何校正、大气校正等预处理后,利用“苍灵”遥感大数据信息智能提取平台完成居民地信息提取。该系统具有强大的遥感智能信息处理能力,集成多种主流深度学习网络和算法,可以便捷地实现地物分类和目标识别等,本研究中的居民点信息是基于PyTorch框架利用PSPNet网络模型提取得到,经地面调查和抽样验证分类结果像素精度为97.91%;(2)高程和坡度数据。高程数据来自于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云,为30 m分辨率的DEM数字高程数据,坡度和地形起伏度数据由DEM提取并重分类;(3)社会经济数据。所使用的社会经济数据包括广西农村居民人均可支配收入、第一产业增加值和人均GDP数据,均来自《广西统计年鉴》;(4)喀斯特地质背景数据来源于国家科技基础条件平台——国家地球系统科学数据中心。



### 1.3 研究方法

1.3.1 景观指数分析 景观指数是指高度浓缩的景观格局信息,借助景观指数描述农村居民点规模、形状、密度分布等特征可以有效提取农村居民点空间结构信息<sup>[13]</sup>。本研究选取总面积(CA)、平均斑块面积(MPS)、斑块密度(PD)、形状指数(LSI)等景观指数分析广西农村居民点总面积、规模、密度和形状空间分布特征。

1.3.2 平均最近邻比率(ANN) 平均最近邻通过观测的平均距离除以期望的平均距离计算得出,是常用的空间分析方法,本研究用于判断农村居民点的空间分布模式,标准化 $Z$ 值通过衡量平均距离的观测值与期望值的相差程度来衡量农村居民点空间集散程度。公式为:

$$ANN = \frac{\bar{D}_0}{\bar{D}_e} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{d_i}{n}}{\frac{1}{2} \sqrt{\frac{n}{A}}} \quad (1)$$

式中: $\bar{D}_0$ 为观测居民点与最邻近居民点的平均最短距离; $\bar{D}_e$ 为平均预期距离; $n$ 为农村居民点数量; $d$ 为距离; $A$ 为研究区总面积。根据ANN计算结果对广西农村居民点的集散情况进行划分若: $ANN \leq 0.5$ 为聚集分布; $ANN \geq 1.5$ 为均匀分布; $0.5 < ANN \leq 0.7$ 为聚集—随机分布; $0.7 < ANN \leq 1.2$ 为随机分布; $1.2 < ANN < 1.5$ 为随机—离散分布。

1.3.3 核密度估计(KDE) 核密度估计原理是以每个离散点网格为中心,通过设定半径的圆搜索并计算其余网格要素的密度值,是一种非参数的表面密度估计空间分析方法,其值越高表明研究区农村居民点聚集性越强,农村居民点破碎程度也越大。公式为:

$$f(x, y) = \frac{1}{nh^2} \sum_{i=1}^n k \frac{d_i}{n} \quad (2)$$

式中: $f(x, y)$ 为位置 $(x, y)$ 处的密度估计; $n$ 为观测数量; $h$ 为平滑参数; $k$ 为核函数; $d_i$ 为位置距第 $i$ 个观测位置的距离。

1.3.4 全局空间自相关(Global Moran's  $I$ ) 全局空间自相关用于分析研究对象在整个研究区域内的空间集聚程度,可用于判断是高值聚集还是低值聚集。计算公式为:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij} z_i z_j}{\sum_{i=1}^n z_i^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \omega_{ij}} \quad (3)$$

式中: $n$ 为农村居民点的总数; $\omega_{ij}$ 为要素的空间权重; $z_i$ 为要素 $i$ 的属性与其平均值的偏差; $z_j$ 为要素 $j$ 的属性与其平均值的偏差; $I \in [-1, 1]$ ,若 $I > 0$ 则

表示存在正的空间自相关;反之, $I < 0$ 则存在负相关关系; $I = 0$ 表示不具有相关性。结果用 $Z$ 检验,其计算公式为:

$$Z = \frac{I - E(I)}{\sqrt{\text{var}(I)}} \quad (4)$$

式中: $E(I)$ ,  $\text{var}(I)$ 分别为Moran's  $I$ 的期望值和方差。当 $Z_{\text{Score}} \geq |1.96|$ 时,表示在该区域农村居民点有显著的空间自相关性。

1.3.5 空间热点探测分析 空间热点探测分析验证在局部区域范围内某点与周围其他点的相关性,通过获得的 $Z$ 得分和 $p$ 值,可以确定高值和低值要素在空间上是否发生聚集,并确定聚集的位置,用可视化法揭示“热点区”和“冷点区”。其计算公式为:

$$G_i^*(d) = \frac{\sum_{j=1}^n \omega_{ij}(d) x_j}{\sum_{j=1}^n x_j} \quad (5)$$

式中: $n$ 为广西农村居民点总数; $\omega_{ij}(d)$ 为权重; $x_i$ 和 $x_j$ 为农村居民点的面积。对 $G_i^*(d)$ 进行标准化处理 $Z(G_i^*) = (G_i^* - E(G_i^*)) / \sqrt{\text{var}(G_i^*)}$ ,当 $Z(G_i^*) > 0$ 时,属于高值聚集的“热点区”,反之为低值聚集的“冷点区”。

1.3.6 空间可达性分析 空间可达性可用于衡量农村居民点到达各区位要素的便捷程度,通过农村居民点到各区位要素(耕地、道路、河流、城镇)花费最短时间来定量分析,值越小说明花费时间越短可达性越好<sup>[20]</sup>。用函数表示为:

$$T_i = \exp(x, y) \quad (6)$$

式中: $T_i$ 为农村居民点 $i$ 与地理要素 $j$ 的空间可达性; $\exp(x, y)$ 为计算农村居民点 $i$ 与地理要素 $j$ 间通行的最小时间花费函数。由于在不同土地利用类型上,通行单位距离的时间成本存在差异,确定不同土地利用类型上通行单位距离的时间成本是可达性测度的关键<sup>[21]</sup>。因此本研究参考《中华人民共和国公路工程技术标准(JTG—2003)》设定速度,并结合广西实际情况,将高速、国道、省道、铁路、其他道路、水域、城镇的交通成本分别设置为100, 60, 50, 50, 30, 3, 30 km/h,并生成成本栅格图,利用成本加权函数计算不同区位因素的可达性。

1.3.7 相关分析 相关分析可用于测度农村居民点与社会经济因素的相关程度,其计算公式为:

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (7)$$

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (8)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \quad (9)$$

式中: $r_{xy}$ 为农村居民点景观指数与社会经济因素的相关系数; $n$ 为广西县个数; $X_i$ 和 $Y_i$ 分别为农村居民点景观指数与社会经济要素每个县的样本值; $\bar{X}$ 和 $\bar{Y}$ 分别为农村居民点景观指数与社会经济因素每个县样本值的平均值。 $r_{xy}$ 的值介于 $[-1,1]$ 区间, $r_{xy} > 0$ 表示正相关, $r_{xy} < 0$ 表示负相关, $r_{xy}$ 的绝对值越接近于1,表示两个变量的相关性越强, $r_{xy}$ 的绝对值越接近于0,表示两个变量的相关性越弱。

**1.3.8 地理探测器** 广西地理现象具有明显的空间异质性,而地理探测器是探测空间分异性以及揭示其背后驱动力的空间分析方法,被广泛应用于驱动力分析和因子分析,其核心思想是假设研究区分为若干子区域,如果子区域的方差之和小于区域总方差,则存在空间分异性<sup>[22]</sup>。本研究利用地理探测器中的因子探测器探测广西农村居民点空间异质性和不同影响因子对农村居民点空间分异的解释度,其解释力大小用 $q$ 值来衡量<sup>[23]</sup>,根据 $q$ 值大小可以看出不同影响因子对农村居民点空间分布的影响程度,能够直观判断影响农村居民点空间分布的主导因子, $q$ 值表达式为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (10)$$

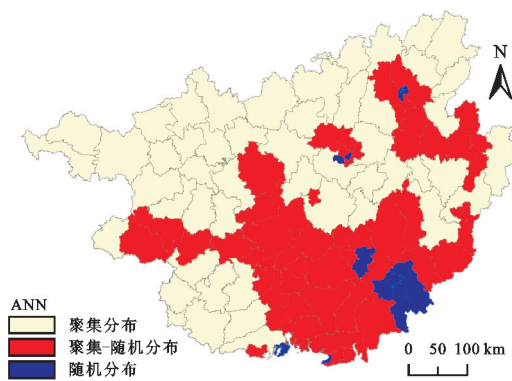
$$SSW = \sum_{h=1}^L N_h \sigma_h^2, SST = N \sigma^2 \quad (11)$$

式中: $q$ 值为各因子对农村居民点空间分异的解释力,其值域为 $[0,1]$ , $q$ 值越大对农村居民点空间分异的解释力越强; $h=1, \dots, L$ ,为自变量 $X$ 的分层; $N_h$ 和 $N$ 分别为层 $h$ 和全区的单元数; $\sigma_h^2$ 和 $\sigma^2$ 分别为层 $h$ 和全区的 $Y$ 值的方差; $SSW$ 为层内方差之和; $SST$ 为全区总方差。

## 2 结果与分析

### 2.1 农村居民点空间分布特征

**2.1.1 农村居民点全域空间分布特征** 将农村居民点斑块转为点要素,以县为基本分析单元,利用平均最近邻工具计算出每个县域的平均最近邻指数,对研究区农村居民点集散程度进行划分,得到结果见图1。可以观测到广西农村居民点呈现聚集分布、聚集-随机分布以及随机分布3种类型的空间分布特征,全省平均ANN为 $0.42 < 0.5$ ,只有少数农村居民点分布模式为随机分布,呈现聚集-随机分布模式的农村居民点有18个,多数在玉林市和贵港市境内,而超过80%的县域农村居民点呈现聚集分布模式。因此广西农村居民点全域分布模式主要为聚集分布。



注:基于标准地图服务系统下载的审图号GS(2020)4619号的标准地图制作,底图未做修改,下同。

图1 广西农村居民点分布模式

Fig. 1 Distribution pattern of rural settlements in Guangxi

**2.1.2 农村居民点斑块空间分布特征** 在分析广西农村居民点整体空间分布特征的基础上,为进一步了解农村居民点斑块空间分布特征,本研究以每个农村居民点斑块为研究对象,利用热点探测工具和核密度分析工具,制作广西农村居民点形状、规模“冷热点”分布图,从规模、形状和密度角度准确直观地分析广西农村居民点图斑空间分布特征。

(1) 密度特征。通过分析农村居民点密度空间分布特征(图2),可以发现广西农村居民点密度具有明显的空间差异性,呈现西北低东南高的特征,核密度较高区域主要分布在地形较平坦的平原和台地地区,多靠近河流且交通便利,地形是农村居民点核密度空间分布存在差异的主要原因。高密度聚集区主要分布在南部和东南部玉林市、贵港市、钦州市和北海市,其次,在东北部和东部桂林市和贺州市也有部分高密度聚集区。低密度聚集区主要分布在广西西北区域,分别位于百色市和崇左市,该区域地势起伏大地势高,以山地丘陵为主。全省农村居民点平均密度为 $5.59$ 个/ $\text{km}^2$ ,全省农村居民点核密度值最高为 $39.41$ 个/ $\text{km}^2$ ,分区统计结果显示玉林市和北海市密度值相对较高,分别为 $10.81, 12.56$ 个/ $\text{km}^2$ ,百色市和崇左市密度值相对较低分别为 $2.15, 2.31$ 个/ $\text{km}^2$ 。占全省面积 $64.29\%$ 的区域密度分布低于全省平均值,属于低密度聚集类型。

(2) 规模特征。全局空间自相关分析显示广西农村居民点平均斑块面积Moran's  $I$ 指数为 $0.54$ , $Z$ 值为 $1128.97$ ,说明广西农村居民点规模呈现明显的集聚分布模式,即农村居民点斑块面积较大的区域周围也存在着斑块面积相对较大的农村居民点。对全省农村居民点斑块面积进行“热点”探测分析(图3)。由图3可知,广西农村居民点斑块面积在空间上呈现显著集聚效应,但其集聚特征有明显的空间分布差



异。农村居民点斑块面积“热点区”主要分布在中部、南部、东南部和东北部地区,“冷点区”主要分布在西北部地区,以百色市为主。斑块面积“热点”探测结果呈现出从西北到东南由“冷点区”—“不显著区”—“热点区”过渡的趋势。图中“冷点区”分布最广泛,总面积有 3 435.38 km<sup>2</sup>, 占全省农村居民点总面积的 53.31%, “冷点区”主要分布在地势较高区域,受地貌条件的不利影响这些区域不适宜农户居住,因此不易形成大规模农村居民点聚集;其次是“不显著区”,总面积为 1 955.94 km<sup>2</sup>, 占全省农村居民点总面积的 33.45%; 在“热点区”农村居民点分布最少,总面积为 1 052.84 km<sup>2</sup>, 占全省农村居民点总面积的 16.34%, 由图发现“热点区”主要分布在高速公路沿线,该区域交通便利、经济条件好,人口聚集度高,更容易形成规模较大农村居民点的聚集区。综合上述冷热点分布情况可以发现整体上广西农村居民点以小规模分布为主,同时多数县都存在大规模农村居民点聚集区,而这些聚集区多数集中在地形相对平坦的区域。

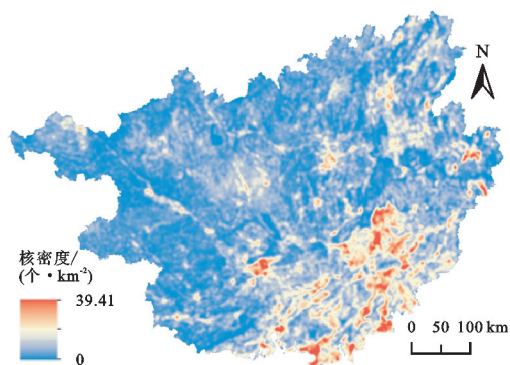


图2 广西农村居民点密度空间分布特征

Fig. 2 Spatial distribution of rural settlement density in Guangxi

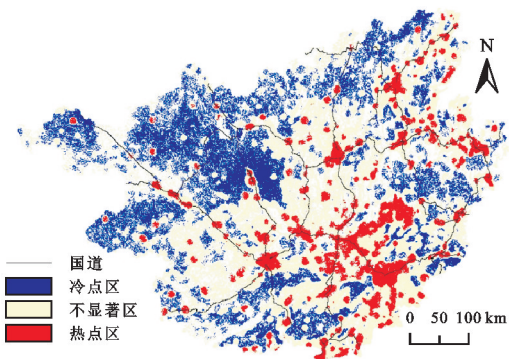


图3 农村居民点斑块面积“热点”分布

Fig. 3 'Hot Spot' map of areas of rural settlement patches

(3) 形状特征。广西农村居民点形状 Moran's *I* 指数为 0.18, *Z* 值为 358.43, 且通过了显著性检验,说明广西农村居民点形状呈现集聚分布模式,即农村居民点形状较复杂的区域周围农村居民点形状较复杂。由图 4 可知,广西农村居民点形状“热点”区主要分布在广西中

部地区,西部、南部和东北部有斑块形状“热点区”的分布,“热点区”总面积有 2 913.65 km<sup>2</sup>, 占全省农村居民点总面积的 45.21%; “冷点”区即形状指数较小,形状规则农村居民点斑块的聚集区主要分布在西北部、西南部、北部地区,总面积有 1 364.63 km<sup>2</sup>, 占全省农村居民点总面积的 21.78%, 因此广西农村居民点以复杂形状为主,且广西斑块形状热点探测结果呈现出由中心“热点区”逐渐向“冷点区”过渡的趋势。

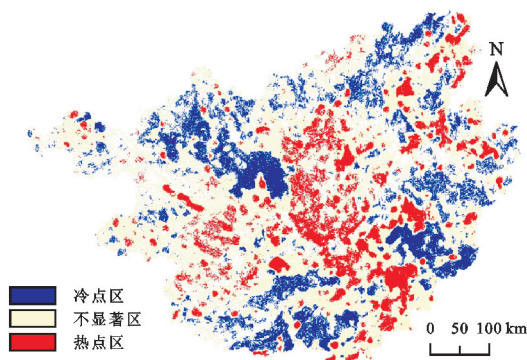


图4 农村居民点斑块的形状“热点”分布

Fig. 4 'Hot Spot' map of shapes of rural settlement patches

综合上述分析可知广西农村居民点整体上以聚集型小规模、低密度、复杂形状为主,但不同地区之间差异明显。广西南部地区和东南部地区由于地形相对平坦、水资源丰富、交通条件便利该地区农村居民点规模相对较大、密度大且形状复杂;西北区域规模相对较小、密度小、以规则形状为主;而中部地区农村居民点密度较小、规模居中、形状复杂。

## 2.2 农村居民点空间分布格局影响因素分析

农村居民点分布受自然因素、区位因素和社会经济等因素的综合影响,为进一步厘清各因素对农村居民点空间分布具体的影响效果,本研究分别选取自然因素(高程、坡度、地形起伏度和地质背景),区位因素(耕地、道路、河流和城镇)和社会经济因素(人均GDP、农村人均可支配收入和第一产业增加值),分析各因素对农村居民点分布的影响。

2.2.1 自然因素 自然因素是农村居民点产生和发展的基础,是影响农村居民点空间分布格局的基本因素,而农村居民点空间分布格局是对自然因素不断适应的结果<sup>[24]</sup>。广西地形地貌极其复杂,喀斯特地貌广布,盆地大小相间,山脉连绵不断,丘陵错综,还分布有冲积平原和溶蚀平原,独特的地形地貌孕育了广西独有的农村居民点空间分布格局。针对广西自然条件,本研究选取高程、坡度、地形起伏度和地质条件等关键因子分析自然因素对广西农村居民点分布格局影响的规律性和差异性。结合广西实际情况将高程数据分为: < 250, 250 ~ 500, 500 ~ 750, 750 ~

1 000, 1 000~1 500, >1 500 m 6 个等级; 基于 DEM 数据提取广西坡度和地形起伏度数据, 并将坡度数据分为: 0°~5°, 5°~8°, 8°~15°, 15°~25°, 25°~35°, >35° 6 个等级; 将地形起伏度数据分为 0~20 m (平原), 20~200 m (丘陵), 200~500 m (低山), 500~1 500 m (中山), >1 500 m (高山) 5 个等级; 按照广西不同的地质条件类型将广西分为喀斯特地区和非喀斯特地区两种类型。通过将农村居民点数据分别与高程、坡度、地形起伏度和地质类型数据叠加, 分析在不同高程、坡度、地形起伏度以及不同地质条件下农村居民点规模、形状和密度的分布情况。

表 1 反映了在不同高程范围内农村居民点的分布情况。由表可知, 高程对广西农村居民点空间分布有着重要影响, 农村居民点总面积、平均斑块面积和斑块密度随着高程的增加呈现递减趋势, 平均形状指数则呈现先减后增的变化趋势。高程在 <250, 250~500 m 范围内农村居民点分布面积最多, 分别为 4 469.65, 1 079.88 km<sup>2</sup>, 全省 86.12% 的农村居民点分布在高程小于 500 m 范围内, 说明地势较平坦的地区地形对农业基础设施建设限制作用较小, 且农户建房成本低, 居民点分布较多, 农村居民点有明显的低海拔区聚集倾向, 该区域内农村居民点规模和密度较大, 形状相对复杂; 全省只有 13.88% 的农村居民点分布在高程大于 500 m 的区域, 居民点规模和密度空间分布较小且形状相对复杂; 高程大于 1 500 m 时, 由于海拔较高, 气候、交通等条件不利于居民生产生活, 因此该区域内农村居民点斑块总面积、规模和密度分布最小。

表 1 不同高程范围内农村居民点空间分布特征

Table 1 Spatial distribution of rural settlements  
at different elevations

| 高程/m      | 斑块总面积/<br>km <sup>2</sup> | 面积<br>比例/% | 平均斑块<br>面积/hm <sup>2</sup> | 斑块密度/<br>(个·km <sup>-2</sup> ) | 平均形状<br>指数 |
|-----------|---------------------------|------------|----------------------------|--------------------------------|------------|
| <250      | 4469.651                  | 69.36      | 0.520                      | 133.344                        | 1.344      |
| 250~500   | 1079.881                  | 16.76      | 0.499                      | 33.574                         | 1.309      |
| 500~750   | 476.265                   | 7.39       | 0.474                      | 15.580                         | 1.289      |
| 750~1000  | 243.383                   | 3.78       | 0.395                      | 9.564                          | 1.291      |
| 1000~1500 | 121.963                   | 1.89       | 0.352                      | 5.374                          | 1.301      |
| >1500     | 53.028                    | 0.82       | 0.324                      | 2.538                          | 1.315      |

表 2 反映了在不同坡度范围内农村居民点空间分布情况。由表可知, 坡度对广西农村居民点空间分布也有着重要的影响, 农村居民点在不同坡度的分布存在显著分异性。农村居民点斑块总面积、规模、密度随坡度的增加呈现明显的递减趋势, 形状指数随坡度的增加呈现递增的趋势。广西农村居民点主要分布在坡度小于 8° 地势相对平缓的区域内, 在这一坡

度范围内的农村居民点斑块总面积为 5 330.06 km<sup>2</sup>, 占全省农村居民点斑块总面积的 82.71%, 该区域范围内坡度较小耕地面积广阔, 交通便利, 水利条件较好, 便于农民生产生活, 故该区域农村居民点分布较集中, 且规模和密度较大。由于坡度较大地区交通条件不便利, 不利于农作物耕种且耕地面积少, 居民生产条件和居住条件都比平原地区差, 因此全省仅有 17.29% 的农村居民点分布在坡度大于 8° 地势相对陡峭区域, 在这一坡度范围内农村居民点规模和密度较小, 农村居民点分布散乱, 形状相对复杂。

表 2 不同坡度范围内农村居民点空间分布特征

Table 2 Spatial distribution of rural settlements  
in different slope ranges

| 坡度/<br>(°) | 斑块总面积/<br>km <sup>2</sup> | 面积<br>比例/% | 平均斑块<br>面积/hm <sup>2</sup> | 斑块密度/<br>(个·km <sup>-2</sup> ) | 平均形状<br>指数 |
|------------|---------------------------|------------|----------------------------|--------------------------------|------------|
| 0~5        | 4213.445                  | 65.38      | 0.619                      | 105.597                        | 1.261      |
| 5~8        | 1116.605                  | 17.33      | 0.451                      | 38.386                         | 1.262      |
| 8~15       | 830.672                   | 12.89      | 0.364                      | 35.413                         | 1.279      |
| 15~25      | 240.903                   | 3.74       | 0.219                      | 17.108                         | 1.313      |
| 25~35      | 33.813                    | 0.52       | 0.191                      | 2.749                          | 1.341      |
| >35        | 8.722                     | 0.14       | 0.187                      | 0.722                          | 1.351      |

表 3 显示了在不同地形起伏度范围内农村居民点分布情况, 广西地形起伏度以低值为主, 农村居民点主要分布在地形起伏度为 0~20 m 地形适宜性较好的平原地区, 农村居民点分布面积为 3 659.56 km<sup>2</sup>, 占全省农村居民点总面积的 56.65%; 其次是地形起伏度在 20~200 m 范围内地形相对适宜的丘陵地区, 农村居民点分布面积为 1 993.53 km<sup>2</sup>, 占全省斑块总面积的 30.93%。在地形起伏度小于 200 m 的范围内, 该区域海拔较低, 多为平原易于居民点集中分布, 土地人口承载力较大, 适合农作物的耕种, 交通条件便利, 社会经济较发达, 人口集中程度高, 农村居民点分布较密集, 是农村居民点的主要聚集区; 由于地形起伏度高值区域土地利用难度大, 山体滑坡等自然灾害更容易发生, 因此地形起伏度在大于 200 m 范围内农村居民点分布较少, 斑块总面积为 800.07 km<sup>2</sup>, 占全省斑块总面积的 12.42%, 且该区域内农村居民点以小规模为主, 农村居民点分布较分散, 形状相对复杂。

广西喀斯特地貌发育强烈, 受喀斯特地区岩性和地质构造的影响, 农村居民点具有显著的地域特征, 本研究从喀斯特和非喀斯特两种不同地质背景角度探讨农村居民点空间分布特征, 并分析两种地质背景下农村居民点空间分布的差异性, 对因地制宜解决农村土地问题和生态环境保护具有重要的意义。



表 3 不同地形起伏度范围内农村居民点空间分布特征

Table 3 Spatial distribution characteristics of rural settlements in different terrain undulations

| 地形起伏度/m  | 斑块总面积/<br>km <sup>2</sup> | 面积<br>比例/% | 平均斑块<br>面积/hm <sup>2</sup> | 斑块密度/<br>(个·km <sup>-2</sup> ) | 平均形状<br>指数 |
|----------|---------------------------|------------|----------------------------|--------------------------------|------------|
| 0~20     | 3650.557                  | 56.65      | 0.466                      | 121.664                        | 1.341      |
| 20~200   | 1993.532                  | 30.93      | 0.558                      | 55.413                         | 1.277      |
| 200~500  | 613.036                   | 9.51       | 0.561                      | 16.950                         | 1.224      |
| 500~1500 | 155.046                   | 2.41       | 0.540                      | 4.453                          | 1.346      |
| >1500    | 31.998                    | 0.5        | 0.332                      | 1.494                          | 1.313      |

表 4 揭示了在不同地质背景下广西农村居民点空间分布特征,分布在非喀斯特地区的农村居民点面积有 4 397.74 km<sup>2</sup>, 占全省农村居民点总面积的 68.24%, 是广西农村居民点的主要聚集区;分布在喀斯特地区的农村居民点面积有 2 046.42 km<sup>2</sup>, 占全省农村居民点总面积的 31.76%。广西喀斯特区面积占全区面积比例约为 37.91%, 这一数据高于其相应的农村居民点占比数据, 证实了非喀斯特区相较于喀斯特区更适宜人口居住。受制于独特的自然环境条件, 喀斯特区生态环境脆弱、土壤贫瘠、缺乏养分, 水土保持的不利条件难以很好地满足耕地需求, 自然条件不利于开展高效农业生产;且喀斯特地区地质条件复杂、地质灾害多发, 地表破碎、崎岖不平、交通不便, 对农村居民的生产生活造成严重阻碍, 因此分布在喀斯特地区的农村居民点相对较少。不同地质背景的农村居民点分布特征具有显著差异, 喀斯特区农村居民点以大规模、低密度、复杂形状为主。由于喀斯特地貌类型复杂多样、地形坡度大、石漠化现象普遍、景观呈现高度破碎性, 在这种地貌条件的限制下农村居民点连片分布较少, 斑块密度较低, 形状复杂, 只能在少数相对适宜农户居住的地区以大规模分布为主。

表 4 不同地质背景下农村居民点空间分布特征

Table 4 Spatial distribution of rural settlements with different geological backgrounds

| 地质类型   | 斑块总面积/<br>km <sup>2</sup> | 面积<br>比例/% | 平均斑块<br>面积/hm <sup>2</sup> | 斑块密度/<br>(个·km <sup>-2</sup> ) | 平均形状<br>指数 |
|--------|---------------------------|------------|----------------------------|--------------------------------|------------|
| 喀斯特地区  | 2046.423                  | 31.76      | 0.578                      | 54.912                         | 1.345      |
| 非喀斯特地区 | 4397.742                  | 68.24      | 0.471                      | 86.153                         | 1.281      |

2.2.2 区位因素 农村居民点的分布与周围区位因素的分布有一定的相互关系, 农村居民点因到各区位因素的便捷程度不同而具有不同的分布特征<sup>[25]</sup>。本研究选取耕地、道路、水域和城镇等关键区位因子, 基于空间可达性分析不同区位因子对农村居民点分布的影响。

作为农民生产生活最基础的保障, 耕地与农村居民点的有机关系是农业生产的根本, 农村居民点分布

与耕地分布息息相关。本研究假定农田是按照就近原则分配给农村居民, 基于空间可达性分析耕地的空间分布对农村居民点的影响。表 5 显示了耕地对广西农村居民点分布的影响, 随着耕地可达性成本的增加, 农村居民点斑块总面积、规模、密度呈现递减趋势, 而农村居民点形状随耕地可达性成本的增加逐渐趋于复杂。农村居民点主要分布在耕地可达性小于 60 min 的区域内, 该范围内农村居民点斑块总面积有 4 469.3 km<sup>2</sup>, 占全省农村居民点总面积的 69.35%, 说明农村居民点主要分布在耕地周围, 耕地对农村居民点有较强的吸引力;全省只有 30.65% 的农村居民点分布在耕地可达性大于 60 min 的范围内, 这是由于受到地势影响以及交通影响, 导致农户到达耕地的便利性减弱, 农户在这一区域内选址建屋的意愿较低。

表 5 不同耕地可达性范围内农村居民点空间分布特征

Table 5 Spatial distribution of rural settlements within different accessibility ranges from cultivated land

| 时间/min | 斑块总面积/<br>km <sup>2</sup> | 面积<br>比例/% | 平均斑块<br>面积/hm <sup>2</sup> | 斑块密度/<br>(个·km <sup>-2</sup> ) | 平均形状<br>指数 |
|--------|---------------------------|------------|----------------------------|--------------------------------|------------|
| 0~30   | 3184.257                  | 49.41      | 0.776                      | 117.994                        | 1.323      |
| 30~60  | 1285.044                  | 19.94      | 0.601                      | 34.981                         | 1.328      |
| 60~90  | 931.825                   | 14.46      | 0.587                      | 24.053                         | 1.333      |
| 90~150 | 718.454                   | 11.15      | 0.570                      | 14.363                         | 1.364      |
| >150   | 324.579                   | 5.04       | 0.418                      | 8.583                          | 1.372      |

道路是联系农村居民点的轴线, 也是居民点信息和物质交流主要通道<sup>[26]</sup>。随着社会的发展, 农村居民点的分布影响着道路的走向, 同时道路的空间分布也会改变农村居民点的分布格局。表 6 清晰地反映了道路对农村居民点分布格局的影响, 居民点空间分布与距离道路的远近有较大关系, 随道路可达性成本的增加农村居民点斑块总面积、平均斑块面积、斑块密度呈现递减的规律, 农村居民点平均形状指数呈现递增的规律, 农村居民点总面积、规模、密度和形状均有明显的道路指向性。农村居民点用地面积主要分布在道路可达性小于 90 min 的范围内, 该区域范围内农村居民点以大规模聚集性分布为主, 说明道路附近对居民点的吸引力较大, 道路的建设为其临近的农村居民点带来较大的交通便利, 为农村居民点的经济发展带来显著优势, 吸引了大量农村居民点沿交通沿线聚集。而在道路可达性大于 90 min 的区域, 随着道路可达性成本的增加, 交通优势在逐渐减小, 农村居民点斑块总面积随着道路可达性成本的增加逐步下降,

水是人类赖以生存和发展的物质资源之一, 不仅影响农村居民生产生活<sup>[27]</sup>, 在一定程度上对农村居民点空间分布格局也会产生影响。表 7 揭示了在不同水域可达性范围内农村居民点的分布情况, 由表可知随着水



域可达性成本的增加农村居民点斑块总面积、斑块平均面积、斑块密度呈现递减的趋势,平均形状指数有明显波动;距离水源越近,农村居民点规模越大、密度越高。农村居民点主要分布在水域可达性小于 60 min 的范围内,农村居民点斑块总面积为 4 420.08 km<sup>2</sup>, 占全省斑块总面积的 68.59%,说明广西农村居民点分布有明显的水源指向性,该区域范围内河流的供水与运输能力强,农村居民生活便利,因此该区域有大量农村居民点的聚集;而水域可达性大于 60 min 的范围内农村居民点分布较少,只有 31.41%的农村居民点分布在这一范围内,该区域范围内农村居民取水难度增大,农作物灌溉难度较大,不利于居民生活,且距离水源越远,农村居民点规模越小,密度越小。

表 6 距离道路不同可达性范围内农村居民点空间分布特征

Table 6 Spatial distribution of rural settlements within different accessibility ranges from roads

| 时间/min | 斑块总面积/<br>km <sup>2</sup> | 面积<br>比例/% | 平均斑块<br>面积/hm <sup>2</sup> | 斑块密度/<br>(个·km <sup>-2</sup> ) | 平均形状<br>指数 |
|--------|---------------------------|------------|----------------------------|--------------------------------|------------|
| 0~30   | 3810.191                  | 59.13      | 0.617                      | 95.881                         | 1.306      |
| 30~60  | 1180.262                  | 18.32      | 0.465                      | 39.372                         | 1.308      |
| 60~90  | 686.113                   | 10.65      | 0.431                      | 24.706                         | 1.315      |
| 90~150 | 417.834                   | 6.48       | 0.308                      | 21.069                         | 1.327      |
| >150   | 349.761                   | 5.43       | 0.286                      | 18.947                         | 1.352      |

表 7 距离水域不同可达性范围内农村居民点空间分布特征

Table 7 Spatial distribution of rural settlements within different accessibility ranges from water areas

| 时间/min | 斑块总面积/<br>km <sup>2</sup> | 面积<br>比例/% | 平均斑块<br>面积/hm <sup>2</sup> | 斑块密度/<br>(个·km <sup>-2</sup> ) | 平均形状<br>指数 |
|--------|---------------------------|------------|----------------------------|--------------------------------|------------|
| 0~30   | 2894.469                  | 44.92      | 0.574                      | 78.266                         | 1.341      |
| 30~60  | 1525.612                  | 23.67      | 0.479                      | 49.334                         | 1.287      |
| 60~90  | 968.642                   | 15.03      | 0.455                      | 33.014                         | 1.281      |
| 90~150 | 727.599                   | 11.29      | 0.445                      | 25.381                         | 1.279      |
| >150   | 327.838                   | 5.09       | 0.364                      | 13.979                         | 1.308      |

城镇是介于乡村和城市之间的过渡性地带,是区域政治、经济和文化中心,其规模的大小以及强弱都会对周围农村居民点起到辐射作用<sup>[28]</sup>。表 8 反映了距离城镇不同范围内广西农村居民点的分布状况。由表可知农村居民点斑块总面积和斑块密度随城镇可达性成本的增加呈现递增的趋势,而平均斑块面积和平均形状指数随着城镇可达性成本的增加没有明显规律。农村居民点有 64.82%分布在城镇可达性大于 90 min 的范围内,该区域居民点规模和密度较大且以大规模聚集性分布为主,说明广西整体上城镇带动辐射作用相对较弱。35.18%的农村居民点分布在城镇可达性小于 90 min 的范围内,居民点规模和密度相对较小,反映了城镇化特性。

表 8 距离城镇不同可达性范围内农村居民点空间分布特征

Table 8 Spatial distribution of rural settlements within different accessibility ranges from towns

| 时间/min | 斑块总面积/<br>km <sup>2</sup> | 面积<br>比例/% | 平均斑块<br>面积/hm <sup>2</sup> | 斑块密度/<br>(个·km <sup>-2</sup> ) | 平均形状<br>指数 |
|--------|---------------------------|------------|----------------------------|--------------------------------|------------|
| 0~30   | 545.601                   | 8.47       | 0.444                      | 19.998                         | 1.455      |
| 30~60  | 741.239                   | 11.50      | 0.465                      | 25.889                         | 1.359      |
| 60~90  | 980.169                   | 15.21      | 0.423                      | 32.718                         | 1.372      |
| 90~150 | 1150.062                  | 17.85      | 0.542                      | 34.711                         | 1.326      |
| >150   | 3027.087                  | 46.97      | 0.513                      | 86.658                         | 1.396      |

2.2.3 社会经济因素 农村居民点最基本的功能是满足农村居民生活居住需求<sup>[29]</sup>,但随着区域社会经济发展、农村自身社会经济发展,以及国家各项惠农政策的出台,农村居民生产生活方式得到极大改善,居民收入不断提高,农村家庭对住房的改善需求被激发,驱动着农村居民点空间格局的改变。本研究选择人均 GDP、第一产业增加值、农村人均可支配收入 3 个因子分析社会经济因素对广西农村居民点空间布局的影响。

表 9 显示了社会经济因素与农村居民点斑块总面积、平均斑块面积、斑块密度和平均形状指数的相关性。社会经济因素对农村居民点空间布局有着重要影响,3 个社会经济因子对农村居民点斑块总面积和密度的影响较大,对农村居民点分布形状的影响较小。其中人均 GDP 与农村居民点总面积和形状呈负相关关系、与密度和规模呈正相关关系,说明在经济发展较好的地区,城镇化水平高,农村人口逐渐向城镇转移,农村用地通过整理和规划逐渐减少,农村居民点空间分布以相对较大规模,形状较规则的聚集性分布为主。第一产业增加值与农村居民点总面积和密度呈正相关关系、与规模呈负相关关系,在农业、林业等第一产业增加值较高的地方,通常有着更多的农村人口,农村居民点分布较多且更加分散。农村人均可支配收入与农村居民点总面积、规模、密度、形状呈正相关关系,特别与斑块密度指数具有高度相关关系,表明农民收入的增长为增加住宅面积提供经济条件,农户改善住房条件的需求变大,农村居民点用地面积则越大;同时农户收入增加可能会带动农村基层设施和公共服务的改善,推动农村居民点斑块密度增加。结合图 2 和图 5 农村人均可支配收入分布图可以发现农村居民点密度和农村人均可支配收入分布情况具有较高的空间一致性,农村人均可支配收入由西北向东南逐渐增加,农村居民点密度也呈现出由西北到东南逐渐增加的变化趋势。

2.2.4 农村居民点空间分布格局驱动因子分析 为了进一步量化和对比不同因子对农村居民点分布的

影响程度,基于地理探测模型因子探测器分别测度自然因子、区位因子和社会经济因子对农村居民点总面积、规模、密度和形状的影响力(表 10)。

表 9 社会经济因素与农村居民点空间分布格局相关系数  
Table 9 Correlation coefficients between socio-economic factors and spatial distribution pattern of rural residential areas

| 项目        | 斑块总面积     | 平均斑块面积    | 斑块密度     | 平均形状指数   |
|-----------|-----------|-----------|----------|----------|
| 人均 GDP    | -0.528 ** | 0.499 **  | 0.531 ** | -0.389 * |
| 第一产业增加值   | 0.735 **  | -0.416 ** | 0.372 *  | -0.035   |
| 农村人均可支配收入 | 0.453 **  | 0.367 *   | 0.803 ** | 0.297 *  |

注: \* 代表在 0.05 级别相关性显著, \*\* 代表在 0.01 级别相关性显著。

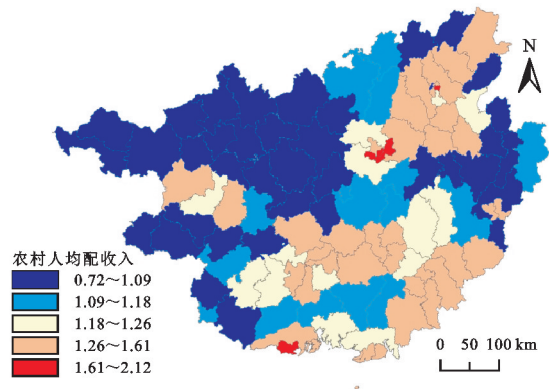


图 5 广西各县农村人均可支配收入分布  
Fig. 5 Distribution map of per capita net income of rural residents at county level

表 10 农村居民点空间分布格局因子探测结果  
Table 10 Factor detection results of spatial distribution pattern of rural residential areas

| 影响因素      | 总面积   | 规模    | 密度    | 形状    |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| 高程        | 0.137 | 0.241 | 0.539 | 0.301 |
| 坡度        | 0.154 | 0.267 | 0.478 | 0.310 |
| 地形起伏度     | 0.135 | 0.237 | 0.496 | 0.286 |
| 地质条件      | 0.040 | 0.033 | 0.409 | 0.056 |
| 耕地可达性     | 0.138 | 0.393 | 0.159 | 0.388 |
| 道路可达性     | 0.103 | 0.412 | 0.248 | 0.331 |
| 水域可达性     | 0.161 | 0.248 | 0.428 | 0.321 |
| 城镇可达性     | 0.091 | 0.118 | 0.145 | 0.127 |
| 人均 GDP    | 0.221 | 0.249 | 0.257 | 0.211 |
| 农村人均可支配收入 | 0.164 | 0.152 | 0.354 | 0.199 |
| 第一产业增加值   | 0.665 | 0.169 | 0.090 | 0.125 |

由表 10 可知,各因子对农村居民点总面积、规模、密度和形状分布影响具有明显的差异性,绝大多数因子对居民点密度的解释力相对更大,证实了居民点分布格局中密度特征更易受到制约或影响。进一步计算显示,自然因素对农村居民点总面积、规模、密度和形状分布的平均解释力分别为 0.117,0.194,0.481,0.238,自然因素对居民点密度的解释力远远高于其他特征,充分说明了自然因素对居民点密度的

关键决定性作用。具体来说,对农村居民点分布密度影响较大的因子依次是高程、地形起伏度、坡度、水域可达性和地质条件,影响最大的因子主要集中于自然条件。自然条件是农村居民点存在和继续发展的先决条件,海拔较低、坡度较缓、地形起伏度较小的平原区域是农村居民点建址的首选地,该区域耕地多且集中连片分布有利于开展各类农业生产活动,适宜农户生产生活,农户分布相对集中,农村居民点的密度就越高。同时由于广西喀斯特地貌发育强烈连绵成片,地形以山地丘陵为主,且多分布在西部、北部和东部地区,山地面积约占广西总面积的 40%,而只有中部地区地势相对较低,不同地貌发育特征所提供的生产资源不同,影响着农村居民点的选址和迁移,形成了自然因素影响农村居民点密度分布的内在机制<sup>[25]</sup>。

区位因素对农村居民点总面积、规模、密度和形状分布的平均解释力分别为 0.123,0.293,0.245,0.292,区位因素对农村居民点规模和形状分布影响较大,且影响程度相当。进一步对比可知,对农村居民点分布规模影响较大的因子为道路可达性和耕地可达性,对农村居民点分布形状影响较大的因子依次是耕地可达性、道路可达性、水域可达性、坡度和高程,这些影响最大的因子主要集中于区位条件,表明区位因素对农村居民点分布规模和形状具有主导作用。综合区位条件的好坏是农村居民点选址和布局的重要依据,优越的区位条件意味着交通条件便利,水资源充足,耕地资源丰富,便利的居住条件和农业生产条件有助于推动农村居民点的扩张,农村居民点聚集性强,规模因此相对较大。在区位条件较好的地区经济发展水平也相对较高,区域规划相对更加完整,因此该地区农村居民点形状相对更加规则。区位因素对居民点规模和形状分布的重要性也得到了其他研究的印证,李阳兵等<sup>[3]</sup>研究也发现峰丛洼地中的农村居民点面积与耕地面积呈显著正相关关系,耕地面积越大农村居民点规模也往往越大;孙耀鹏等<sup>[16]</sup>研究也发现农村居民点空间总体分布和用地规模有明显的道路指向性,越靠近道路农村居民点分布越多,用地规模越大。

社会经济因素对农村居民点总面积、规模、密度和形状分布的平均解释力分别为 0.350,0.190,0.234,0.178,社会经济因素对居民点分布总面积的解释力显著高于其他分布特征,说明社会经济因素对农村居民点分布总面积具有较强的“决定力”。对因子进行排序,可以发现对农村居民点总面积影响较大的因子依次为

第一产业增加值、人均 GDP、农村人均可支配收入、水域可达性和坡度,其中影响最大的因子主要来自于社会经济层面。社会经济发展带动农民生活方式的改变,驱动农村居民点空间格局的变化,经济发展较好的地区往往有着较强的产业聚集优势,能够容纳更多人口,且更具备改善和扩大居住地的经济能力,因此大量农村居民点分布于此。此外,随着经济的不断发展农村人居环境及基础设施得到改善,基本公共服务水平稳步提升,促使农村居民点由自然条件和区位条件较差的地区向经济发展优势区域集中和迁移,进一步导致了居民点的扩张<sup>[24]</sup>。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 讨论

当前对于农村居民点研究主要集中于小区域或粗分辨率两个层面,前者难以整体把握农村居民点空间格局,不能全面反映农村居民点的空间分布特征;后者由于农村居民点分布细碎散乱,粗分辨率下的农村居民点面积和边界形状存在较大误差,难以有效反映农村居民点内部结构。从高分辨率斑块尺度开展大区域农村居民点研究可以有效克服当前研究不足,兼顾“高分辨率精细结构信息”与“区域性规律特征”的获取。本研究采用高精度高分辨率的农村居民点信息从省域和斑块尺度分析广西农村居民点密度、规模和形状空间分布特征及影响因素,不仅充实了农村居民点的研究内容,也为广西农村居民点的布局优化提供科学参考。研究发现广西农村居民点在部分地区分布缺乏科学规划,破碎化程度较高,人地矛盾突出,对于这部分区域的农村居民点可以通过实地调研等方式获取农户搬迁的主体意愿后,对农村居民点进行系统规划,实施迁并等政策;对于分布在区位条件较好,地形平坦区域的农村居民点应重点进行布局优化,在不同区域充分考虑农村居民点的类型和发展定位,有效利用当地地域优势发展新业改善经济状况,实施人居环境整治,实现乡村振兴。交通、河流等对广西农村居民点空间分布格局影响显著,可以通过完善道路等基础设施建设,改善人居环境,带动零散居民点向中心聚集。

本研究尽管充分利用高分辨率数据的优势,但还存在一些不足,由于数据的可获取性,只分析了广西农村居民点空间分布格局及影响因素,没有涉及居民点动态变化。在下一步研究中可通过获取多期数据分析广西农村居民点空间格局的演变特征,采用静态

与动态相结合的方法,揭示农村居民点动态变化的主要驱动力。

#### 3.2 结论

(1) 广西农村居民点整体呈现显著聚集型,且以小规模、低密度、复杂形状为主要分布特征。全省农村居民点平均密度为 5.59 个/km<sup>2</sup>,密度和规模有明显西北低、东南高的空间分布特征;农村居民点规模和形状有高值聚集分布特点,且农村居民点规模“热点区”主要分布在公路沿线,形状“热点区”主要分布在中部和南部地区。

(2) 农村居民点分布具有显著的分异性,其主要分布在高程小于 250 m、坡度小于 8°、地形起伏度小于 200 m 的海拔较低,靠近耕地道路和水域的区域。随着高程和坡度的增加,耕地、道路和水域可达性的减小,农村居民点斑块总面积、平均斑块面积和斑块密度均呈现递减趋势;不同地质背景农村居民点分布特征差异较大,与非喀斯特区相比,喀斯特区农村居民点分布呈现规模大、密度低、形状复杂的空间分布特征。

(3) 自然、区位和社会经济等不同因素对农村居民点分布的影响具有明显差异性,绝大多数因子对居民点密度的影响程度相对更大。社会经济因素对农村居民点分布总面积具有较强的“决定力”,区位因素特别是耕地与道路对农村居民点分布规模和形状具有主导作用,而对农村居民点分布密度影响最大的是自然因素。

#### 参考文献(References):

- [1] 李姗姗,曹广超,赵鹏飞.秦巴山区农村居民点空间分布及其影响因素分析:以陕西省宁强县为例[J].水土保持研究,2014,21(3):186-191.  
Li S S, Cao G C, Zhao P F. Analysis of spatial distribution of rural settlements and its influential factors in Qinba mountain area: A case study of Ningqiang County in Shaanxi Province [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2014, 21(3): 186-191.
- [2] 冯应斌,龙花楼.中国山区乡村聚落空间重构研究进展与展望[J].地理科学进展,2020,39(5):866-879.  
Feng Y B, Long H L. Progress and prospect of research on spatial reconstruction of rural settlements in mountainous areas of China [J]. Progress in Geography, 2020, 39(5): 866-879.
- [3] 李阳兵,罗光杰,徐倩,等.茂兰喀斯特自然保护区聚落空间分布与演变特点[J].中国岩溶,2019,38(2):208-216.  
Li Y B, Luo G J, Xu Q, et al. Spatial distribution and evolution characteristics of settlement in Maolan nature



- reserve of Karst area, Guizhou Province[J]. *Carsologica Sinica*, 2019, 38(2): 208-216.
- [4] 廖艳梅, 兰安军, 尹林江, 等. 喀斯特山区农村居民点空间分布特征及其影响因素[J]. *水土保持研究*, 2021, 28(6): 233-241.
- Liao Y M, Lan A J, Yin L J, et al. Spatial distribution characteristics and influencing factors of rural settlements in Karst mountainous areas[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2021, 28(6): 233-241.
- [5] 李红波, 张小林. 国外乡村聚落地理研究进展及近今趋势[J]. *人文地理*, 2012, 27(4): 103-108.
- Li H B, Zhang X L. A review and trend on rural settlement geography abroad[J]. *Human Geography*, 2012, 27(4): 103-108.
- [6] Robinson P S. Implications of rural settlement patterns for development: A historical case study in Qaukeni, Eastern Cape, South Africa[J]. *Development Southern Africa*, 2003, 20(3): 405-421.
- [7] Clark J K, McChesney R, Munroe D K, et al. Spatial characteristics of exurban settlement pattern in the United States [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 90(3/4): 178-188.
- [8] 陈美球, 吴次芳. 论乡村城镇化与农村居民点用地整理[J]. *经济地理*, 1999, 19(6): 97-100.
- Chen M Q, Wu C F. Urbanization and village land readjustment[J]. *Economic Geography*, 1999, 19(6): 97-100.
- [9] 杨庆媛, 田永中, 王朝科, 等. 西南丘陵山地区农村居民点土地整理模式: 以重庆渝北区为例[J]. *地理研究*, 2004, 23(4): 469-478.
- Yang Q Y, Tian Y Z, Wang C K, et al. On the land use characteristics and the land consolidation models of rural residential area of the hilly and mountainous regions in Southwest China: A case of Chongqing[J]. *Geographical Research*, 2004, 23(4): 469-478.
- [10] 刘立文, 段永红, 李丽丽, 等. 山西省农村居民点空间分布特征及其适宜性评价[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(1): 100-109.
- Liu L W, Duan Y H, Li L L, et al. Spatial distribution characteristics and suitability evaluation of rural residential areas in Shanxi Province[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(1): 100-109.
- [11] 罗志军, 赵越, 李雅婷, 等. 基于空间组合特征的农村居民点布局优化研究[J]. *农业工程学报*, 2019, 35(4): 265-272, 314.
- Luo Z J, Zhao Y, Li Y T, et al. Research on rural residential area layout optimization based on spatial combination characteristics[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2019, 35(4): 265-272, 314.
- [12] 张晗, 赵小敏, 欧阳真程. 赣东北低山丘陵区农村居民点时空演变格局及影响因素研究: 以江西省贵溪市为例[J]. *江西农业大学学报*, 2019, 41(2): 380-393.
- Zhang H, Zhao X M, Ouyang Z C. Spatial-temporal evolution pattern of rural settlements and their influence factors in low mountains and hills of northeastern Jiangxi Province: A case study of Guixi City[J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2019, 41(2): 380-393.
- [13] 杨勇, 邓祥征, 吴锋, 等. 华北平原农村居民点演变及社会经济影响因素分析[J]. *人文地理*, 2019, 34(2): 116-124.
- Yang Y, Deng X Z, Wu F, et al. An analysis of rural settlement evolution and socioeconomic affect factors in North China Plain[J]. *Human Geography*, 2019, 34(2): 116-124.
- [14] 何建华, 贾宁, 李亚静, 等. 青藏高原东北部河湟谷地农村居民点布局优化[J]. *农业工程学报*, 2021, 37(14): 258-265.
- He J H, Jia N, Li Y J, et al. Layout optimization of rural residential areas in Hehuang Valley of northeast Qinghai Tibet-Plateau[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2021, 37(14): 258-265.
- [15] 王兆林, 鄂施璇, 杜挺, 等. 山地丘陵区农村居民点空间分布特征及影响机制分析[J]. *农业工程学报*, 2022, 38(10): 277-285.
- Wang Z L, E S X, Du T, et al. Spatial distribution characteristics and influencing mechanism of rural settlements in mountainous areas[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2022, 38(10): 277-285.
- [16] 孙耀鹏, 方敏. 喀斯特山地县域农村居民点用地空间结构特征: 以贵州省开阳县为例[J]. *区域治理*, 2022(28): 54-57.
- Sun Y P, Fang M. Spatial structure characteristics of rural residential land in Karst mountainous counties: A case study of Kaiyang County, Guizhou Province[J]. *Regional Governance*, 2022(28): 54-57.
- [17] 李晓青, 阳倩妮, 周楷淳, 等. 喀斯特地区不同岩性上农村居民点分布特征: 以平果市为例[J]. *中国岩溶*, 2021, 40(2): 355-362.
- Li X Q, Yang Q N, Zhou K C, et al. Distribution characteristics of rural settlement on different lithology in Karst area: A case study of Pingguo City[J]. *Carsologica Sinica*, 2021, 40(2): 355-362.
- [18] 李保杰, 陈莉, 顾和和. 苏北县域农村居民点空间分布

- 格局与可达性研究:以徐州市丰县为例[J].土壤通报, 2021,52(2):306-313.
- Li B J, Chen L, Gu H H. Study on spatial pattern and accessibility of rural settlements in northern Jiangsu: A case study of Fengxian, Xuzhou[J]. Chinese Journal of Soil Science, 2021,52(2):306-313.
- [19] 李裕瑞,刘彦随,龙花楼.中国农村人口与农村居民点用地的时空变化[J].自然资源学报,2010,25(10):1629-1638.
- Li Y R, Liu Y S, Long H L. Spatio-temporal analysis of population and residential land change in rural China[J]. Journal of Natural Resources, 2010,25(10):1629-1638.
- [20] 朱彬,尹旭,张小林.县域农村居民点空间格局与可达性:以江苏省射阳县为例[J].地理科学,2015,35(12):1560-1567.
- Zhu B, Yin X, Zhang X L. Spatial pattern and accessibility of rural settlements: A case study on Sheyang County in Jiangsu Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2015,35(12):1560-1567.
- [21] 刘耀林,范建彬,孔雪松,等.基于生产生活可达性的农村居民点整治分区及模式[J].农业工程学报,2015,31(15):247-254,315.
- Liu Y L, Fan J B, Kong X S, et al. Zoning and mode of rural residential land consolidation based on accessibility to production and living facilities[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2015,31(15):247-254,315.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] 杨斌,王占岐,张红伟,等.高山贫困地区农村居民点空间格局演变特征及驱动机制[J].农业工程学报,2021,37(4):285-293.
- Yang B, Wang Z Q, Zhang H W, et al. Spatial pattern evolution characteristics and driving mechanism of rural settlements in high mountain areas with poverty [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2021,37(4):285-293.
- [25] 李晓青,王一淳,徐修桥.喀斯特地区农村居民点时空演变格局及影响因素:以平果市为例[J].水土保持研究,2022,29(3):375-382.
- Li X Q, Wang Y C, Xu X Q. Spatiotemporal evolution pattern and influencing factors of rural settlements in Karst areas: Take Pingguo City as an example[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022,29(3):375-382.
- [26] 杨忍.基于自然主控因子和道路可达性的广东省乡村聚落空间分布特征及影响因素[J].地理学报,2017,72(10):1859-1871.
- Yang R. An analysis of rural settlement patterns and their effect mechanisms based on road traffic accessibility of Guangdong [J]. Acta Geographica Sinica, 2017,72(10):1859-1871.
- [27] 马小娥,白永平,纪学朋,等.干旱区内陆河流域农村居民点时空格局演变及影响因素[J].中国农业资源与区划,2018,39(1):106-116.
- Ma X E, Bai Y P, Ji X P, et al. The spatial and temporal patterns of rural settlements and the influencing factors in the inland river basin of arid region [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2018,39(1):106-116.
- [28] 任平,洪步庭,周介铭.基于空间自相关模型的农村居民点时空演变格局与特征研究[J].长江流域资源与环境,2015,24(12):1993-2002.
- Ren P, Hong B T, Zhou J M. Research of spatio-temporal pattern and characteristics for the evolution of rural settlements based on spatial autocorrelation model[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2015,24(12):1993-2002.
- [29] 张天柱,张凤荣,谢臻,等.精准扶贫背景下云南少数民族山区农村居民点空间格局演变[J].农业工程学报,2019,35(9):246-254.
- Zhang T Z, Zhang F R, Xie Z, et al. Spatial pattern evolution of rural settlements in mountainous areas of ethnic minorities in Yunnan Province under background of precise poverty alleviation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019,35(9):246-254.