

DOI:10.13869/j.cnki.rswc.2024.03.035.

刘大千, 王丹, 许骏, 等. 长白山地区乡村聚落空间格局及影响因素[J]. 水土保持研究, 2024, 31(3): 383-390, 400.

Liu Daqian, Wang Dan, Xu Jun, et al. The Spatial Pattern of Rural Settlements and Its Influencing Factors in Changbai Mountain Area[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2024, 31(3): 383-390, 400.

长白山地区乡村聚落空间格局及影响因素

刘大千¹, 王丹², 许骏^{3,4}, 孙汉杰²

(1.中国科学院 东北地理与农业生态研究所, 长春 130102; 2.吉林工商学院 旅游学院, 长春 130507;
3.长春工程学院, 长春 130012; 4.长白山历史文化与VR技术重构吉林省重点实验室, 长春 130012)

摘要: [目的]探究长白山地区乡村聚落空间分布特征和影响因素,理解近代大量移民背景下中高纬度山区乡村居民点空间格局的形成过程和机制。[方法]综合运用核密度分析、空间自相关分析、空间回归分析和地理探测器等方法,解析长白山地区乡村聚落的空间格局并揭示其影响因素。[结果]长白山地区的乡村聚落呈现出明显的集聚分布特征,存在东北和西南两个聚集区域;各类空间回归方法中,空间杜宾误差模型的拟合效果最佳,结果表明耕地资源和高程是影响长白山地区乡村聚落格局最重要的因素,且对于邻域居民点的布局存在“推拉”效应,潜在未知变量(如土壤质量、文化因素等)也是导致乡村聚落表现出空间自相关的因素;地理探测器分析的结果进一步证实了耕地资源和高程的重要性,同时也表明与县级以上城市、建制镇、主要交通线、主要河流的距离等区位因素以及地形坡度同样对乡村聚落分布有显著影响,且彼此间均呈现出交互增强的特点。[结论]主要由移民形成的中高纬度山区乡村聚落的空间格局是多因素综合作用的结果,其中耕地资源和高程的影响更为显著;空间回归杜宾(误差)模型能够同时探测自变量和因变量的空间自相关问题,在乡村聚落空间格局的研究中具有一定的适用性。

关键词: 乡村聚落; 空间格局; 空间回归模型; 地理探测器; 长白山地区

中图分类号: K901.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2024)03-0383-08

The Spatial Pattern of Rural Settlements and Its Influencing Factors in Changbai Mountain Region

Liu Daqian¹, Wang Dan², Xu Jun^{3,4}, Sun Hanjie²

(1. *Northeast Institute of Geography and Agroecology, Chinese Academy of Sciences, Changchun 130102, China*; 2. *School of Tourism, Jilin Business and Technology College, Changchun 130507, China*; 3. *Changchun Institute of Technology, Changchun 130012, China*; 4. *Jilin Provincial Key Laboratory of Changbai Historical Culture and VR Reconstruction Technology, Changchun 130102, China*)

Abstract: [Objective] This study aims to explore the spatial distribution characteristics and influencing factors of rural settlements in the Changbai Mountain region, and to understand the formation process and mechanisms of the spatial patterns of rural residential areas in the middle and high latitude mountainous areas under the background of the large-scale migration in modern times. [Methods] Analytical methods including Kernel Density analysis, spatial autocorrelation analysis, spatial regression analysis, and Geodetector were used to examine the spatial pattern of rural settlements in the Changbai Mountain region and identify its influencing factors. [Results] The rural settlements in the Changbai Mountain region exhibited an obvious clustering distribution, with two distinctive clusters in the northeast and southwest. Among various spatial regression methods, the Spatial Durbin Error Model showed the best fit. The arable land resources and

收稿日期: 2023-06-19

修回日期: 2023-07-05

资助项目: 国家自然科学基金项目(41971193; 42171236); 吉林省教育厅人文社科研究项目(JJKH20210215SK); 吉林省社会科学基金项目(2020B021); 中国科学院东北地理与农业生态研究所青年科学家小组项目(2022QNXZ02)

第一作者: 刘大千(1983—), 男(满族), 辽宁本溪人, 博士, 副研究员, 主要研究方向为农业和乡村地理等。E-mail: liudaqian@iga.ac.cn

通信作者: 王丹(1985—), 女, 吉林长春人, 硕士, 副教授, 主要研究方向为旅游地理、产业发展等。E-mail: minp941@163.com

<http://stbcyj.paperonce.org>

elevation were the most important factors influencing the spatial patterns of rural settlements in the Changbai Mountain region. Furthermore, these two factors exhibited a ‘push-pull’ effect on the layout of neighboring settlements. Potential unknown variables such as soil quality and cultural factors also contributed to the spatial autocorrelation of rural settlements. Geodetector analysis further confirmed the importance of arable land resources and elevation. Additionally, distance to urban areas at the county level or above, administrative towns, major transportation routes, and main rivers, as well as slope, significantly influenced the distribution of rural settlements, and these factors exhibited the mutual enhancement effect. [Conclusion] The spatial patterns of rural settlements in the middle and high latitude mountainous areas, primarily formed by migration, are the result of the combined effects of multiple factors, with arable land resources and elevation being more significant. The Spatial Durbin Error Model can simultaneously detect the spatial autocorrelation effects of both the dependent and independent variables, making it applicable to the study on spatial patterns of rural settlements.

Keywords: rural settlements; spatial patterns; spatial regression model; Geodetector; Changbai Mountain Region

乡村聚落是人类居住、生活、社会活动和部分生产活动的场所,是物质景观和人文社会功能的融合,是人地关系的复合系统^[1]。乡村聚落空间分布、区位选择以及影响因素等历来是学术界关注的重要方面^[2-4]。近年来,对这一领域的研究始终热度不减,对不同区域各类型乡村聚落的分布形态特征^[5-6]、演化规律^[7-8]、动力机制^[9-10]以及空间重构等^[11-12]的研究与日俱增。特别是随着 GIS 空间分析技术和计量方法的广泛应用,基于多种空间数据源的乡村聚落空间分析逐渐成为乡村地理研究的经典范式^[2,13]。既有研究表明,乡村聚落的分布格局存在明显的空间分异,不同区域乡村聚落的格局形态因聚落形成的资源环境背景、历史演变等方面的不同,呈现出差异化的布局形态特征和驱动因素,对于这种分异规律深入探究和考察始终是乡村地理的重要研究取向,也体现出地理学研究的重要意义。中国山区面积约占国土陆地面积的 70%,区域内部地形复杂多变,河流水系和道路布局通常蜿蜒曲折,多种生态要素相互交织,居民点布局的特征和影响因素与平原地区通常有显著差别,加强对山区乡村聚落空间格局的研究是有其必要性的^[8]。目前关于山区乡村聚落空间格局的研究主要集中在关内的中西部山区^[14-16],而对于东北地区山区的乡村聚落格局研究还比较少见。长白山地区地处吉林省东部地区,地貌上以中山低山为主,山间谷底狭窄,兼有盆地和台地等地貌分布,雨热同季、四季分明,全年平均气温低且降水相对较多,是中高纬度山区的典型代表,也是东北地区重要的生态屏障^[17]。此外,长白山地区的乡村聚落主要是在清末开禁以后由大批移民迁入和垦殖过程中逐步形成的,而且其演化的速度相对较快^[18],加强对这种在高强度社会变迁背景下的人口迁徙、定居、繁衍生息后所

形成的典型人居聚落形态和影响因素的研究,对于理解近代以来由大批移民兴建的山区乡村聚落的发生发展过程具有重要的参考价值。相关研究表明,乡村聚落的形成和演化会受到诸多因素的影响,其中海拔、坡度等地形地貌因素的制约往往起到基础性和决定性的作用^[19-20];同时,与道路、河流以及县城距离等体现区位的因子往往也是重要原因^[19,21];值得关注的是耕地资源经常被证实是乡村聚落形成和发展的重要驱动因子^[10,16];部分研究还考察了人均地区生产总值、粮食产量等体现经济社会发展水平的因素^[22-23]。从方法上看,尽管相关研究结论证实乡村居民点的空间分布往往具有集聚性分布特征^[24-25],但通常并没有详细地对其空间集聚效应(空间自相关)进行模型和数理上的分析。对于存在明显空间自相关现象的研究,在模型分析时应考虑到相邻分析单元的影响,这种影响既可能来自于乡村居民点自身的空间扩散(即空间滞后效应),也可能源自于邻域间存在某些局部未被识别的解释变量而造成残差的自相关(即空间误差效应)。此外,空间计量模型还应该考虑到各解释变量自身可能存在的空间滞后效应^[26],而这一点在既有的乡村聚落研究中应用较少。因此,本研究通过对比多种空间回归模型的分析结果,选取最佳模型对各模型参数及空间效应进行度量,以明晰长白山地区乡村聚落空间格局的影响因素。进而,为进一步探究影响乡村聚落的各非线性因子,亦采用地理探测器的方法,以期达到对这一区域乡村聚落格局成因较为全面和综合的理解。

1 研究区域、数据和方法

1.1 研究区域

广义上讲,长白山地区是个地域性概念,很难划

定明确的界限,为了研究的开展,选取行政界限进行研究是通行的做法。借鉴相关研究经验,从《中国县域统计年鉴(县市卷)》所界定的山区县(县域内山地面积大于 80% 以上)中,选取其中吉林省的山区县为研究区域,包括通化县、集安市、江源区、抚松县、靖宇县、长白朝鲜族自治县、临江市、延吉市、图们市、敦化市、珲春市、龙井市、和龙市、汪清县和安图县,同时,为了保持研究区域的连续,本研究中也把东昌区、二道江区、浑江区包括在研究区域内,共计 18 个县区,区域总面积约为 68 726.12 km²,2020 年辖区内总人口数为 406.11 万人。

1.2 数据来源

本研究所涉及的乡村聚落包括各个乡、村、屯等农村居民点。由于研究区域较大,且山区居民点普遍存在规模小且布局零散的特点,因此将各居民点抽象为点数据进行研究。借助百度地图 API、和 Google earth 软件,同时参考研究区的行政区划,识别并提取各个乡村居民点几何中心的地理坐标,并将各个经纬度信息导入 ArcGIS 10.5 软件,进行制图和统计,研究区域内共计得到 4 908 个乡村居民点。为研究乡村聚落形成的相关影响因素,收集了数字高程模型 (DEM) 数据、耕地分布数据以及道路河流分布等矢量数据,其中 DEM 数据来自地理空间数据云平台,耕地数据和道路河流分布数据来源于吉林省第二次土地调查数据,利用 ArcGIS 10.5 软件提取和计算相关变量。

1.3 研究方法

1.3.1 核密度分析

核密度分析 (Kernel Density Estimation) 是一种基于点状数据或线状数据对表面密度进行非参数估计的方法,与传统的点密度估计方法相比,其估计结果兼顾了不同位置聚集强度的差异性和更高的连续性^[11],在各类点状数据的热点区域识别方面有普遍的应用,其通行计算公式如下:

$$f(x) = \frac{1}{nh^d} \sum_{i=1}^n k\left(\frac{x-x_i}{h}\right) \quad (1)$$

式中: $f(x)$ 为估值点 x 处的核密度值; $x-x_i$ 表示估值点到 x_i 点的距离; h 为带宽; n 为带宽范围内点的数量; k 表示核函数; d 为维度。

本研究基于 ArcGIS 10.5 软件的核密度估计工具对研究区域内乡村居民点进行计算,该软件中使用的是二次核函数 (quadratic kernel function)。通过制作核密度分布图,可以直观地揭示出区域内乡村聚落的分布格局和形态。某核密度值越高表明该区域的乡村聚落的分布更为密集。

1.3.2 空间自相关分析

空间自相关分析 (spatial

autocorrelation analysis) 通过空间自相关指数 (全局莫兰指数) 来度量要素在空间上的关联程度。空间自相关指数的计算公式为:

$$\text{Global Moran's } I = \frac{\sum_i \sum_{j \neq i} w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_i \sum_{j \neq i} w_{ij}} \quad (2)$$

式中: x_i 和 x_j 分别是网格 i 和网格 j 内的乡村居民点数量; \bar{x} 是全部网格内乡村居民点数量的平均值; S^2 为各网格农村居民点数量的方差; n 为参与分析的网格数量; w_{ij} 为空间权重矩阵,基于 queen contiguity 方法进行创建。

由于空间自相关分析通常是针对面域数据,另一方面由于乡村居民点的空间集聚会受到其周边广域范围内的各项因素的综合影响,因此本研究通过构建 5 km×5 km 的网格,利用 GIS 软件的空间统计功能计算各网格内乡村居民点的数量,并剔除掉没有居民点的网格,以其余 1 461 个网格为分析单元进行空间自相关分析以及后续研究。Global Moran's I 的取值范围为 -1~1,大于 0 为正相关,小于 0 为负相关,等于 0 表示随机分布,并且通过 Z 检验验证其显著性。其计算过程应用 Geoda 软件来实现。

1.3.3 空间回归分析

如果空间自相关存在显著性,则表明应用传统的多元线性回归模型考察乡村居民点空间格局影响因素时可能会产生回归系数和拟合优度偏差,需要应用空间回归模型。在不同种类空间模型中最常用的主要包括:空间滞后模型 (Spatial Lag Model, SAR)、空间误差模型 (Spatial Error Model, SEM)、空间杜宾模型 (Spatial Durbin Model, SDM) 和空间杜宾误差模型 (Spatial Durbin Error Model, SDEM),具体公式如下:

$$\text{SAR: } Y = \beta_0 + \rho W_Y + \beta X + \mu \quad (3)$$

$$\text{SEM: } Y = \beta_0 + \beta X + \varepsilon, \varepsilon = \lambda W_\varepsilon + \mu \quad (4)$$

$$\text{SDM: } Y = \beta_0 + \rho W_Y + \beta X + \theta W_X + \mu \quad (5)$$

$$\text{SDEM: } Y = \beta_0 + \beta X + \theta W_X + \varepsilon, \varepsilon = \lambda W_\varepsilon + \mu \quad (6)$$

式中: Y 代表因变量; X 代表自变量; β_0 代表常数项; β 代表各自变量的回归系数; W_Y 代表因变量的空间滞后项; ρ 代表因变量空间滞后项系数; μ 代表独立的随机误差项; ε 代表空间误差项; W_ε 代表空间误差的空间滞后项; λ 代表空间误差滞后项系数; W_X 代表自变量的空间滞后项; θ 代表自变量空间滞后项系数。以上各公式中 W 均为各项目的空间权重矩阵。

空间滞后模型 (SAR) 主要考虑到周边区域的因变量 (居民点数量) 对本区域因变量的影响,以空间滞后项形式加入模型; 空间误差模型 (SEM) 主要考虑

到由于相邻区域中难以度量的、跨区的变量(如文化因素、土壤肥沃程度等)的存在所导致的残差自相关,以空间误差项的形式加入模型;空间杜宾模型(SDM)则是在 SAR 模型的基础上考虑到各解释变量的空间自相关而以解释变量的空间滞后效应加入模型;空间杜宾误差模型(SDEM)则是在 SEM 模型的基础上加入了解释变量的空间滞后项。模型的选择,主要依据 LR(Likelihood Ratio)和 Wald 检验值进行判断,但同时也应综合考察多项统计值,如赤池信息准则(Akaike Information Criterion, AIC)、模型拟合优度 R^2 、自然对数释然函数(Log Likelihood, LogL)等,各个模型参数的计算均在 Geoda 软件和 R 软件中实现。

1.3.4 地理探测器 地理探测器(geographical detector)是分析空间分层异质性并揭示背后驱动力的统计学方法,其含义为如果某个自变量对某个因变量有重要影响,那么自变量和因变量的空间分布应该具有相似性^[27]。其既可以探测数值型数据,也可以探测定性数据,还可以探测两因子间的交互作用。如果变量间线性关系显著时,地理探测器必然显著;当线性回归不显著时,地理探测器仍然可能显著;两变量只要有关系,地理探测器就能够探测出来。其计量模型为:

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^l N_h \sigma_h^2}{N \sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (7)$$

式中: q 值是度量乡村聚落居民点和相关影响因素关系的指数,其值域范围为 $[0, 1]$, 值越大说明自变量 X 对因变量 Y 的影响力越强,反之则越弱; N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数,即网格的数量; σ_h^2 和 σ^2

分别是类别 h 层和全区的乡村居民点数量的方差; SSW 为层内方差之和; SST 为全区总方差。

地理探测器还可以进行生态探测和交互探测,分别用来检验各影响因子对于因变量 Y 的影响是否有显著差异以及判断两因子共同作用是否会增加或减弱对乡村聚落居民点数量的解释力^[33]。

1.4 相关影响因素变量提取和计算

综合已有的关于乡村聚落空间分布影响因素的相关研究和数据的可获取性,本研究选取了高程(X_1)、坡度(X_2)、与最近主干道路(县道及以上)的平均距离(X_3)、与最近河流的平均距离(X_4)、与最近城市(县城以上)平均距离(X_5)、与最近建制镇的平均距离(X_6)、耕地面积(X_7) 7 个变量。考虑到乡村聚落的形成通常会受到其周边区域的综合影响,研究空间分析单元的选取要能够体现出一定的综合性,同时为了尽可能地保证各单元内变量数量具有一定的分异性,参考相关研究的做法^[20, 22-23], 回归分析的空间单元仍然选择 $5 \text{ km} \times 5 \text{ km}$ 的网格,通过进行空间叠加和统计分析,计算出每个网格内部各指标的平均值来代表各个变量,考察其与各网格内乡村居民点数量的关系。各变量的描述性统计值如表 1 所示。为了消除各影响因素的量纲差异对研究结论的影响,在回归建模时对各变量基于各自平均值和标准差进行了标准化处理。由于研究区域内存在大比例山地和林地等无人居住区,因此在研究中仅保留其内部有居民点的 1 461 个网格参与分析。在地理探测器分析中,各连续变量基于自然断裂点分为 5 个类别,以尽可能保障组内差异小而组间差异大。

表 1 乡村聚落及其影响因素变量的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of rural settlements and their driving factors

影响因素	单位	最小值	最大值	均值	标准差
网格内乡村居民点个数(Y)	个	1.00	22.00	3.36	2.85
平均海拔高度(X_1)	m	13.71	1296.25	557.88	198.17
平均坡度(X_2)	(°)	0.95	26.06	11.29	5.12
与最近主干道的平均距离(X_3)	m	4.62	48669.48	3861.35	4279.51
与最近河流的平均距离(X_4)	m	9.79	21268.99	2316.69	2691.44
与最近城市平均距离(X_5)	m	317.87	92987.07	26449.85	16667.13
与最近乡镇平均距离(X_6)	m	214.67	65597.85	9197.51	6077.89
网格内耕地面积(X_7)	hm ²	0.00	2119.75	433.73	463.14

2 结果与分析

2.1 长白山地区乡村聚落空间格局特征

核密度分析结果表明(图 1),长白山地区乡村聚落呈现出明显的集聚性分布特征,在空间上形成了若干个相对集中分布的集聚区,其中核密度值最高的区

域有两个,分别是位于东北方向延吉和龙井市周边形成的延吉集聚区和西南方向浑江区和江源区周边形成的白山集聚区。此外,其他几个核密度值较高的区域也大多分布在各市县或重点建制镇周边。整体上看,长白山地区的乡村居民点分布格局可以划分为东北和西南两大片区,东北片区整体表现为以延吉市和

龙井市为中心的放射多组团格局,而西南片区则总体表现为由各县(区)周边区域连接而成的条带状 T 字形多组团格局。

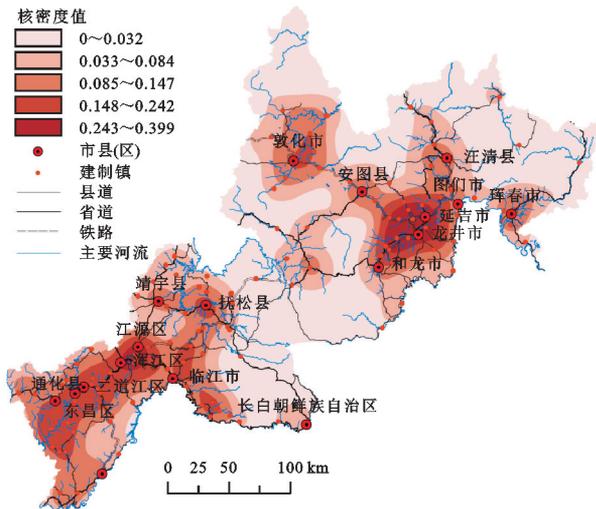


图 1 长白山地区乡村居民点核密度

Fig. 1 Kernel density of rural settlements in Changbai Mountain area

基于包含乡村居民点的网格数据计算得到的莫兰指数为 0.457, z 值为 27.182, 莫兰指数在 0.001 水平上是显著的,说明长白山地区乡村聚落格局在空间上存在显著的自相关关系,即表现出明显的空间集聚,这也进一步说明在考察其影响因素建模过程中,应该应用空间回归模型以有效规避自相关效应对各个参数的影响。

2.2 长白山地区乡村聚落空间格局分布的影响因素

2.2.1 空间回归模型结果与分析 多元线性回归结果显示 Wald 统计值和 LR 均在 0.01 水平上显著,表明模型存在明显的空间自相关效应,需要应用空间回归模型,且 LM-lag 和 LM-Error 以及 RobustLM-Lag 和 RobustLM-Error 均在 0.01 水平上显著,表明倾向于使用空间杜宾模型或者空间杜宾误差模型。经过综合对比各空间回归模型各类统计量(表 2),空间杜宾误差模型(SDEM)具有最低的 AIC 值和最高的 Log likelihood 值和拟合优度 R^2 ,因此选取其作为最优模型进行分析,各参数结果如表 3 所示。

表 2 各空间回归模型统计量

Table 2 Statistics of spatial regression models

参数	AIC	Log likelihood	R^2
SAR	6344	-3162.01	0.4546
SEM	6142	-3060.95	0.5250
SDM	6121	-3043.25	0.5365
SDEM	6107	-3036.85	0.5405

模型结果显示耕地面积(X_7)与乡村居民点数量具有显著的正向关系,且系数达到了 1.676,在所有的

变量中对居民点数量的影响最大,表明耕地作为传统农业社会中最为重要的资源对乡村聚落的形成及演化发挥着决定性作用。长白山地区以山地和丘陵为主,耕地资源相对有限且更为宝贵,外来移民在进行居住地选择时,首先要考虑的是居住地周围是否有足够的可供垦殖的耕地。随着耕地开垦的增加,能够承载的人口也相应地增多,进而会在周边建设更多的居民点并伴随更多的移民定居,从而形成乡村居民点的聚集式分布。此外,平均海拔高度(X_1)与乡村居民点数量具有显著的负向相关关系,系数为-0.857,这与其他区域的相关研究结论具有一致性^[2,22]。

表 3 乡村居民点影响因素空间杜宾误差模型(SDEM)评估结果

Table 3 Results of Spatial Durbin Error Model (SDEM) on driving factors of rural settlements

变量	系数	标准误差	Z 值	概率值
Intercept	3.405	0.127	26.790	0.000
X_1	-0.857	0.171	-5.010	0.000
X_2	0.075	0.112	0.669	0.504
X_3	0.019	0.102	0.187	0.852
X_4	-0.002	0.085	-0.023	0.982
X_5	-0.235	0.275	-0.856	0.392
X_6	-0.145	0.131	-1.110	0.267
X_7	1.676	0.090	18.620	0.000
Lag. X_1	0.575	0.220	2.620	0.009
Lag. X_2	0.054	0.180	0.301	0.764
Lag. X_3	-0.065	0.171	-0.377	0.706
Lag. X_4	0.041	0.151	0.276	0.782
Lag. X_5	-0.403	0.306	-1.314	0.189
Lag. X_6	-0.351	0.199	-1.761	0.078
Lag. X_7	-0.682	0.170	-4.011	0.000
λ	0.619	0.025	24.890	0.000

随着海拔高度的升高,其平均气温、风力风速等气象条件都趋向不利于人类居住,耕地的粮食单产也倾向于降低,能承载的人口相应减少,且高海拔对于居民点的建设和拓展、居民的对外联系、生活物资的采购等都会产生显著影响,因此居民定居地的选择会首先倾向于区域中海拔较低的地点。模型中的坡度、与道路、河流、城市以及建制镇的距离等因素均没有表现出显著的相关关系,可能的原因有两点:第一,由于长白山地区的居民点多数是在近现代时期由外来移民迁徙、定居和扩展演化逐渐形成的,当时居民的农业生产和生存能力、农田水利开发能力、道路运输能力、居民点的建设能力等都已经达到了传统农业社会中比较先进的水平,传统的坡度因素以及区位因素等对于居民点选择的限制能力有一定程度的弱化,因而造成这些条件的变化对于居民点数量分异的解释力不强的情况。另

一个原因可能是这些因素和居民点分异并不是线性的关系,因此采用线性的空间回归方程对于这种关系的探测结果不显著。应用地理探测器的方法则可以探测出这种关系,相关的研究详见后文。

SDEM 模型还对各解释变量的空间滞后效应与乡村居民点数量的关系进行了评估,与空间杜宾模型(SDM)需要进一步计算直接效应和间接效应的要求不同,SDEM 的解释变量空间滞后效应的系数可以直接用来解释其与因变量的关系和作用方向。结果显示,同样只有海拔高度的空间滞后效应(Lag, X_1)和耕地面积的空间滞后效应(Lag, X_7)与因变量存在显著相关关系,这进一步说明了这两个因素对于乡村聚落分布格局影响的决定性作用。但值得注意的是,这两个变量的系数分别为 0.575 和 -0.682,系数的方向与各自对应的解释变量是相反的,这表明邻域之间可能存在某种“推拉”效应,即相邻区域内的海拔高度会对本区域内居民点数量带来显著的正向影响,可能的解释是若邻域的海拔高度较高会使得居民在选择定居点时倾向于向较低的周边区域拓展,从而有利于本区域居民点的集聚,反之亦然;耕地面积空间滞后的系数解释是类似的,即周边邻域耕地面积较多可能会对本区域居民点的建设和演化产生某种“吸引”,从而造成周边区域耕地面积与本区域居民点数量呈现出某种负向关系。

此外,回归模型的空间误差效应(λ)的系数为 0.618 8,且在 0.001 的水平上是显著的,表明区域间的空间自相关还可能是由于存在某些难以度量的、跨区变量的存在所致的残差空间自相关而形成的,这些因素可能包括区域内不同的民族和文化因素,如长白山地区不仅有汉族居民,还分布有数量较多的朝鲜族、满族等少数民族居民^[28-29],研究表明相同民族或文化的居民点往往倾向于集中分布并形成一定范围的民族聚居区或文化区^[10],而长白山地区的多元民族和文化可能也是其居民点格局的影响因素。再比如土壤质量的分异、社会经济分区等不易获取及度量的因素也可能造成居民点数量空间自相关问题的产生。

2.2.2 地理探测器结果与分析 应用地理探测器对各影响因子与居民点数量的关系进行探测,表征各因

子对居民点数量分异解释能力的 q 值结果如表 4 所示。结果表明所有的因子的 q 值均在 0.001 水平上显著,这说明这些因子均对居民点数量的空间分异具有显著的解释力。其中,耕地数量的 q 值达到了最高的 0.209 9,这与多元回归模型的结论一致,进一步说明了耕地资源对乡村聚落的形成与演化具有较大的影响。多元回归模型中另一个具有显著性解释力的因素海拔高度的 q 值为 0.071 6,虽然值不是很高,但也表明其对于乡村居民点的空间分布是有显著关联的。除了这两个因子与乡村居民点关系得到了进一步验证以外,研究结果也证实了其他几个因子与乡村居民点的空间分异也是有一定的关联的。从其他几类因子的 q 值上看,与最近建制镇的平均距离以及与最近城市的平均距离的 q 值分别为 0.157 9,0.111 9,表明这两类区位因子对于乡村聚落的分布格局也是有一定影响的。由于各个城镇居民点通常是在区域中较早形成的,并逐步演化成为一定范围内的物资、贸易、信息等的交换中心,在条件允许的情况下,新的乡村聚落通常会选择距离城镇居民点较近的区位。而与最近道路、河流的距离和地形坡度也被证实了与乡村聚落的分布存在关联,但关联程度均较低,进一步证实了,对农业技术条件相对成熟的移民来说,传统的交通运输条件、水源条件、地形坡度等对其居民点选址的影响并不大,也可能是跟长白山地区地形坡度起伏并不是特别剧烈以及降水相对较为充裕有关。

地理探测器还对各因子的交互作用进行了探测,结果表明任意两个因子的交互作用都增加了对于乡村聚落居民点空间分异的解释力,这表明各因子在乡村聚落居民点的形成过程中发挥着协同的作用,换言之,居民在居民点的选址上通常是综合多个条件来进行的。具体来看,交互作用最强的因子组合是 $X_7 \cap X_5$,即耕地面积和与距城市的距离, q 值达到了 0.329 3。此外,另外两个 q 值超过 0.3 的因子组合分别是 $X_7 \cap X_6$ 和 $X_7 \cap X_1$,分别为 0.319 1,0.304 6。这表明耕地面积因子、与城市及乡镇的距离因子和海拔高程因子对于长白山地区乡村居民点空间格局的形成具有综合性的解释作用,也进一步彰显了耕地规模所具有的基础决定性的作用。

表 4 各因子地理探测器 q 值

Table 4 The q values of geographic detection of the driving factors

影响因子	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
q 值	0.0716***	0.0211***	0.0545***	0.0184***	0.1119***	0.1579***	0.2099***

注:***表示在 0.001 水平上显著。

3 结论和讨论

清末以来,东北地区的土地开发以及人口规模结构等经历了较为剧烈的变化^[28],作为东北山区的典型代表,长白山地区的人口和乡村聚落格局特征是在多种自然和人文因素共同作用下形成的,探究其格局和机理对理解高强度大规模移民背景下中高纬度山区乡村聚落的形成过程具有参考价值。综合利用核密度分析、空间自相关分析、空间回归分析以及地理探测器等方法,本研究发现,长白山地区乡村聚落分布格局呈现出明显的集聚性分布特征,围绕各城市和重点城镇,形成了东北和西南两大核密度高值区,基于格网的乡村居民点数量表现出显著的空间自相关。耕地数量和高程对乡村居民点的分布格局具有最为显著的影响,且与相邻区域间具有某种“推拉”效应,存在某些难以度量的或未被识别的潜在变量促进了乡村聚落数量的空间自相关,如文化因素、土壤质量、社会经济因素等。此外,与县级以上城市、建制镇、主要交通线、主要河流的距离以及地形坡度等因素同样对乡村居民点的格局产生影响,且各因素交互增强,共同影响了长白山地区乡村聚落格局的形成。长白山地区的人口构成以移民为主,研究表明在传统农业社会后期,移民在山区乡村居民点选址和扩展的过程中,更多的会关注该区域周边的耕地资源和高程等因素,由于农业发展水平、建设和交通运输能力的提高,地形坡度和区位等因素的影响力有一定程度的弱化。

空间回归杜宾模型(SDEM)既能有效规避空间自相关问题对模型各因子参数的影响,也可度量耕地和高程两个自变量空间滞后项的参数,同时证实了潜在未知变量影响的存在,且计量结果能够得到一定程度的合理解释,这表明该方法对于乡村聚落的研究是有一定适用性的。因数据的限制,无法开展长白山地区乡村聚落的多年间演变过程分析,对经济社会和文化等影响因素的分析也有待进一步加强,虽然模型中通过空间误差效应的引入一定程度上规避了这些潜在变量对模型的影响,但在详细数据可获得的情况下展开深入的分析仍是十分必要的,这也为未来的研究提供了方向。

参考文献(References):

- [1] 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.
- [2] 周扬,黄晗,刘彦随.中国村庄空间分布规律及其影响因素[J].地理学报,2020,75(10):2206-2223.
Zhou Y, Huang H, Liu Y S. The spatial distribution characteristics and influencing factors of Chinese villages[J]. Acta Geographica Sinica, 2020,75(10):2206-2223.
- [3] 曾山山,周国华,肖国珍,等.地理学视角下的国内农村聚居研究综述[J].人文地理,2011,26(2):68-73.
Zeng S S, Zhou G H, Xiao G Z, et al. A review of rural settlements from the perspective of geography[J]. Human Geography, 2011,26(2):68-73.
- [4] 杨忍,刘彦随,龙花楼,等.中国村庄空间分布特征及空间优化重组解析[J].地理科学,2016,36(2):170-179.
Yang R, Liu Y S, Long H L, et al. Spatial distribution characteristics and optimized reconstructing analysis of rural settlement in China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2016,36(2):170-179.
- [5] 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.
- [6] 黄亚平,郑有旭.江汉平原乡村聚落形态类型及空间体系特征[J].地理科学,2021,41(1):121-128.
Huang Y P, Zheng Y X. The rural settlement morphological types and spatial system characteristics in the Jianghan Plain[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021,41(1):121-128.
- [7] 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.
- [8] 段小薇,李小建.山区县域聚落演化的空间分异特征及其影响因素:以豫西山地嵩县为例[J].地理研究,2018,37(12):2459-2474.
Duan X W, Li X J. Spatial differentiation and its influencing factors of settlements evolution in mountainous counties: A case study of Songxian county in western Henan province[J]. Geographical Research, 2018,37(12):2459-2474.
- [9] 李琛,吴映梅,高彬嫫,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.
- [10] 刘志林, 丁银平, 角媛梅, 等. 中国西南少数民族聚居区聚落分布的空间格局特征与主控因子分析: 以哈尼梯田区为例[J]. 地理科学进展, 2021, 40(2): 257-271.
Liu Z L, Ding Y P, Jiao Y M, et al. Spatial patterns and controlling factors of settlement distribution in ethnic minority settlements of Southwest China: A case study of Hani terraced fields[J]. Progress in Geography, 2021, 40(2): 257-271.
- [11] 李静, 张平宇, 郭蒙. 吉林省村域尺度下居民点空间分布特征及优化重组模式[J]. 地理科学, 2021, 41(5): 842-850.
Li J, Zhang P Y, Guo M. Spatial distribution and optimized reconstructing mode of rural settlement at the village scale of Jilin Province[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(5): 842-850.
- [12] 杨忍, 罗秀丽. 发展转型视域下的乡村空间分化、重构与治理研究进展及展望[J]. 热带地理, 2020, 40(4): 575-588.
Yang R, Luo X L. Progress and prospects in rural space diversification, reconstruction, and governance from a development perspective [J]. Tropical Geography, 2020, 40(4): 575-588.
- [13] 任平, 洪步庭, 刘寅, 等. 基于 RS 与 GIS 的农村居民点空间变化特征与景观格局影响研究[J]. 生态学报, 2014, 34(12): 3331-3340.
Ren P, Hong B T, Liu Y, et al. A study of spatial evolution characteristics of rural settlements and influences of landscape patterns on their distribution using GIS and RS [J]. Aata Ecologica Sinica, 2014, 34(12): 3331-3340.
- [14] 魏佳轩, 程武学, 王永祥, 等. 巴中市乡村聚落空间分布特征及影响因素[J]. 水土保持研究, 2022, 29(4): 285-291.
Wei J X, Cheng W X, Wang Y X, et al. Spatial distribution characteristics and influencing factors of rural settlements in Bazhong city[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(4): 285-291.
- [15] 刘晓清, 毕如田, 高艳. 基于 GIS 的半山丘陵区农村居民点空间布局及优化分析: 以山西省襄垣县为例[J]. 经济地理, 2011, 31(5): 822-826.
Liu X Q, Bi R T, Gao Y. The analysis of spatial distribution and optimization on rural settlement in upland half a mountainous using GIS technology[J]. Economic Geography, 2011, 31(5): 822-826.
- [16] 马晓蓉, 查小春. 秦巴山区乡村聚落空间格局演变及影响因子: 以陕西宁强县为例[J]. 山地学报, 2020, 38(5): 726-739.
Ma X R, Zha X C. Spatial structure evolvement and impact factors of rural settlements in the Qinba mountain area: A case study of Ningqiang county in Shanxi province, China[J]. Mountain Research, 2020, 38(5): 726-739.
- [17] 李诚固. 吉林地理[M]. 北京: 北京师范大学出版社, 2010.
Li C G. Geography of Jilin[M]. Beijing: Beijing Normal University Press, 2010.
- [18] 曾早早, 方修琦, 叶瑜. 基于聚落地名记录的过去 300 年吉林省土地开垦过程[J]. 地理学报, 2011, 66(7): 985-993.
Zeng Z Z, Fang X Q, Ye Y. The process of land cultivation based on settlement names in Jilin province in the past 300 years[J]. Acta Geographica Sinica, 2011, 66(7): 985-993.
- [19] 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. Spatial distribution characteristics and influencing factors of rural settlements in Guangdong province based on natural control factors and road accessibility [J]. Acta Geographica Sinica, 2017, 72(10): 1859-1871.
- [20] 关中美, 王同文, 职晓晓. 中原经济区传统村落分布的时空格局及其成因[J]. 经济地理, 2017, 37(9): 225-232.
Guan Z M, Wang T W, Zhi X X. Temporal-spatial pattern differentiation of traditional villages in central plains economic region [J]. Economic Geography, 2017, 37(9): 225-232.
- [21] 郑文升, 姜玉培, 李孝环, 等. 公安县农村居民点用地分布影响因子评价: 基于 GWR 的空间异质性分析[J]. 人文地理, 2015, 30(5): 71-76.
Zheng W S, Jiang Y P, Li X H, et al. Factors influence evaluation of the distribution of rural residential land in Gonggan county: A spatial heterogeneity study based on geographically weighted regression [J]. Human Geography, 2015, 30(5): 71-76.
- [22] 杨忍, 刘彦随, 龙花楼, 等. 基于格网的农村居民点用地时空特征及空间指向性的地理要素识别: 以环渤海地区为例[J]. 地理研究, 2015, 34(6): 1077-1087.
Yang R, Liu Y S, Long H L, et al. Spatial-temporal characteristics of rural residential land use change and spatial directivity identification based on grid in the Bohai Rim in China[J]. Geographical Research, 2015, 34(6): 1077-1087.
- [23] 简钰清, 龚建周, 罗雅红, 等. 广东省乡村聚落用地演变及其主控因子分析[J]. 生态与农村环境学报, 2021, 37(2): 155-163.
Jian Y Q, Gong J Z, Luo Y H, et al. Analysis on the land evolution of rural settlement and its main control factors in Guangdong province[J]. Journal of Ecology and Rural Environment, 2021, 37(2): 155-163.

- 务价值时空变化及权衡协同关系[J].地理科学,2022,42(7):1229-1238.
- Wen Y L, Zhang X L, Wei J H, et al. Temporal and spatial variation of ecosystem service value and its tradeoffs and synergies in the peripheral region of the Poyang Lake[J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2022, 42(7):1229-1238.
- [27] 杨强强,徐光来,李爱娟,等.青弋江流域生态系统服务评估与权衡研究[J].生态学报,2021,41(23):9315-9327.
- Yang Q Q, Xu G L, Li A J, et al. Evaluation and trade-off of ecosystem services in the Qingyijiang River Basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2021, 41(23):9315-9327.
- [28] Das M, Das A. Dynamics of Urbanization and its impact on Urban Ecosystem Services (UESs): A study of a medium size town of West Bengal, Eastern India[J]. *Journal of Urban Management*, 2019, 8(3):420-434.
- [29] Gong J, Liu D Q, Zhang J X, et al. Tradeoffs/synergies of multiple ecosystem services based on land use simulation in a mountain-basin area, Western China [J]. *Ecological Indicators*, 2019, 99:283-293.
- [30] 陈相标,丁文荣.石林喀斯特岩溶区生态系统服务时空演变及权衡协同关系[J].水土保持研究,2023,30(2):285-293.
- Chen X B, Ding W R. Spatial-temporal evolution and trade-off synergy relationships of ecosystem services in Karst Area of Shilin[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2023, 30(2):285-293.
- [31] 郭椿阳,高尚,周伯燕,等.基于格网的伏牛山区土地利用变化对生态服务价值影响研究[J].生态学报,2019,39(10):3482-3493.
- Guo C Y, Gao S, Zhou B Y, et al. Effects of land use change on ecosystem service value in Funiu Mountain based upon a grid square[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, 39(10):3482-3493.
- [32] 邓元杰,侯孟阳,谢怡凡,等.退耕还林还草工程对陕北地区生态系统服务价值时空演变的影响[J].生态学报,2020,40(18):6597-6612.
- Deng Y J, Hou M Y, Xie Y F, et al. Impact of the Grain for Green Project on the temporal and spatial evolution of ecosystem service value in northern Shaanxi [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2020, 40(18):6597-6612.
- [33] 杨光宗,吕凯,李峰.基于格网尺度的南昌市土地利用变化及生态系统服务价值时空相关性分析[J].中国土地科学,2022,36(8):121-130.
- Yang G Z, Lv K, Li F. Spatial and temporal correlation analysis of land use change and ecosystem service value in Nanchang city based on grid scale[J]. *China Land Science*, 2022, 36(8):121-130.
- [34] 张海铃,叶长盛.环鄱阳湖城市群生态保护重要性评价及其空间格局[J].水土保持通报,2023,43(1):224-234.
- Zhang H L, Ye C S. Importance evaluation of ecological protection and spatial pattern of urban agglomeration around Poyang Lake [J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2023, 43(1):224-234.
- ~~~~~
- (上接第390页)
- [24] 李全林,马晓冬,沈一.苏北地区乡村聚落的空间格局[J].地理研究,2012,31(1):144-154.
- Li Q L, Ma X D, Shen Y. Analysis of spatial pattern of rural settlements in northern Jiangsu[J]. *Geographical Research*, 2012, 31(1):144-154.
- [25] 曲衍波,姜广辉,张佰林,等.山东省农村居民点转型的空间特征及其经济梯度分异[J].地理学报,2017,72(10):1845-1858.
- Qu Y B, Jiang G H, Zhang B L, et al. Spatial characteristics of rural residential land transition and its economic gradient differentiation [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2017, 72(10):1845-1858.
- [26] 姜磊.空间回归模型选择的反思[J].统计与信息论坛,2016,31(10):10-16.
- Jiang L. The choice of spatial econometric models reconsidered in empirical studies[J]. *Statistics & Information Forum*, 2016, 31(10):10-16.
- [27] 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.
- [28] 李为,张平宇,宋玉祥.清代东北地区土地开发及其动因分析[J].地理科学,2005,25(1):7-16.
- Li W, Zhang P Y, Song Y X. Analysis on land development and causes in Northeast China during Qing dynasty [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2005, 25(1):7-16.
- [29] 张洪岩,王蕾,刘德赢.19世纪以来中国朝鲜族人口迁移分布及聚居区形成研究[J].地理科学,2011,31(9):1078-1083.
- Zhang H Y, Wang L, Liu D Y. Migration and distribution of Chinese Korean nationality since the beginning of the 19th century [J]. *Scientia Geographica Sinica*, 2011, 31(9):1078-1083.