

# 山区县人口分布的时空特征及主要影响因素分析 ——以河南省嵩县为例

罗庆<sup>1,2</sup>, 王冰冰<sup>1</sup>, 樊新生<sup>1,2</sup>, 李小建<sup>3,1,2\*</sup>

(1. 河南财经政法大学城乡协调发展河南省协同创新中心/资源与环境学院, 郑州 450046;

2. 河南省城乡空间数据挖掘院士工作站, 郑州 450046; 3. 河南大学黄河文明与可持续发展研究中心, 河南 开封 475004)

**摘要:**城镇化过程中山区人口分布的时空特征及其变化规律对协调人地关系和实施乡村振兴具有十分重要的意义。论文基于河南省洛阳市3次农业普查数据,选取嵩县318个村域单元为研究对象,综合运用GIS空间分析和回归方法,分析该县域人口分布的时空演变特征及其影响因素。结果表明:①嵩县人口分布在空间上极不均衡,高密度区集聚于交通干线附近和地势较为平坦的地区,并随时间推移由点状集聚分布向片状和条带状集聚分布转变;②人口增长总体上以洛栾高速为界,西北人口增长速度快、东南人口增长速度慢,其中高速增长区主要集中于县城及洛栾高速西北部少数乡镇所在地;③人口增长中心位于县城和陆浑水库周围的乡镇所在地,南部深山区乡镇有望形成新的人口集聚地;④县域人口分布格局是自然地理条件、地理区位和公共服务设施共同作用的结果。其中,县城可达性对人口分布影响最大,地形起伏度次之,耕地面积和中学可达性较小,但不同因素的影响具有时空异质性。上述结论意味着,山区县可在充分考虑自然条件和资源禀赋差异的基础上,利用城镇化布局、基础设施建设和公共服务设施调整来促进县域人口分布格局的优化。

**关键词:**人口分布;时空演变;山区;嵩县

中国是一个多山的国家,山区面积约占国土总面积的70%,山区县域单元约占全国县域单元数量的一半<sup>[1]</sup>。过去20 a里,中国城镇化的快速发展、交通设施的大幅改善和公共服务设施的调整使得人口分布格局发生了较大变化。山区特殊的自然环境、社会经济状况及其发展政策使其人口分布格局的变化更为明显。一方面,山区非农就业活动和教育医疗等设施向城镇的高度集中,吸引了农村人口向城镇大规模迁移,导致很多乡村聚落人口大幅减少甚至出现某些聚落消失的现象。另一方面,山区

较为恶劣的自然条件和搬迁扶贫政策的实施,也促使人口向城镇和主要交通沿线地区集聚。在此背景下,探索山区人口的分布特点、规律及背后的演变机制对促进山区新型城镇化发展、协调人地关系和实现乡村振兴都具有十分重要的意义。

自从胡焕庸先生提出中国人口分布的“*瑗瑗—腾冲*”线以来<sup>[2]</sup>,地理学者尝试从不同尺度探讨人口分布特征及其影响因素,并取得较为丰硕的成果<sup>[3-8]</sup>。在宏观尺度上,主要从省级和县级尺度揭示人口分布格局及其空间分异特征,强调人口分布与自然条

收稿日期:2019-05-30;修订日期:2019-09-15。

**基金项目:**国家自然科学基金项目(41771141, 41971223, 41771158);教育部人文社会科学重点研究基地重大项目(16JJD770021);河南省教育厅人文社会科学研究项目(2018-ZZJH-013);河南财经政法大学信和·黄廷方青年学者资助计划。[**Foundation:** National Natural Science Foundation of China, No. 41771141, 41971223 and 41771158; Major Projects of the Key Research Base of Humanities and Social Sciences of the Ministry of Education, No. 16JJD770021; Humanities and Social Sciences Research Project of Henan Education Department, No. 2018-ZZJH-013; NG Teng Fong / Sino Outstanding Youth Fund of HUEL.]

**第一作者简介:**罗庆(1981—),四川合江人,博士,教授,主要研究方向为大数据与城乡发展。E-mail: luqing518@163.com

**\*通信作者简介:**李小建(1954—),男,河南孟津人,教授,博士生导师,国际欧亚科学院院士,研究方向为经济地理学。

E-mail: xjli@henu.edu.cn

**引用格式:**罗庆,王冰冰,樊新生,等.山区县人口分布的时空特征及主要影响因素分析:以河南省嵩县为例[J].地理科学进展,2020,39(7):1073-1084. [Luo Qing, Wang Bingbing, Fan Xinsheng, et al. Spatio-temporal change of population distribution and its influencing factors in a poor mountainous county: A case study of Song County, Henan Province. Progress in Geography, 2020, 39(7): 1073-1084.] DOI: 10.18306/dlkxjz.2020.07.001

件、资源禀赋、交通基础设施等因素有关<sup>[9-11]</sup>。如封志明等<sup>[12]</sup>从县域尺度分析地形起伏度与人口分布的关系;方瑜等<sup>[13]</sup>衡量了县域尺度上土地农业生产力与人口分布的关系;王振波等<sup>[13]</sup>探讨了中国县域可达性与人口分布的关系。随着乡镇尺度普查数据的公开发布,少数学者尝试从乡镇尺度揭示人口分布特征,并从地形地貌、土地承载力、经济发展等方面对人口分布的影响进行分析<sup>[15-16]</sup>。如柏中强等<sup>[17]</sup>选取地形起伏度、路网密度、水网密度及夜间灯光(表征经济发展水平)等4个影响因子,探讨其与人口分布的关系;王超等<sup>[18]</sup>利用随机森林方法量化了夜间灯光指数、人造地表指数、路网密度、工业总产值、GDP和多年平均气温等因素与人口密度的关系。此外,还有个别人口学者从国家和省级尺度探讨人口政策对人口增长和人口分布的影响<sup>[19-20]</sup>。总体来看,随着统计技术的发展和从小尺度数据的公开发布,人口分布研究的尺度逐渐趋小化,研究方法逐渐趋于量化。然而,由于人口空间分布具有典型的尺度特征,地理因素在不同尺度上对人口分布的作用机理也会有所不同。村域作为中国人口统计的基本单元,现有研究极少对村域尺度人口的时空分异及其背后的机制进行分析。同时,山区作为一种特殊的地域类型,人口分布具有更多的独特性和异质性<sup>[21-23]</sup>。鉴于此,本文以河南省嵩县318个村域

单元为研究对象,基于洛阳市3次农业普查数据及其他辅助数据分析嵩县人口分布的时空演变特征,挖掘微观尺度上人口分布的主要影响因素,为山区人地关系的协调和乡村振兴战略的实施提供决策参考。

## 1 研究区域、方法与数据

### 1.1 研究区概况

嵩县位于豫西山区(图1),处于中国地形第二阶梯向第三阶梯转化的地带,是秦巴山区国家连片特困地区重点县之一。县城距省会郑州220 km,距洛阳市区80 km,县域内主要交通干线有洛栾高速、省道S247、S322、S325和国道G311。地势自东北向西南逐渐隆起,垂直高差达1966.6 m,其中深山区占95%,浅山丘陵区占4.5%,平川区占0.5%。总面积3008.9 km<sup>2</sup>,辖16个乡镇、310个行政村、8个社区和16个林场(林场无人口数据,不作为本研究对象)。

1996—2016年间嵩县人口增加12.33万,2016年达到60.81万,年均增长率为1.27%。其中,1996—2006年增加1.29万人,年均增长率为0.27%;而2006—2016年增加11.04万人,年均增长率达2.22%;2006—2016年间人口增加速度明显高于1996—2006年。从空间分布看,嵩县人口分布不

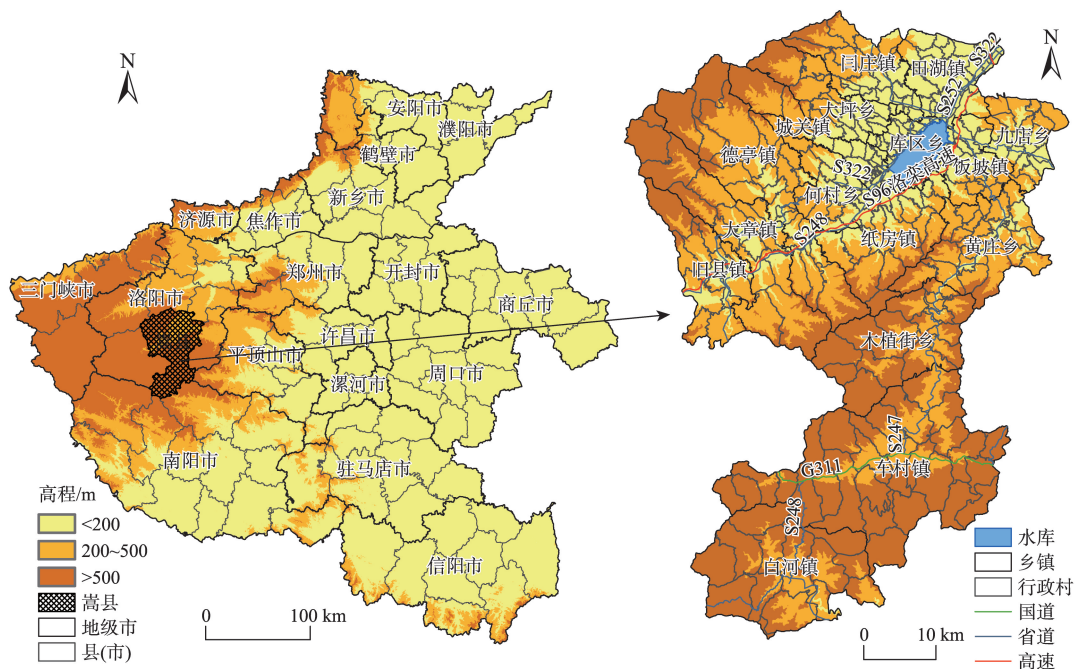


图1 研究区位置和范围

Fig.1 Location and scope of the study area

均衡、增长速率差异大。2016年,嵩县人口数量最多的村域是城关镇西关社区,人口数量为12591人,人口数量最少的是纸房镇西沟村,人口数量231人,前者是后者的54.5倍;1996—2016年,人口增长速度最快的村域是城关镇北店街社区,年均增长速度为19.06%;人口增长速度最慢的村域是城关镇陶村,年均增长速度为-1.61%,比前者低20个百分点。同时,嵩县存在生态环境脆弱的村庄搬迁等现象。因此,以嵩县为例研究山区人口的分布特征及其影响因素具有代表性。本文以嵩县318个村域单元为研究对象,选取1996、2006和2016年3个时间点,综合分析不同阶段嵩县人口分布特征,探讨其不均衡增长的影响因素。

## 1.2 研究方法

### 1.2.1 全局自相关分析

全局空间自相关的值用来描述某种属性在研究区域内的聚集特点和平均聚集程度<sup>[24]</sup>。本文选取常用的Moran's  $I$ 判断嵩县人口在空间上是否存在聚集特性,揭示人口分布的空间依赖程度。Moran's  $I$ 的取值范围在-1~1之间,当Moran's  $I$ 介于-1~0之间,表示存在负相关,值越小,相关性越大;当Moran's  $I$ 介于0~1之间,表示存在正相关,值越大,相关性越大;当Moran's  $I$ 等于0时,表示不存在空间相关性。计算公式如下:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (X_i - \bar{X})(X_j - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (1)$$

式中: $n$ 为样本数; $X_i$ 为第*i*个村域的人口; $X_j$ 为第*j*个村域的人口; $\bar{X}$ 为各村域人口的平均值; $W_{ij}$ 为空间权重矩阵中的元素,本文所采用的空间权重为Queen空间权重矩阵。

### 1.2.2 地理加权回归模型

传统线性回归模型是对自变量参数进行“全局”的估计,得到的结果是影响因子的作用方向性。地理加权回归模型(geographically weighted regression, GWR)作为最小二乘法(ordinary least squares, OLS)的扩展,在其基础上考虑空间位置信息,其回归系数不再是利用全域或者平均值获取的假定常数,而是以邻近观测值的子样本数据信息进行局域回归估计而得<sup>[25]</sup>,同时回归系数随着研究单元空间地理位置的变化而变化。对于嵩县人口分布而言,由于其内部自然环境、公共设施可获得性

和交通状况差异较大,使得不同因子表现出的影响不同。本文将地理加权回归模型运用于人口分布研究,目的是探究同一影响因素对不同地区人口分布影响的空间差异,具体的GWR模型可描述如下:

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{k=1}^n \beta_k(u_i, v_i) x_{ik} + \varepsilon_i \quad (2)$$

式中: $y_i$ 为*i*村人口密度的对数; $(u_i, v_i)$ 为*i*村的地理中心坐标; $\beta_k(u_i, v_i)$ 是*i*村第*k*个因子的回归参数; $x_{ik}$ 为因子 $x_k$ 在*i*村的值; $\varepsilon_i$ 为*i*村的随机误差项。

## 1.3 数据来源与处理

### 1.3.1 数据来源

本研究选取嵩县1996、2006和2016年数据进行分析。村域常住人口数据来源于洛阳市嵩县所进行的3次农业普查;相应年份的道路数据来源于黄河流域1:100万交通数据库和《嵩县交通图》的矢量化,包括高速公路、国道、省道、铁路和县乡道;小学、初中地理分布数据由嵩县教育局提供;DEM数据来源于ASTER GDEM,空间分辨率为30 m;土地覆盖数据来源于中国科学院资源环境数据中心(<http://www.resdc.cn>),空间分辨率为30 m。

### 1.3.2 指标选择和数据处理

自然地理条件会影响村域的人口承载力、居住适宜性<sup>[9,12]</sup>,公共服务设施的分布会影响家庭生活质量和福利水平<sup>[11]</sup>,而地理区位会影响家庭的非农就业机会、市场机会等<sup>[14]</sup>,进而影响人口分布。鉴于此,本文基于相关研究成果和数据的可获得性,从自然地理条件、地理区位、公共服务获得机会等方面选取7个影响人口分布的主要因素(表1)。其中,以村域地形起伏度、地形坡度和耕地面积表征村域的自然条件;以村域居民对小学和中学的可达性表征公共服务的可获得性;以县城和乡镇的可达性表征村域居民对非农就业活动的可获得性和市场的可进入性(表1)。对地形起伏度和可达性的计算方法如下。

(1) 本文地形起伏度的计算主要分为2步。第一步:确定提取地形起伏度的最佳分析窗口;第二步:运用计算适宜人口居住的地形起伏度方法计算出所用的地形起伏度。提取地形起伏度的关键在于最佳分析窗口的确定,本文采用均值变点法确定最佳分析窗口,均值变点法是根据不同窗口下平均地形起伏度与对应窗口面积之间的关系确定最佳分析窗口<sup>[26]</sup>,对数据中恰有一个变点的计算最有

表1 村域指标的选择和描述

Tab.1 Selection and description of indicators at the village level

变量类型	编号	指标名称	指标含义
被解释变量	Y	人口密度	村域常住人口除以村域土地面积
解释变量			
自然条件	X <sub>1</sub>	地形起伏度	用村域海拔高差之比与村域非平地比例和海拔高差之乘积来衡量,表征地表切割深度和海拔高度变化,反映村域人居环境适宜性
	X <sub>2</sub>	平均坡度	村域地表坡度均值,表征地形特征及相关农业生产条件
	X <sub>3</sub>	村庄耕地面积	村域耕地面积的总量,表征村庄自然资源的丰裕程度
公共服务	X <sub>4</sub>	小学可达性	村委会到最近小学的栅格成本时间,表征村域对基本公共服务的可获得性
	X <sub>5</sub>	中学可达性	村委会到最近中学的栅格成本时间,表征村域对基本公共服务的可获得性
地理区位	X <sub>6</sub>	乡镇可达性	村委会到最近乡镇政府所在地的栅格成本时间,表征对非农就业机会和市场机会的获得程度
	X <sub>7</sub>	县城可达性	村委会到最近县政府所在地的栅格成本时间,表征对非农就业机会和市场机会的获得程度

效,基于30 m的DEM数据确定嵩县的最佳分析窗口尺度为11×11,即窗口大小为108900 m<sup>2</sup>。本文在确定的最佳分析窗口基础上,借鉴封志明等<sup>[27]</sup>提出的适宜人口居住背景下地形起伏度的计算方法,计算出嵩县各个村域地形起伏度。

(2) 可达性的计算。嵩县深山区占95%,一般计算可达性采用直线距离、缓冲区或引入引力模型,但这些方法不适应此研究区,本文采用基于栅格数据的时间成本计算方法<sup>[13]</sup>,考虑行驶1 km所需要的小时数,对栅格数据赋予时间成本,利用ArcGIS 10.5成本距离工具分别计算嵩县318个村委会到所有的小学、中学、乡镇中心和县城中心所用的时间,提取最短时间为村域小学、中学、乡镇和县城的可达时间。其中,县城可达性的计算用嵩县面数据做30 km的缓冲区,取嵩县各村村委会到嵩县县城以及嵩县周围的宜阳县、伊川县、汝阳县、南召县、栾川县和洛宁县等7个县城用时最短的时间为该村域的县城可达时间。

## 2 嵩县人口分布空间格局及其演变

### 2.1 村域人口分布格局的时空演变

根据人口密度的高低,将嵩县村域划分为高密度(人口密度高于800人/km<sup>2</sup>)、较高密度(人口密度介于501~800人/km<sup>2</sup>之间)、中密度(人口密度介于201~500人/km<sup>2</sup>之间)、较低密度(人口密度介于101~200人/km<sup>2</sup>之间)和低密度(人口密度低于100人/km<sup>2</sup>之间)5种类型。从不同类型村域数量来看,随着时间的推移,高密度村域数量逐渐增加,低密度和中低密度村域数量逐渐降低。1996年,高密度村域32个,较高密度村域52个,中密度村域98个,低密度和较低密度村域均为68个。与1996年相比,2006年

较低密度、较高密度村域分别减少15、7个,低密度、中密度和高密度村域分别增加4、10和8个(图2b);与2006年相比,2016年低密度、较低密度、中密度和高密度村域,分别减少了8、3、4和1个,高密度村域增加了16个(图2)。从空间分布来看,1996—2016年间嵩县人口密度呈现以陆浑水库为中心向外围逐渐降低的特征,并随时间推移高密度区的集聚规模和集聚程度不断增加,呈现极强的非均衡分布(图2)。具体而言,高密度区主要分布在陆浑水库西南的地区,较高密度区分布在陆浑水库西北的地区,中密度区主要沿东北—西南走向的S322省道周围分布,较低密度区分布在中密度区周围和南部车村镇,低密度区主要分布在嵩县西北以及南部地区。

### 2.2 村域人口增长的时空演变

根据人口密度的年均变化率,将嵩县村域划分为负增长(<0)、低速增长(0~1%)、中速增长(1%~2%)和高速增长(>2%)4种增长类型(图3)。从不同类型村域数量来看,1996—2016年间低速增长的村域最多(149个),高速增长村域数量最少(仅21个)。具体到2个阶段略有差异:1996—2006年低速增长村域数量最多(140个),高速增长村域最少(15个);2006—2016年低速增长村域数量仍然最多(106个),负增长的村域数量最少(55个),与前一阶段相比均大幅减少。新计划生育政策对人口增长效应开始凸显,以致后一阶段高速和中速增长的村域数量大幅增加。总的来看,1996—2016年,嵩县地区人口密度的变化经历了由负低速不均衡增长阶段到低中速不均衡增长阶段的转变,高速增长和中速增长村域数量大幅度上升,负增长和低速增长村域数量大幅度下降。从空间分布来看,1996—2016年,嵩县人口增长总体上以洛栾高速为界,呈现西北人口增长速度快、东南人口增长速度慢的格局,

其中高速增长区主要集中于县城及洛栾高速西北部的旧县、大章、库区、田湖等少数乡镇政府所在地附近。具体到2个阶段略有差异:1996—2006年间,高速增长村域较为均衡地分布于县城及主要乡镇政府附近;而2006—2016年间,高速增长村域的空间格局基本保持不变,但分布范围更广,这与该阶段新计划生育政策实施导致村庄人口出生率普遍提高有关。

### 2.3 村域人口增长潜力的类型划分

为进一步分析村域人口增长潜力,基于人口密度分类和人口增长速度分类<sup>①</sup>建立二维判断矩阵,

将村域划分为高增长潜力、较高增长潜力、中等增长潜力、较低增长潜力和低增长潜力5种类型(图4)。

高增长潜力区包括人口密度高且增长速度快、人口密度高且增长速度中等以及人口密度较高但增长速度高3种情形。该类型通常是县域人口集聚中心,并随时间推移呈空间集聚趋势。1996—2006年间,该类型所占比重为4.72%,零散分布于陆浑水库周围以及田湖、闫庄、大坪等乡镇政府所在地;2006—2016年间,高增长潜力区的数量明显增加,占比达到8.49%,空间上仍分布于陆浑水库周边,但具体区位上略微有所转移,这可能与快速城镇化过

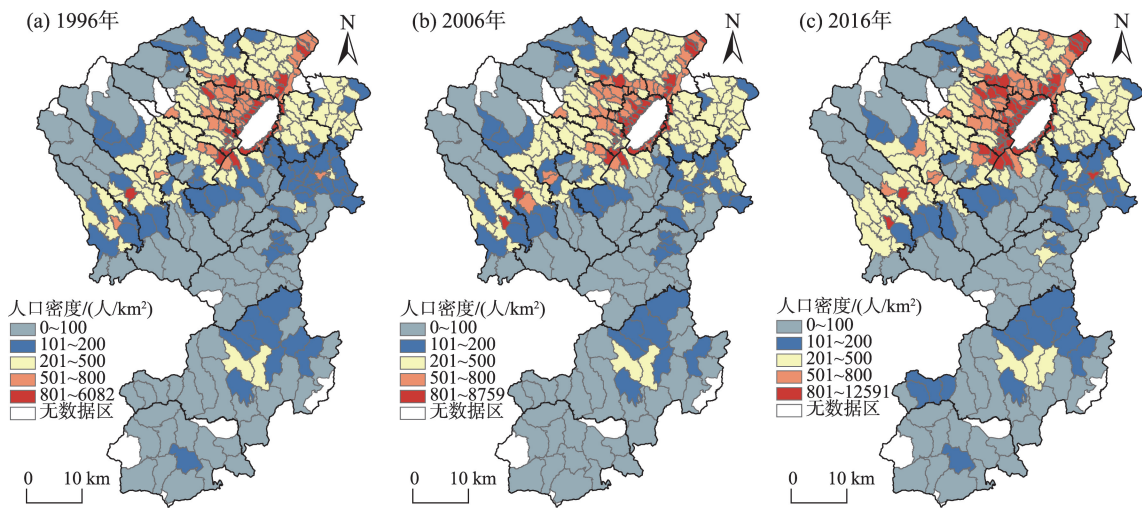


图2 1996—2016年嵩县人口密度的空间分布

Fig.2 Spatial distribution of population density in Song County, 1996-2016

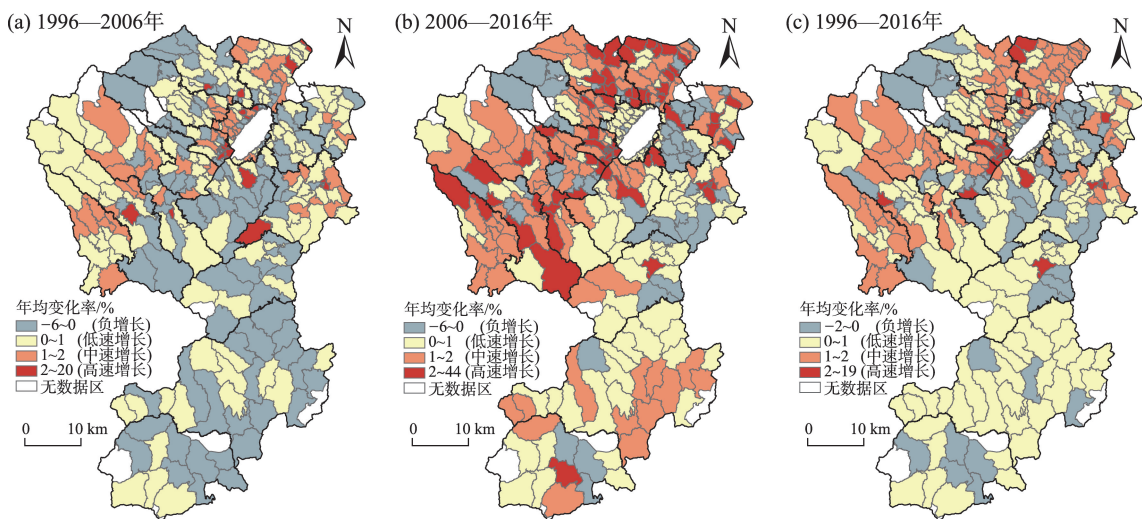


图3 1996—2016年嵩县地区人口密度年均变化率

Fig.3 Annual average change rate of population density in Song County, 1996-2016

① 从人口增长速度看,人口负增长意味着村域总人口将会减少,而低速增长意味着总人口基本保持稳定,两者都难以使一个村域演变为人口集聚中心。为分析方便,这里将人口负增长类型并入低速增长类型。

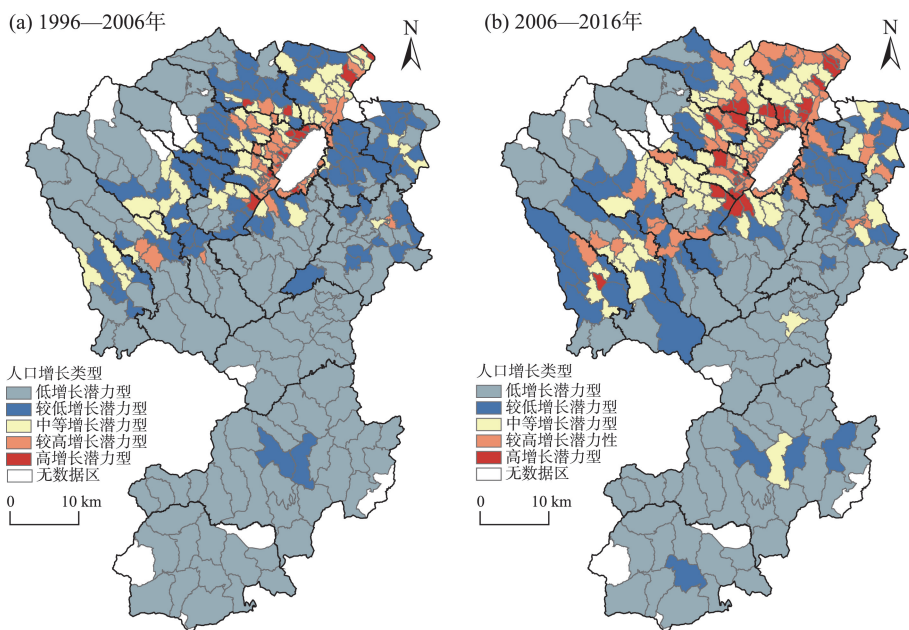


图4 1996—2016年嵩县地区人口增长类型

Fig.4 Growth type of population density in Song County, 1996-2016

程中城镇化布局 and 库区人口的迁移有关。

较高增长潜力区包括人口密度较高且增长速度较快、人口密度高且增长速度低以及人口密度中等但增长速度快3种情形。1996—2006年间,该类型区占12.89%,连片分布于高增长潜力型周围;2006—2016年间,该类型数量占比提高到20.75%,主要分布在沿东北—西南走向的S322、S248、S96、洛栾高速附近,但相比前一阶段空间分布较为分散。

中等增长潜力区包括人口密度中等且增长速度低、人口密度中等且增长速度较低以及人口密度低但增长速度快3种情形。该类型主要沿东北—西南走向的S322省道分布,但2006—2016年间南部地区的车村镇、木植街乡出现该类型,这表明人口稀疏的嵩县南部已初步形成规模小的人口集聚中心。

较低增长潜力区包括人口密度中等且增长速度较低、人口密度较低且增长速度中等以及人口密度较低且增长速度快3种情况。该类型分布较为集中,基本上都分布于东北—西南走向的S322、洛栾高速沿线地区。

低增长潜力区包括人口密度低且增长速度低、人口密度低且增长速度中等以及人口密度较低且增长速度低3种情形。该类型主要分布在嵩县西北和南部地区,由于受计划生育政策调整带来的人口普遍增长,2006—2016年间所占比重降低为30%,但分布格局基本保持不变。

### 3 嵩县地区人口分布的影响因素

#### 3.1 基于OLS模型的影响因子综合分析

借助Stata软件对表1中所选变量进行多元回归分析以探讨主要变量对人口分布影响的方向性,考虑到人口密度数量级的影响,本文选取人口密度的自然对数为因变量,7个影响因子为自变量,构建OLS模型。首先对7个影响因子进行多重共线性检验,计算方差膨胀因子(VIF),舍去共线性较大的影响因子,最终保留 $X_1$ 、 $X_3$ 、 $X_5$ 和 $X_7$ 四个影响因子,其VIF值均小于5,最终回归得到3个年份的拟合优度 $R^2$ 依次为0.651、0.686、0.577,统计结果见表2。

模型估计结果表明,1996—2016年间嵩县人口密度主要受县城可达性和地形起伏度的负向影响,耕地面积和中学可达性的正向影响,除中学可达性外其他3个因子作用方向符合预期,各因子对嵩县人口密度的影响较为显著,但随时间推移有所变化。具体而言,县城可达性的影响是先增大而后减小;地形起伏度的影响是先减小而后增大;耕地面积的影响较弱且表现为先减小后增大;中学可达性的影响与预期不一致,且2006年的系数远大于1996年和2016年。中学可达性一方面与中学数量和分布有较大关系,另一方面与交通的发展状况紧密相关,1996—2016年间嵩县这两方面均发生较大变化,因此,中学可达性对嵩县人口密度的影响需

表2 嵩县人口分布影响因素OLS模型回归结果

Tab.2 Results of OLS model of influencing factors of population distribution in Song County

年份	变量	非标准化系数	标准化系数	t	Sig	VIF
1996	X <sub>1</sub>	-5.599	-0.314	-7.452	<0.001***	1.589
	X <sub>3</sub>	0.042	0.081	1.941	0.121	1.155
	X <sub>5</sub>	0.020	0.173	3.108	<0.001***	2.771
	X <sub>7</sub>	-0.010	-0.727	-12.202	<0.001***	3.186
	常数项	6.869		77.044		
	AIC	602.710				
	R <sup>2</sup>	0.651				
2006	X <sub>1</sub>	-5.009	-0.273	-6.766	<0.001***	1.617
	X <sub>3</sub>	0.014	0.023	2.850	<0.001***	1.206
	X <sub>5</sub>	0.028	0.513	7.175	<0.001***	1.191
	X <sub>7</sub>	-0.018	-1.064	-13.970	<0.001***	1.350
	常数项	6.997		74.806		
	AIC	588.586				
	R <sup>2</sup>	0.686				
2016	X <sub>1</sub>	-7.345	-0.382	-8.217	<0.001***	1.601
	X <sub>3</sub>	0.035	0.055	1.334	<0.001***	1.263
	X <sub>5</sub>	0.007	0.056	1.117	<0.001***	1.882
	X <sub>7</sub>	-0.016	-0.530	-10.176	<0.001***	2.006
	常数项	7.040		63.034		
	AIC	711.912				
	R <sup>2</sup>	0.577				

注:\*\*\*表示在1%水平上显著。

进一步分析。

### 3.2 基于GWR模型的影响因子空间异质性分析

#### 3.2.1 空间相关性分析

使用GWR模型对嵩县人口进行空间异质性分析的前提是人口数据的分布存在空间自相关。为此,利用ArcGIS 10.5对嵩县人口密度进行空间自相关分析。1996、2006和2016年全球Moran's I值分别为0.499、0.434和0.495,且在1%的显著性水平下通过检验。结果表明,嵩县人口密度相近的地区趋于集聚,即存在空间正相关。因此,利用GWR模型进行人口密度拟合的方法是可行的。

#### 3.2.2 模型构建

利用ArcGIS 10.5分别对1996、2006和2016年嵩县村域人口密度的对数及其影响因素进行GWR模型拟合,其中模型带宽选择AICc计算方法,选择固定核宽,结果见表3。3个年份的拟合优度依次为0.794、0.793和0.781,均大于OLS模型的拟合优度(表2),显然GWR模型优于OLS模型。

在GWR模型中,每个最小空间单元都有特定的系数,为进一步比较各影响因素对嵩县人口密度影响的异质性,将3个年份的回归系数值进行四分

表3 GWR模型参数估计及检验结果

Tab.3 Parameter estimation and test results of the GWR model

模型参数	1996年	2006年	2016年
Bandwidth	13268.162	13803.511	10753.464
AICc	496.966	510.637	586.815
R <sup>2</sup>	0.794	0.793	0.781
调整后的R <sup>2</sup>	0.763	0.766	0.738

位统计分析(表4)。结果显示,所有年份县城可达性和地形起伏度的回归系数负值比例均超过90%,表明这些要素对人口密度的影响在空间上没有明显的异质性。中学可达性系数的负值比例随着时间先降低后大幅度上升,耕地面积的正负比值相差不大,表明这2个要素对嵩县人口密度的影响在空间上有一定的异质性(表4)。

#### 3.2.3 影响因素的空间分异特征

为更直观地描述各影响因素对嵩县村域人口密度作用的空间异质性,将地形起伏度、耕地面积、中学可达性和县城可达性4个因子对嵩县人口密度对数作用的空间格局进行可视化(图5)。

(1) 地形起伏度对人口分布影响的空间异质特

表4 GWR模型回归系数描述性统计结果

Tab.4 Statistical results of the GWR model coefficient values

年份	自变量	最小值	上分位	中分位	下分位	最大值	平均值	正值比/%	负值比/%
1996	$X_1$	-11.481	-7.158	-6.456	-4.326	0.343	-5.713	2.20	97.80
	$X_3$	-0.049	-0.031	-0.010	0.058	0.364	0.030	45.60	54.40
	$X_5$	-0.022	-0.001	0.007	0.011	0.044	0.007	73.90	26.10
	$X_7$	-0.011	-0.009	-0.007	-0.006	0	-0.007	0	100
2006	$X_1$	-12.281	-8.287	-7.020	-3.798	0.181	-6.077	0	100
	$X_3$	-0.073	-0.006	0.040	0.116	0.286	0.062	71.38	28.62
	$X_5$	-0.016	0.005	0.015	0.022	0.031	0.013	83.02	16.98
	$X_7$	-0.020	-0.016	-0.012	-0.008	0.003	-0.012	3.14	96.86
2016	$X_1$	-16.766	-10.671	-9.077	-4.332	1.853	-7.761	2.52	97.48
	$X_3$	-0.072	-0.028	0.012	0.125	0.328	0.052	56.29	43.71
	$X_5$	-0.064	-0.020	-0.005	0.006	0.027	-0.008	39.94	60.06
	$X_7$	-0.018	-0.013	-0.010	-0.007	0.005	-0.009	8.81	91.19

征。地形起伏度对嵩县人口分布的整体影响呈现从西北向东南逐渐减弱,但随时间推移影响较大的地区出现从西北向正北转移(图 5a~5c)。这很大程度上是由于城镇化快速推进过程中嵩县城镇化主要在东北部和北部,而城镇建设对地形起伏度变化较为敏感。城镇作为人口集聚的主要载体,显然地形起伏度变化对人口分布的影响也相应较大。南部地处伏牛山核心区,在精准扶贫项目的实施下居住环境脆弱的村域整体人口迁出较多,因此,地形条件对其人口分布影响逐渐减弱。

(2) 耕地面积对人口分布影响的空间异质特征。耕地面积对人口分布影响表现出从北部向南部逐渐增大的特征(图 5d~5f)。耕地属于山区居民的重要生计资产,但对嵩县人口分布影响的空间差异较大。位于北部的田湖镇、闫庄镇、大坪乡和城关镇等乡镇自然条件较好,但随着非农产业快速发展,农业已不再是家庭收入的主要来源,耕地面积对其人口分布的影响相对较弱。相反,农业生产条件较差的木植街乡、车村镇和白河镇等南部乡镇,家庭收入来源仍然主要依靠农业生产,耕地面积对人口分布影响较强。耕地面积对嵩县人口分布影响呈“南强北弱”的格局。

(3) 中学可达性对人口分布影响的空间异质特征。中学可达性对人口分布的影响较为复杂,但随时间推移受负向影响的村域范围不断扩大,并呈现主要公路沿线村域所受影响较小的特征(图 5g~5i)。2006年以前,中学布局调整和数量缩减影响了人们对教育设施的可获得性。1996年嵩县有53所中学,2006年全县中学缩减至24所,10 a间减少29

所,以致该阶段中学可达性对人口分布的影响较为复杂。2006年以后,中学数量基本保持稳定,并基本实现均衡布局。同时,交通基础设施的建设,大大改善了村域的出行,交通因素的交互作用增强,尤其是S248、S252和S96等交通干线的修建,沿线村域到中学的时间发生较大变化。作为其结果,主要公路附近村域的中学可达性对人口分布的影响明显减弱。

(4) 县城可达性对人口分布影响的空间异质特征。县城是一个县域中非农就业、市场等各种优势资源的集中地区,远离县城的村域享受资源辐射作用和距县城较近的村域相差较大。县城可达性对人口密度的影响呈现出以嵩县东部为中心向四周依赖性逐渐减弱的趋势,影响的最强区域经历了先扩大后缩小的变化,位置也经历了东部向中东部转移继而又转向东北部的变化(图 5j~5l)。一方面,这与洛栾高速和陆浑水库对部分村域造成出行不便有关;另一方面,嵩县边缘地区村域因受其相邻较近县城的影响,对嵩县县城的依赖性相对较弱,特别是处于深山区的白河镇和车村镇距离嵩县达80 km以上,因此,嵩县县城可达性对距县城较远的村域人口分布的影响较弱,而对离县城较近的中部村域影响较强。

## 4 结论与讨论

基于1996、2006和2016年嵩县人口数据、土地利用数据、交通道路数据以及DEM数据,综合运用空间分析方法和回归模型,探究了嵩县人口分布的



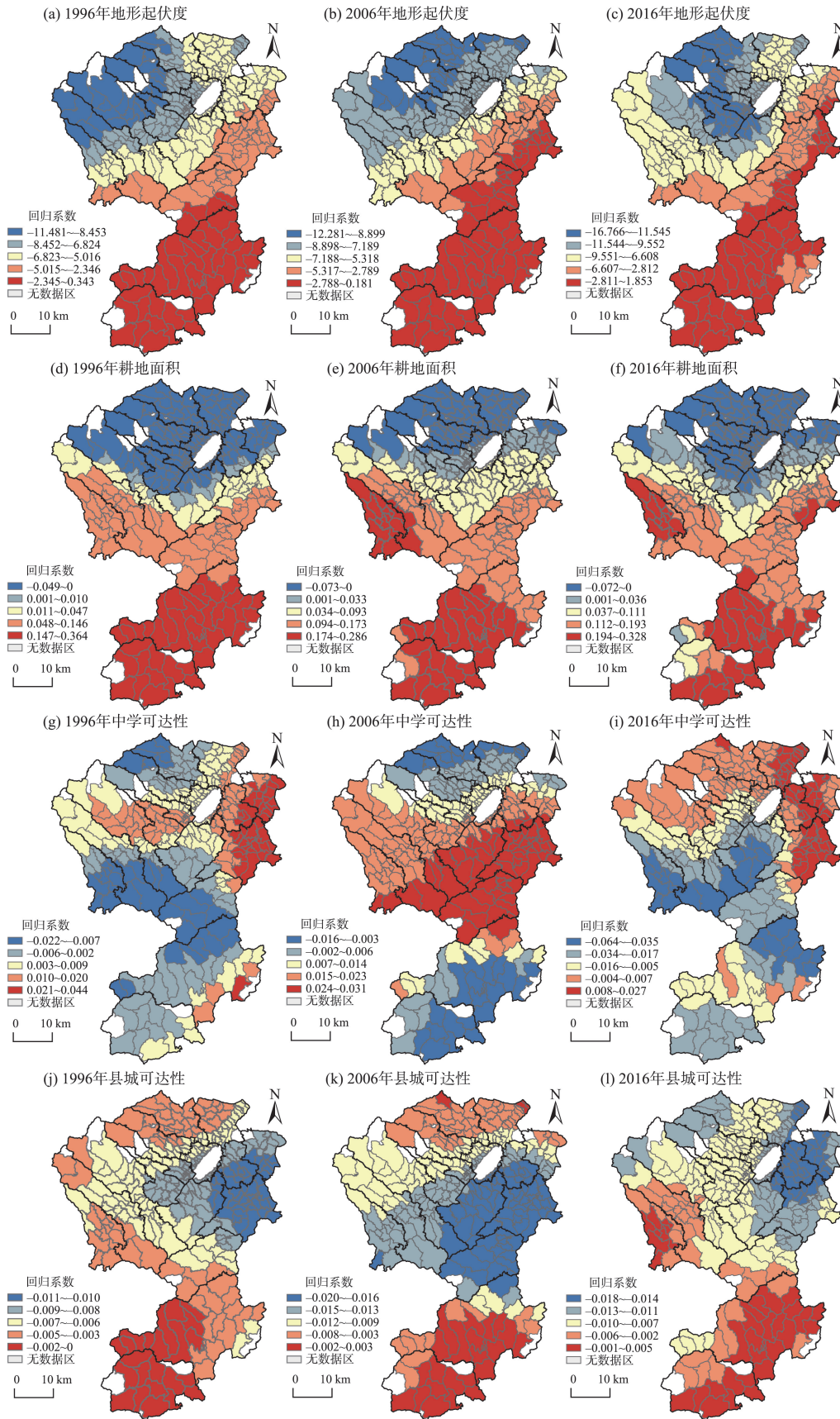


图5 1996—2016年嵩县人口密度影响因素回归系数分布

Fig.5 Distribution of the coefficients of influencing factors of population density in Song County, 1996–2016

时空特征及其影响因素,主要结论为:

(1) 1996—2016年,嵩县村域人口密度在空间上具有不均衡性,以陆浑水库周边为中心向外围逐渐降低。高密度区集聚于主要交通干线和地势较为平坦的地区,并随时间推移由点状集聚分布向片状和条带状集聚分布转变,低密度区主要集中在嵩县西北部和南部。1996—2016年,也存在类似的空间格局。其中,高速增长区主要集中于县城及洛栾高速西北部的旧县、大章、库区、田湖等少数乡镇政府所在地附近。然而,具体到2个阶段则略有差异。

(2) 高人口增长潜力区是县域人口的主要集聚中心,分布于县城以及陆浑水库周围的乡镇政府所在地,随时间推移空间集聚规模不断增大;较高人口增长潜力区连片分布于高增长潜力区周围;中等人口增长潜力区主要沿东北—西南走向的S322省道分布,但2006—2016年间南部地区少数乡镇出现该类型,表明人口稀疏的嵩县南部已初步形成规模小的人口集聚中心;低人口增长潜力区主要分布在嵩县西北和南部地区。

(3) OLS回归结果表明,县城可达性对人口密度具有负向影响,且随时间推移先增强而后减弱;地形起伏度对人口密度具有负向影响,且随时间推移先减弱而后增强,耕地面积对人口密度具有正向影响,但影响稳定且较弱,中学可达性对人口密度的影响较为复杂。GWR模型比OLS回归分析能更好地解释嵩县人口分布特征,结果表明上述因素的影响具有较为明显的时空异质性。地形起伏度对人口密度的影响空间上整体呈现由西北到东南影响逐渐减弱的趋势,但随时间推移影响较大的地区出现从西北向正北转移;耕地面积对人口分布影响由北向南逐渐增大;中学可达性对人口分布的影响较为复杂,但随时间推移受负向影响的村域范围不断扩大,并呈现主要公路沿线村域受影响较小的特征;县城可达性对中东部的黄庄乡、纸房镇和饭坡镇负向作用大,而对远离县城的白河镇和车村镇的人口分布影响较小。

上述研究表明,微观尺度上影响人口分布的地理因素与宏观和中观尺度有所不同,对山区人口空间分布的作用机理也有差异。新型城镇化和乡村振兴过程中,山区县政府要充分考虑地形因素、耕地资源、公共服务设施和县城可达性等地理因素对人口分布的影响,尤其要结合微观尺度上不同地理因素对村域人口分布影响的异质性。一方面,充分考虑自然条件和资源禀赋基础上,利用基础设施和

公共服务设施的布局引导人口合理迁移,促进村域人口分布与其资源环境承载力、产业布局等相适应。另一方面,根据不同类型村域的人口变化特征,制定和实施空间规划及相关政策措施,促进有条件的村域实现振兴。当然,山区县村域人口分布变化是一个复杂的过程,本文仅分析自然环境因素、教育资源和交通区位等主要因素的作用,忽略了政策因素的影响,事实上2015年以来新计划生育政策的人口增长效应开始凸显,而在中部传统农区人口生育政策变更的空间效应可能更突出,这需要在未来的研究中加以考虑。同时,随着腾讯、百度等人口迁移大数据的可获得,未来的研究可以结合区外人口迁移数据,更加全面地分析不同地理因素对人口分布的动态影响。

### 参考文献(References)

- [1] 段小微, 李小建. 山区县域聚落演化的空间分异特征及其影响因素: 以豫西山地嵩县为例 [J]. 地理研究, 2018, 37(12): 2459-2474. [Duan Xiaowei, Li Xiaojian. Spatial differentiation and its influencing factors of settlements evolution in mountainous counties: A case study of Songxian County in western Henan Province. *Geographical Research*, 2018, 37(12): 2459-2474.]
- [2] 胡焕庸. 中国人口之分布: 附统计表与密度图 [J]. 地理学报, 1935, 2(2): 33-72. [Hu Huanyong. The distribution of population in China, with statistics and maps. *Acta Geographica Sinica*, 1935, 2(2): 33-72.]
- [3] 刘艳华, 徐勇, 刘毅. 2000年来黄土高原地区的人口增长及时空分异 [J]. 地理科学进展, 2012, 31(2): 156-166. [Liu Yanhua, Xu Yong, Liu Yi. Population growth and temporal-spatial differentiation in loess plateau region in the last 2000 years. *Progress in Geography*, 2012, 31(2): 156-166.]
- [4] 李博, 金淑婷, 陈兴鹏, 等. 改革开放以来中国人口空间分布特征: 基于1982—2010年全国四次人口普查资料的分析 [J]. 经济地理, 2016, 36(7): 27-37. [Li Bo, Jin Shuting, Chen Xingpeng, et al. The population spatial distribution characteristics of China since the reform and opening up-analysis of the four national census data based on 1982-2010. *Economic Geography*, 2016, 36(7): 27-37.]
- [5] 张国俊, 黄婉玲, 周春山, 等. 城市群视角下中国人口分布演变特征 [J]. 地理学报, 2018, 73(8): 1513-1525. [Zhang Goujun, Huang Wanling, Zhou Chunshan, et al. Spatio-temporal characteristics of demographic distribution in China from the perspective of urban agglomeration. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(8): 1513-1525.]
- [6] 陈明星, 郭莎莎, 陆大道. 新型城镇化背景下京津冀城市群流动人口特征与格局 [J]. 地理科学进展, 2018, 37(3):

- 363-372. [Chen Mingxing, Guo Shasha, Lu Dadao. Characteristics and spatial patterns of floating population in the Beijing-Tianjin-Hebei urban agglomeration under the background of new urbanization. *Progress in Geography*, 2018, 37(3): 363-372. ]
- [7] 李少星, 王先芝, 纪小乐, 等. 乡镇尺度上的山东省人口老龄化空间格局演变与影响因素研究 [J]. *地理科学进展*, 2019, 38(4): 567-576. [Li Shaoxing, Wang Xianzhi, Ji Xiaole, et al. Spatial change and influencing factors of population aging in Shandong Province at the township scale. *Progress in Geography*, 2019, 38(4): 567-576. ]
- [8] 王婧, 刘奔腾, 李裕瑞. 京津冀人口时空变化特征及其影响因素 [J]. *地理研究*, 2018, 37(9): 1802-1817. [Wang Jing, Liu Benteng, Li Yurui. Spatial-temporal characteristics and influencing factors of population distribution and floating changes in Beijing-Tianjin-Hebei region. *Geographical Research*, 2018, 37(9): 1802-1817. ]
- [9] 邓羽, 刘盛和, 蔡建明, 等. 中国省际人口空间格局演化的分析方法与实证 [J]. *地理学报*, 2014, 69(10): 1473-1486. [Deng Yu, Liu Shenghe, Cai Jianming, et al. Spatial pattern and its evolution of Chinese provincial population and empirical study. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(10): 1473-1486. ]
- [10] 杨强, 李丽, 王运动, 等. 1935—2010年中国人口分布空间格局及其演变特征 [J]. *地理研究*, 2016, 35(8): 1547-1560. [Yang Qiang, Li Li, Wang Yundong, et al. Spatial distribution pattern of population and characteristics of its evolution in China during 1935-2010. *Geographical Research*, 2016, 35(8): 1547-1560. ]
- [11] 邓楚雄, 李民, 宾津佑. 湖南省人口分布格局时空变化特征及主要影响因素分析 [J]. *经济地理*, 2017, 37(12): 41-48. [Deng Chuxiong, Li Min, Bin Jinyou. Spatial pattern and its evolution of Chinese provincial population and empirical study. *Economic Geography*, 2017, 37(12): 41-48. ]
- [12] 封志明, 唐焰, 杨艳昭, 等. 中国地形起伏度及其与人口分布的相关性 [J]. *地理学报*, 2007, 62(10): 1073-1082. [Feng Zhiming, Tang Yan, Yang Yanzhao, et al. The relief degree of land surface in China and its correlation with population distribution. *Acta Geographica Sinica*, 2007, 62(10): 1073-1082. ]
- [13] 方瑜, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国人口分布的自然成因 [J]. *应用生态学报*, 2012, 23(12): 3488-3495. [Fang Yu, Ouyang Zhiyun, Zheng Hua, et al. Natural forming causes of China population distribution. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012, 23(12): 3488-3495. ]
- [14] 王振波, 徐建刚, 朱传耿, 等. 中国县域可达性区域划分及其与人口分布的关系 [J]. *地理学报*, 2010, 65(4): 416-426. [Wang Zhenbo, Xu Jiangan, Zhu Chuangeng, et al. The county accessibility divisions in China and its correlation with population distribution. *Acta Geographica Sinica*, 2010, 65(4): 416-426. ]
- [15] 车冰清, 仇方道. 基于镇域尺度的江苏省人口分布空间格局演变 [J]. *地理科学*, 2015, 35(11): 1381-1387. [Che Bingqing, Chou Fangdao. Spatio-temporal changes of population distribution at sub-district level in Jiangsu Province. *Scientia Geographica Sinica*, 2015, 35(11): 1381-1387. ]
- [16] 张海霞, 牛叔文, 齐敬辉, 等. 基于乡镇尺度的河南省人口分布的地统计学分析 [J]. *地理研究*, 2016, 35(2): 325-336. [Zhang Haixia, Niu Shuwen, Qi Jinghui, et al. Geological statistics analysis of population distribution at township level in Henan Province. *Geographical Research*, 2016, 35(2): 325-336. ]
- [17] 柏中强, 王卷乐, 杨雅萍, 等. 基于乡镇尺度的中国25省区人口分布特征及影响因素 [J]. *地理学报*, 2015, 70(8): 1229-1242. [Bo Zhongqiang, Wang Juanle, Yang Yaping, et al. Characterizing spatial patterns of population distribution at township level across the 25 provinces in China. *Acta Geographica Sinica*, 2015, 70(8): 1229-1242. ]
- [18] 王超, 阚媛珂, 曾业隆, 等. 基于随机森林模型的西藏人口分布格局及影响因素 [J]. *地理学报*, 2019, 74(4): 664-680. [Wang Chao, Kan Aike, Zeng Yelong, et al. Population distribution pattern and influencing factors in Tibet based on random forest model. *Acta Geographica Sinica*, 2019, 74(4): 664-680. ]
- [19] 石人炳, 陈宁, 郑淇予. 中国生育政策调整效果评估 [J]. *中国人口科学*, 2018(4): 114-125. [Shi Renbing, Chen Ning, Zheng Qiyu. Evaluation on the effect of childbearing policy adjustments in China. *Chinese Journal of Population Science*, 2018(4): 114-125. ]
- [20] 陶涛, 杨凡. 计划生育政策的人口效应 [J]. *人口研究*, 2011, 35(1): 103-112. [Tao Tao, Yang Fan. The impact of China's family planning policy on demographic transition. *Population Research*, 2011, 35(1): 103-112. ]
- [21] 张耀军, 任正委. 基于地理加权回归的山区人口分布影响因素实证研究: 以贵州省毕节地区为例 [J]. *人口研究*, 2012, 36(4): 53-63. [Zhang Yaojun, Ren Zhengwei. Factors affecting population distribution in mountainous areas: Geographically weighted regression using data from Bijie. *Population Research*, 2012, 36(4): 53-63. ]
- [22] 曹伟超, 文学虎, 申学林, 等. 基于栅格数据的山区人口分布规律研究 [J]. *地理信息世界*, 2013, 20(6): 23-27. [Cao Weichao, Wen Xuehu, Shen Xuelin, et al. Population distribution in mountain area based on raster data. *Geomatics World*, 2013, 20(6): 23-27. ]
- [23] 王学义, 曾永明. 中国川西地区人口分布与地形因子的空间分析 [J]. *中国人口科学*, 2013(3): 85-93. [Wang Xueyi, Zeng Yongming. Research on population distribu-

- tion and terrain factors based on spatial econometric modeling in Chuanxi area of China. *Chinese Journal of Population Science*, 2013(3): 85-93. ]
- [24] Sokal R R, Oden N L. Spatial autocorrelation in biology: Methodology [J]. *Biological Journal of the Linnean Society*, 1978, 10(2): 199-228.
- [25] Fotheringham A S, Brunson C, Charlton M. Geographically weighted regression: The analysis of spatially varying relationships [M]. New York, USA: Wiley, 2002.
- [26] 张静静, 朱文博, 朱连奇, 等. 基于栅格的豫西山区地形起伏特征及其对人口和经济的影响 [J]. *地理学报*, 2018, 73(6): 1093-1106. [Zhang Jingjing, Zhu Wenbo, Zhu Lianqi, et al. Spatial variation of terrain relief and its impacts on population and economy based on raster data in West Henan Mountain Area. *Acta Geographica Sinica*, 2018, 73(6): 1093-1106. ]
- [27] 封志明, 杨艳昭, 游珍, 等. 基于分县尺度的中国人口分布适宜度研究 [J]. *地理学报*, 2014, 69(6): 723-737. [Feng Zhiming, Yang Yanzhao, You Zhen, et al. Research on the suitability of population distribution at the county level in China. *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(6): 723-737. ]

## Spatio-temporal change of population distribution and its influencing factors in a poor mountainous county: A case study of Song County, Henan Province

LUO Qing<sup>1,2</sup>, WANG Bingbing<sup>1</sup>, FAN Xincheng<sup>1,2</sup>, LI Xiaojian<sup>3,1,2\*</sup>

(1. Collaborative Innovation Center of Urban-Rural Coordinated Development / School of Resources and Environment, Henan University of Economics and Law, Zhengzhou 450046, China; 2. Academician Laboratory for Urban and Rural Spatial Data Mining, Zhengzhou 450046, China; 3. Key Research Institute of Yellow River Civilization and Sustainable Development, Henan University, Kaifeng 475004, Henan, China)

**Abstract:** The spatio-temporal distribution characteristics and change of mountain populations are of great significance for coordinating human-land relationship and implementing the rural revitalization strategy in the process of urbanization. Based on the data of three agricultural censuses in Luoyang City, this study selected 318 administrative villages in Song County as the research objects, and used a GIS spatial analysis tool and geographically weighted regression to analyze the spatial pattern of population distribution and its influencing factors. The results show that: 1) The population of Song County is extremely uneven in spatial distribution. The high density areas are clustered near the main traffic lines and in areas with relatively flat terrain, and over time, they changed from point to spread and strip distribution. 2) On the whole, the population growth is bounded by the high-speed Luoluan Highway, and shows a pattern of rapid growth to the northwest and slow growth to the southeast. The high-speed growth areas are mainly concentrated in the county seat and a few townships around the northwestern part of the Luoluan Highway. 3) The population growth centers are also located in the towns around the county seat and the Luhun Reservoir, and the towns in the southern mountainous areas are expected to form new population agglomeration areas. 4) The population distribution pattern of the county is the result of the interaction of natural conditions, geographical location, and public services. Among them, the accessibility time of county seat has the greatest impact on population distribution, followed by topography. The impact of arable land area and accessibility time of middle school are relatively small, but the impact of different factors has spatial and temporal heterogeneity. The above conclusions imply that mountainous counties can take into account the differences in natural conditions and resource endowments, and make use of urbanization layout, infrastructure construction, and public services adjustments to promote the optimization of population distribution.

**Keywords:** population distribution; spatio-temporal change; mountainous area; Song County