

基于乡镇尺度的中国25省区人口分布特征及影响因素

柏中强^{1,2}, 王卷乐^{1,3}, 杨雅萍^{1,3}, 孙九林^{1,3}

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101;
2. 中国科学院大学, 北京 100049; 3. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 南京 210023)

摘要: 人口空间分布具有典型的尺度特征, 精细尺度的人口分布是当前人口地理学研究的热点和难点。乡镇(街道)是中国人口普查数据公开发布的最小行政单元, 乡镇级人口密度计算及其分布特征研究能够更客观、精细地刻画中国人口分布的空间格局和态势, 为促进中国人口的合理优化布局提供科学依据和决策支持。本文收集处理了2000年中国25个省(直辖市、自治区)的乡镇(街道)级行政边界数据, 基于第五次人口普查乡镇(街道)人口统计数据, 计算了乡镇级平均人口密度。采用Lorenz曲线、空间分析及样带分析的方法, 分析了研究区乡镇(街道)人口分布的疏密结构、空间集聚性、纬向和经向规律。利用相关分析和逐步回归分析, 分省探究了地形起伏度、水网密度、路网密度及社会经济发展水平(利用夜间灯光指数表征)等4个因素对于乡镇级人口分布的影响。研究表明: ① 乡镇级平均人口密度能够有效区分出县域内部的人口密度高低差异, 整体不均衡性高于基于县级平均人口密度的研究结果; ② 乡镇(街道)人口分布总体规律是西北稀疏东南密集, 同时, 东南密中有疏, 西北疏中有密; ③ 乡镇(街道)人口分布的经纬向规律变异较大, 既受中国三级阶梯地貌大势的影响, 也受局部微地形及区域中心城市的影响, 并和海岸线、交通枢纽及大江大河的分布具有一定的空间耦合性。④ 乡镇级平均人口密度与地形起伏度、水网密度、路网密度及夜间灯光指数等显著相关, 省级平均相关系数分别为-0.56、0.28、0.61、0.69。⑤ 在乡镇尺度上, 地形条件及区域发展水平对辽、吉、京、津、沪、冀、豫、陕、晋、鲁、皖、苏、湘、鄂、赣、浙、闽、粤、琼等省份的人口分布具有较强的决定作用。⑥ 对于藏、青、蒙、滇、黔等5省或自治区, 需要引入更多的自然环境及社会因素来解释其人口分布的特殊规律。本研究扩充了中国人口地理学的研究尺度和维度, 并引入了新的定量分析和空间分析方法, 所构建的覆盖中国25省(直辖市、自治区)的乡镇(街道)级人口分布科学数据集丰富了中国人口地理学的2000年本底数据资源。

关键词: 人口分布; 乡镇尺度; 格局特征; 影响因素; 中国

DOI: 10.11821/dlxb201508004

1 引言

人口分布是指人口在某一特定时间内于某一地理空间的集散状态, 或称之为人口的空间形式。人口密度是表现人口分布最主要的形式和衡量人口分布地区差异的主要指标^[1], 其空间分布格局及演变过程与气候、资源及环境等要素关系密切, 具有典型的尺度特征^[2]。中国幅员辽阔, 自然环境和资源禀赋差异显著, 人口众多, 区域社会经济发展不均衡。

收稿日期: 2014-08-17; 修订日期: 2015-05-04

基金项目: 国家科技基础性工作专项重点项目(2011FY110400, 2013FY114600); 中国科学院信息化专项项目(XXH12504-1-01) [Foundation: Science & Technology Basic Research Program of China, No.2011FY110400, No.2013FY114600; Specific Information Infrastructure Program of the Chinese Academy of Sciences, No. XXH12504-1-01]

作者简介: 柏中强, 博士, 主要从事区域人口格网化时空模拟。E-mail: baizq@lreis.ac.cn

通讯作者: 王卷乐, 博士, 副研究员, 主要从事资源环境信息集成与共享研究。E-mail: wangjl@igsnnr.ac.cn

1229-1242 页

科学刻画中国人口分布状况及格局,揭示自然环境和社会经济因素对于人口分布的影响,对于深入理解人口分布规律和人地关系,协调区域发展和生态环境保育具有十分重要的指导意义。

1935年,中国人口地理学家胡焕庸提出了黑河(瑗珲)—腾冲一线,生动刻画了中国东南和西北人口分布疏密差异之悬殊^[3]。葛美玲等利用第5次人口普查分县数据分析了2000年中国人口分布格局,与胡先生的研究结果对比,2000年中国人口分布大势依然是西疏东密,未有根本改变^[4]。多年来,学界利用人口密度、人口分布重心、人口集聚度、人口潜力、人口分布不均匀性等指标对人口分布状况进行了深入研究,例如刘德钦等采用人口地理信息系统对分县人口密度、人口潜力等进行了三维显示^[5];韩嘉福等利用经济学中的Lorenz曲线对中国人口空间分布的不均匀性进行分析及制图^[6];葛美玲等基于人口密度分级的多圈层叠加分析表明,中国人口分布总体上是从高密度区向低密度区过渡的^[7];刘睿文等分析了中国人口空间分布的集疏格局^[8]。对于人口分布与自然环境及社会经济因素的关系研究可分为两个方面。一方面是探讨人口分布与自然因素的关系,以服务于人口承载力及人居环境评价,例如高志强等分析了土地资源、生态环境质量与人口分布的关系^[9];封志明等分析了地形起伏度与人口分布的相关性^[10];樊杰等分析了经济人口重心的耦合态势及其对区域发展的影响^[11];方瑜等分析了以年均温、年均降水量、干燥度、地表粗糙度、距海岸线距离等16个指标组成的自然因素组合与人口分布的关系^[12]。另一方面则是为了人口分布空间化建模而确立人口与相关因素的数量关系,如刘纪远等考虑净初级生产力(NPP)、数字高程、城市和交通基础设施空间分布等因素,模拟了中国人口空间分布^[13];田永中考虑土地生产力与人口的相关性,分县、分城乡、分区建模来模拟人口分布^[14];卓莉等分析了夜间灯光影像灯光强度与人口分布的关系^[15]。这些研究多是基于县级单元尺度进行的空间分析或统计建模。在省级尺度上,吕安民等研究了人口增长率及其空间关联关系^[16];马妍等基于聚类分析研究了中华人民共和国成立60年以来的中国省级人口时空演变过程^[17];邓羽等考虑自然增长和人口迁移,研判了中国人口空间格局的发展情景和演化特征^[18]。近年来,结合智慧城市、城市格网管理等发展需求,在精细化信息获取技术的支持下,乡镇尺度的人口数据获取与分析受到关注,乡镇级尺度的人口地理学研究逐渐得到关注,如张志斌等研究了1982-2009年兰州乡镇(街道)级城市人口空间结构演变格局及调控路径^[19],梁昊光等分析了2000-2010年北京乡镇街道尺度人口变化格局特征,并借助CA-MAS对未来城市人口分布格局进行情景模拟^[20]。

由上可见,当代人口地理学研究主题和可持续发展、资源短缺、生态退化及城镇化等问题的联系越来越紧密,空间化、量化、精细化分析为人口地理学发展增加了新的活力^[21-24]。其中,人口数据空间化是21世纪人口地理学研究的前沿领域之一^[25],包括全球、洲际及国家尺度的数据集生产与发布^[26-29],多种人口分布模拟方法的发展^[30-32],以及作为从基础输入数据辅助于灾害风险评估与救援、健康科学及气候变化影响评估等研究^[33-34],这些研究反映出的热点和难点在于人口分布的精细化模拟,包括支撑这种模拟的基础数据获取、精细尺度下人口分布规律研究及结果验证等^[35-36]。

不同尺度的人口问题需要相应尺度的数据支持。当前,中国的人口地理学研究尺度以省级和县级为主,乡镇级尺度的人口地理研究需求越来越强。这主要在于:①乡镇(街道)处于中国行政体系的基层位置,是人们开展生活和生产的基础单元,较县域单元反映出更多的空间异质性;②乡镇(街道)是中国人口普查数据发布的基本单元,普查数据包含众多人口指标,能更精确客观地反映中国的人口地理国情;③GIS和遥感技术,尤其是高分影像的广泛运用,大幅提升了人口空间分布表达的空间分辨率和精度,乡镇级人口统计数据的估计有了更新、更快的遥感信息源支撑;④人口密度与分布格局、变化过程存在尺度依赖关系,可塑性面积单元问题直接导致了不同尺度的人口密度

所刻画的人口分布规律相互冲突^[37], 乡镇尺度的人口分布研究作为县级行政单元和公里格网人口分布的一种补充是不可或缺的。基于以上认识, 本文针对21世纪的本底年, 以2000年为基准, 收集处理了中国25省乡镇级行政界线数据, 利用国家统计局发布的第五次人口普查乡镇(街道)级人口普查数据, 计算乡镇平均人口密度, 从比例结构、空间集聚性和经纬向规律三方面分析其空间分布特征, 并选取在县级尺度上被关注较多的地形起伏度、路网密度、水网密度及夜间灯光等4个影响人口分布的地理环境因子, 探讨它们在乡镇尺度上与人口分布的关系。预期通过本研究能从乡镇(街道)尺度发掘中国人口的基本分布格局和空间分异特征, 发展小尺度人口地理学的定量分析和空间分析方法, 丰富中国人口地理学的2000年本底乡镇(街道)级科学数据集, 为人口分布精细尺度模拟和相关人口管理提供科学依据和决策支持。

2 数据来源及研究方法

2.1 数据来源

乡镇界线数据来源于国家科技基础条件平台—地球系统科学数据共享平台(<http://www.geodata.cn/Portal/metadata/viewMetadata.jsp?id=100101-46>)。该数据集是全国各省区乡镇界线的数字化成果, 数据来源、时间和比例尺不完全相同, 资料收集以1:25万、2000年的数据为参考原则, 数据质量总体良好。黑龙江、广西、甘肃、新疆四省区暂无数据, 四川、重庆数据可用性差, 剔除之后, 本研究的乡镇界线数据覆盖辽宁、吉林、内蒙古(部分地区)、北京、天津、上海、河北、河南、陕西、山西、山东、安徽、江苏、浙江、湖南、湖北、江西、浙江、福建、广东、海南、云南、贵州、青海、西藏等25个省(直辖市、自治区)。香港、澳门、台湾地区未包含在内。人口统计数据来源于国家统计局发布的全国第五次人口普查乡、镇、街道数据(2000年)(<http://www.stats.gov.cn/tjsj/ndsj/renkoupucha/2000jiedao/jiedao.htm>)。

数字高程模型(DEM)数据来源于USGS和NASA联合发布的GLS2005数据集集中的GLSDEM数据集, 空间分辨率为90 m。交通道路和河流水系数据来源于国家测绘局发布的1:25万全国基础地理矢量数据库(2002年版)。夜间灯光数据来源于美国国家航空航天局地球物理数据中心, 空间分辨率约为850 m(<http://www.ngdc.noaa.gov/eog/dmsp/downloadV4composites.html>)。

2.2 数据处理和计算

2.2.1 数据预处理 本研究中的空间数据统一采用Albers Equal Area投影, 地理参考为WGS84坐标系。乡镇界线数据的预处理包括坐标系转换、调整投影等。DEM数据的预处理包括拼接、裁剪等, 并重采样到100 m。夜间灯光数据经裁剪和重投影等预处理后, 重采样到100 m以减少统计误差。

2.2.2 数据关联 以2000年中国分省行政界线为基准, 结合全国县界数据, 分省进行几何精校正(各省约选取350到500个配准点)。在ArcGIS中, 利用手动编辑功能, 将省界周围的乡镇级行政界线调整与省界一致。由于所选25个省的乡镇级行政界线数据表征时间从1999-2003年不等, 需结合行政变迁及第五次人口普查数据记录的行政单元信息, 对行政界线或普查数据进行查错和合并。调整一致后, 将属性数据(乡镇(街道)级人口统计数据)与空间数据(乡镇(街道)级行政界线)通过乡镇代码关联, 共得到28 252个乡镇街道单元, 总人口数为991 293 629人。需要说明的是, 青海、西藏缺少部分县的乡镇街道数据(共计22县), 考虑到该地区人烟稀少, 缺少的部分用县级行政界线补充。

2.2.3 人口密度计算 乡镇平均人口密度(人/km²)计算公式如下:

$$PD = N_p/A \quad (1)$$

式中： PD 为人口密度（人/ km^2 ）； N_p 为乡镇（街道）人口数量（人）； A 为乡镇（街道）面积（ km^2 ）。

2.2.4 地形起伏度计算 地形起伏度（Relief Degree of Land Surface, RDLS），又称地表起伏度，是区域海拔高度和地表切割程度的综合表征^[38]。基于DEM数据，采取以下公式计算地形起伏度：

$$RDLS = ALT/1000 + \{[Max(H) - Min(H)] \times [1 - P(A)/A]\} / 500 \quad (2)$$

式中： $RDLS$ 为地形起伏度； ALT 为某一栅格单元为中心一定区域内的平均海拔高度（m）； $Max(H)$ 和 $Min(H)$ 分别为区域内的最高与最低海拔（m）； $P(A)$ 为区域内坡度小于等于 5° 的地域面积（称为平地， km^2 ）； A 为区域总面积，在本研究中确定 $1\text{ km} \times 1\text{ km}$ 栅格为基本评价单元，则 A 值为 1 km^2 。 ALT 、 $Max(H)$ 、 $Min(H)$ 通过ArcGIS空间分析模块中的Neighborhood模块实现， $P(A)$ 通过Slope和Reclass命令实现， $RDLS$ 通过Map Algebra模块计算实现。

2.2.5 河网密度计算 河网密度（Water system density, WSD）计算公式如下：

$$WSD = N_w/A \quad (3)$$

式中， WSD 为河网密度（ km/km^2 ）； N_w 为各乡镇单元内的总河流长度（km）； A 为各乡镇单元面积。 N_w 利用ArcGIS中的intersection和summarize命令提取。

2.2.6 路网密度计算 路网密度（Road system density, RSD）计算公式如下：

$$RSD = (3 \times N_r + 3 \times N_{ne} + 2 \times N_{pe} + N_{cr} + 0.4 \times N_{tr})/A \quad (4)$$

式中： RSD 为路网密度（ km/km^2 ）； N_r 、 N_{ne} 、 N_{pe} 、 N_{cr} 、 N_{tr} 分别为各乡镇内铁路、国家主干道、省级公路、县道和乡道长度（km）； A 为乡镇单元面积。考虑到不同等级公路的运输容量和通行能力的差异，参考相关文献，将各等级道路里程换算为标准县道长度^[39]，式中3、3、2、1、0.4分别为铁路、国家主干道、省级公路、县道和乡道的换算系数。各道路长度利用ArcGIS中的intersection和summarize命令提取。

2.2.7 分区统计 分区统计方法采用ArcGIS中的Zonal Statistic模块，分区计算各乡镇地形起伏度和夜间灯光指数的平均值。

2.3 人口分布格局分析方法

利用计算得到的研究区乡镇级人口密度数据，制作中国25省乡镇级人口密度图，并分区间统计不同人口密度区间的人口数量及面积，以此来分析乡镇级人口分布的基本格局及人口密度结构。利用Lorenz曲线法分析乡镇级人口分布的不均匀性。Lorenz曲线作法如下：按照乡镇平均人口密度从小到大排序，计算各乡镇的人口累积比例及面积累积比例，以人口累积比例为横轴，面积累积比例为纵轴，绘制研究区的人口分布的Lorenz曲线^[40]。Lorenz曲线的弯曲程度表示人口分布的均衡性大小：曲线越接近对角线，弯曲程度越小，表示人口分布越均匀；曲线弯曲程度越大，越偏离对角线，则表示人口分布不均衡程度越严重。在此基础上，通过计算研究区人口分布的空间自相关系数（全局Moran's I指数）来判断是否存在空间集聚情况。

乡镇级人口的经向规律性和纬向规律性分析采用样带梯度分析方法。具体做法是以特定的间隔梯度为基本单元，分别计算从南到北处于不同纬度及从西到东不同经度的样带内各乡镇单元的平均人口密度。为展现具体的空间分异规律，借鉴文献[10]关于中国地形起伏度经纬向规律分析的做法，并参考南北方向中国三个大人口集聚的大都市广州、上海、北京及从东到西北京、西安、拉萨三个区域中心城市所处的位置和研究区的覆盖范围，选择 25.5°N 、 31.5°N 、 41°N 及 91°E 、 109°E 、 116.5°E 为中心线，宽度为 1° 的缓冲区为典型样带，以经度或纬度为横坐标，以典型样带内乡镇的平均人口密度为纵坐标，

将分析结果绘制于笛卡尔坐标系中。结合具体地区的地理环境本底情况, 分析该区域人口密度曲线的走势、分布及峰值等。

2.4 人口分布影响因子初步分析方法

选取地形起伏度、路网密度、水网密度及夜间灯光等4个因子, 利用SPSS软件, 分省分析乡镇人口密度与各因素的相关关系; 以各乡镇单元人口密度为因变量, 以与人口分布显著相关的因素为自变量, 分省进行逐步回归分析, 得到拟合方程, 根据各因素对人口分布的贡献率, 分析不同省份的影响机理。

3 人口分布格局特征

3.1 总体分布格局

图1为中国25省(直辖市、自治区)2000年乡镇级人口平均密度空间分布图。总体而言, 研究区的人口密度空间分布趋势为东部高于西部, 南部高于北部, 最高值出现在上海市老西门街道。沿海岸线、长江三角洲、珠江三角洲、黄淮海平原、京津冀地区、北京至沈阳铁路沿线、关中平原、晋中盆地、银川平原为人口聚集地区, 该区域一半以上的乡镇平均人口密度高于400人/km²; 东南丘陵(包括江南丘陵、浙闽

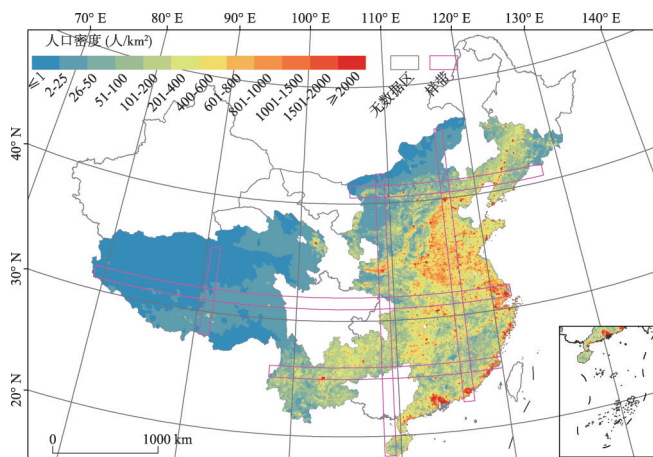


图1 2000年中国25省乡镇街道级人口平均密度分布图
Fig. 1 The population density at township level over 25 provinces in China in 2000

丘陵、广东丘陵等)、辽东丘陵、山东丘陵及云贵高原地区人口密度介于100~400人/km²之间, 分布较均匀, 偶有零星城市及其周边区域人口分布聚集, 出现高值; 内蒙古高原及青藏高原地区人口密度较低, 大部分地区的人口密度低于25人/km², 部分地区的人口密度甚至低于1人/km²。在格局细节上, 乡镇级平均人口密度对于人口分布疏密程度区分度高, 不仅清晰地标识出中国主要城市圈及若干省会城市人口聚集分布格局, 在各县市内部也区分出了人口密度高低差异, 较县级人口密度图更为客观、详尽。

3.2 集聚程度及空间自相关性

表1统计了不同密度区间的乡镇人口总数与面积, 并计算了其比例结构。由表1可见, 不同区间内的人口与面积比例严重失衡。图2是研究区人口数量和面积累积的Lorenz曲线, 其弯曲程度较大, 严重偏离对角线, 这和图1及表1相互印证。结合表1分析图1, 当人口累积总数达到37%时, 累积面积百分比约为3.5%, 对应800人/km²以上的人口密集区, 该部分曲线几乎垂直于横坐标轴而起, 对应中国城市群及城镇核心区; 当人口累积达到80%时, 累积面积百分比约为22%, 符合“二八法则”, 此时对应的人口密度约为200人/km²; 当人口累积达到90%时, 面积累积百分比约为41%; 余下的59%的面积则只积累了约10%的人口, 人口密度低于50人/km²。对比韩嘉福等人基于县级数据的中国人口分布不均衡性的Lorenz曲线分析结果^[41], 乡镇级人口分布表现出了更大的不均衡性。

经计算, 中国25省乡镇级人口密度空间自相关系数—全局Moran's I指数为0.204364, 随机分布检验的标准化Z值为415.3, 达到极显著水平, 说明乡镇水平上人口空间分布存在一定的正自相关性, 呈现出一定的空间集聚特征, 即高值区和高值区相

表 1 人口密度各值域范围总人口及面积统计

Tab. 1 The total population and area of each population density range at township level

人口密度值域(人/km ²)	统计单元个数	总人口	人口占比(%)	总面积(m ²)	面积占比(%)
0~1	186	356016	0.035914	1201187.5	22.42
1~25	1306	7381681	0.744651	1147617.9	21.42
25~50	1448	13261169	1.337764	352827.9	6.58
50~100	3520	45756518	4.615839	621186.9	11.59
100~200	5353	104297661	10.52137	726212.1	13.55
200~400	6101	178520688	18.00886	621046.8	11.59
400~600	4137	160010916	16.14163	326480.6	6.09
600~800	2506	118583652	11.96252	172208.9	3.21
800~1000	1086	60013297	6.054038	68053.7	1.27
1000~1500	974	69480221	7.009045	58056.9	1.08
1500~2000	405	38712399	3.90524	22352.7	0.42
> 2000	1231	194919411	19.66314	40953.3	0.76

邻，低值区和低值区相邻。

3.3 经向规律性

图 3 为研究区人口密度随经度变化曲线。研究区人口密度从西向东逐渐增加（图 3a），曲线的变化符合中国西部青藏高原地区人口稀少，东部平原区人口稠密，东西结合地区为低山、丘陵及谷地地区，人口密度居中的特点。

图 3b、3c、3d 分别为以 25.5°N、31.5°N、41°N 纬度线为中心线的 1°缓冲区内的乡镇平均人口密度随经度变化曲线，具体位置对应图 1 由南向北三条红色样带。25.5°纬线西起云南腾冲，横贯云贵高原，在 110°E 至 111.5°E 之间因缺少广西省数据，出现断裂，之后依次穿过湖南、江西、福建南部，这部分人口密度在 100~400 人/km² 之间波动，主要地貌类型为中高山及低山丘陵，在 114.5°E 人口密度上升到 800 人/km²，对应的是区域中心城市—江西省赣州市，而到了 118.5°E 之后人口密度出现飙升，达到 1660 人/km² 左右，对应的是福建莆田、福清等沿海人口密集地区。31.5°纬线西起西藏自治区札达县，从 79°E 至 98°E 均为青藏高原境内，平均人口密度小于 10 人/km²；98°E 至 109°E 之间为四川省和重庆市境内，缺乏乡镇级行政界线数据，出现断裂；109°E 之后依次穿过湖北西部神农架地区，襄樊谷地，到达江汉平原，人口密度从 100 人/km² 逐渐上升至 600 人/km²，之后掠过 大别山地区到达安徽省的合肥、芜湖等地，人口密度持续上升，向东进入江苏省境内后，经过张家港、苏锡常等地区到达上海市，人口密度陡增，出现两个峰值，生动地诠释了长三角地区人口分布稠密的特征。41°纬线西起内蒙古自治区磴口县，110°E、112°E、115°E、120°E、123°E 极大值分别对应内蒙古自治区包头市、呼和浩特市和河北省张家口市及辽宁省锦州市、鞍山市等区域性人口聚集中心，东达吉林省南部边境山区时，人口密度锐减，此带内人口分布密度波动较大。

3.4 纬向规律性

图 4 为研究区人口密度随纬度变化曲线。由图 4a 可见，中国人口分布由南向北呈现

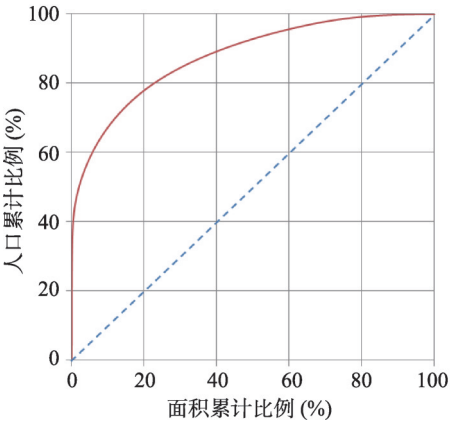


图 2 中国 25 省乡镇人口分布 Lorenz 曲线
Fig. 2 The population distribution of Lorenz curve at township level over 25 provinces in China

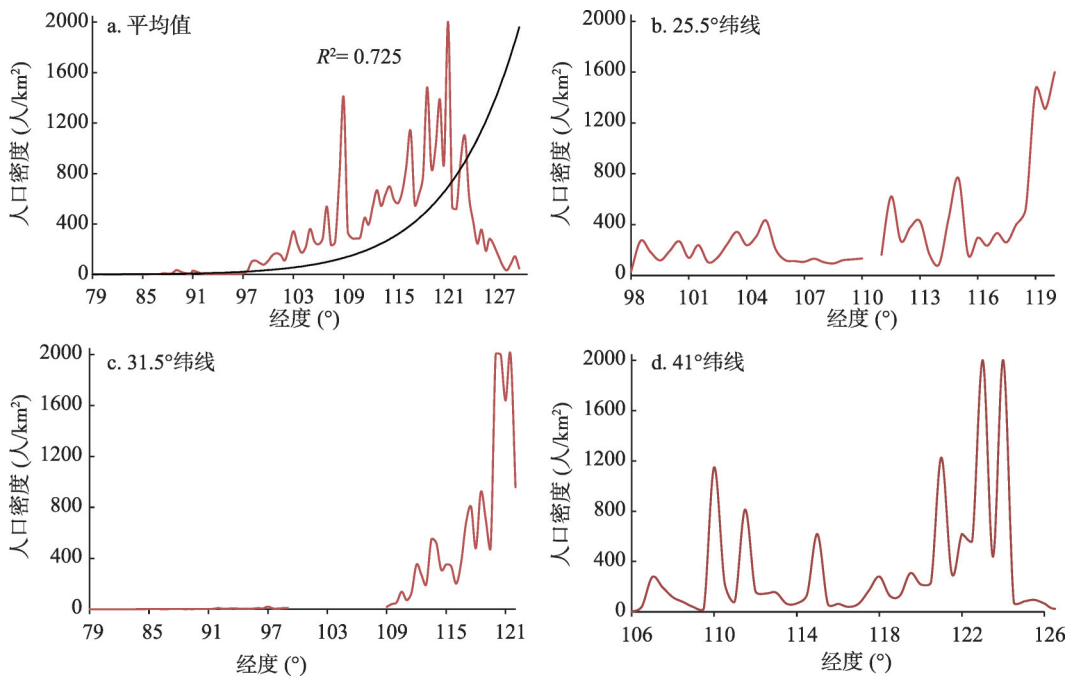


图3 研究区人口密度随经度变化图

Fig. 3 The change of population density at township level with the increase of longitude

先上升，而后趋于平缓（约在400人/km²附近），在30°~33°N之间高度聚集之后，再向北呈现波动下降趋势。30°~33°N之间为中国人口密集分布地区，包含了武汉、南京、上海、杭州等大城市或城市群，该区域为长江流域的核心地区，地势平坦，降水充沛，气温适宜，适合于人类生产和生活。

图4b、4c、4d分别为以91°E、109°E及116.5°E为中心的1°缓冲区内乡镇人口密度随纬度变化曲线，其位置如图1中从西向东三条红色样带所示。91°E纵贯青藏高原地区，除29.5°N附近的拉萨地区人口密度约70人/km²之外，其他地区人口密度均低于5人/km²。109°E南起海南岛乐东黎族自治县，在海南岛内由南向北人口密度递增；在22°~26°N之间缺少广西省乡镇行政界线数据，曲线出现断裂；26°~30°N之间依次为贵州东部和湖北西南部山区，人口呈现波动式上升，约在100~500人/km²之间；31°N为重庆市东北部无数据区；从32°N进入秦岭山区之后，人口密度低至20人/km²左右，翻过秦岭进入关中平原的西安、铜川地区人口分布逐渐稠密，密度峰值达到4500人/km²；继续向北穿过延安地区达到内蒙古乌审旗、乌拉特旗，人口密度逐渐降低。116.5°E南起广东省潮阳、汕头地区，人口密度高达1500~2000人/km²；向北进入福建江西两省交界山区人口密度迅速降低，在100~300人/km²内波动；进入鄱阳湖盆地及大别山南麓地区之后，人口密度回升到400人/km²左右；到达32°N之后进入到淮北平原及豫东鲁西黄泛平原区，人口分布密度增加，均值在500~1000人/km²，峰值出现在山东省济南地区；向北延伸到华北平原境内，平均人口密度约600人/km²，第二个高值区出现在北京市境内，实际值约为3300人/km²；再往北人口密度锐减，除了锡林浩特市区人口密度达到300人/km²之外，其他地区人口密度均小于25人/km²。

由以上对人口分布的经、纬向规律性分析可以看出，中国人口分布由密到疏的地形依次是近海平原、内陆平原、丘陵山区、高原地区，这种疏密大势不仅和中国三级阶梯地形地貌特征吻合，还受到微地形及区域中心城市的影响。

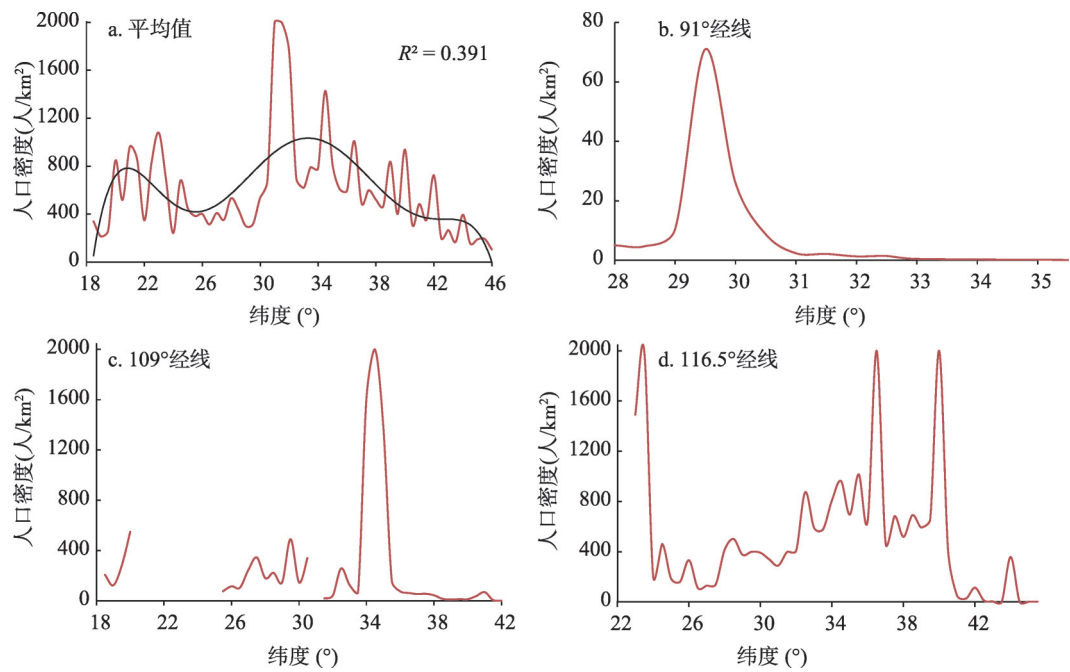


图4 研究区人口密度随纬度变化图

Fig. 4 The change of population density at township level with the increase of latitude

4 人口分布的影响因子分析

自然地理环境和社会人文因素对于人口分布的影响是一个复杂非线性问题，需要从多维度进行分析。目前，已有许多文献在县级尺度上开展了相关研究。限于可定量获取的数据源及分析能力，本文参考文献[10、12、15、42]等代表性研究成果，选择其中受到关注较多的地形起伏度、水网密度、路网密度和夜间灯光指数等4个因子，分别分析其对于乡镇尺度的人口分布的影响。考虑到人口密度数据具有较大变程，将人口密度取自然对数之后再行相关分析及逐步回归分析。图5对比展现了中国乡镇平均地形起伏度（图5a）、河网密度（图5b）、路网密度（图5c）及平均夜间灯光指数（图5d）。结合图1可以看出，乡镇人口分布的高值区和地形起伏度的低值区、路网密度的高值区具有一定的空间耦合性。进一步地，利用相关分析及回归分析，分省探讨了这4个因素与乡镇级人口分布的定量关系。

4.1 相关性分析

表2分省列出了乡镇（街道）人口密度与这4个因素的相关系数。整体而言，各省的人口密度与这4个因素均存在显著相关关系，但各相关系数的正负及数值差异较大。其中，除江苏、贵州、内蒙古之外，各省的乡镇级人口密度与地形起伏度呈现较强的负相关关系，即随着地形起伏度的增加，人口密度有减少的趋势，省际间的相关系数数值差异也较大，相关系数绝对值较大的省，其省内的地形起伏相对差异也较大；而人口密度与路网密度、夜间灯光指数有较强的正相关关系，且相关系数基本大于0.5，在经济较发达的省份，人口密度与夜间灯光指数的相关系数均大于0.7；除江苏、上海之外，各省乡镇级人口密度与水网密度成一般正相关关系，江苏、上海两省则呈现负相关关系。可见，在乡镇尺度上，人口倾向聚集于海拔较低、地表起伏不大、区域经济发展水平高，交通发达的地区。

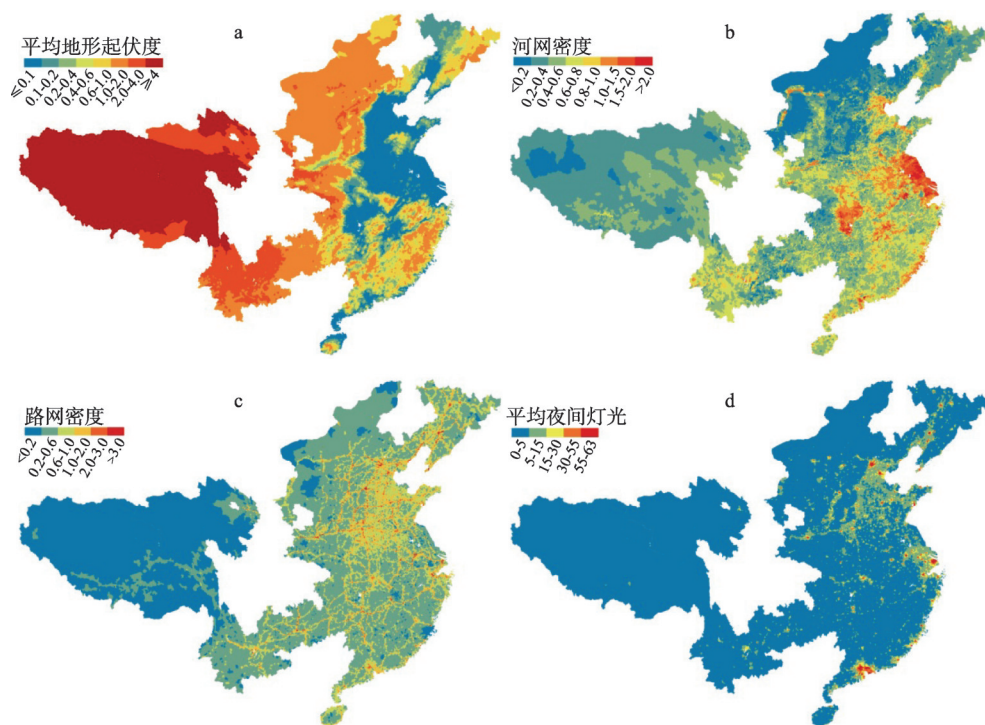


图5 研究区域乡镇级平均地形起伏度(a)、河网密度(b)、路网密度(c)及平均夜间灯光指数(d)

Fig. 5 The township level average relief degree of land surface (a), water system density (b), road system density (c) and nighttime light over 25 provinces in 2000

计算表2中显著水平 p 值为0.01的各省的人口密度与地形起伏度、水网密度、路网密度和夜间灯光指数相关系数的平均值,分别为-0.53, 0.28, 0.61, 0.69。可以认为,地形起伏度、路网密度和夜间灯光指数对人口分布具有较强的影响。地形起伏度表征了最基本的自然地理特征,影响土壤与植被的形成与发育过程,反映土地利用与土地质量的优劣,总体制约着区域自然生产力水平和人居环境质量^[43]。路网密度反映区域与外部的交流能力和区域内部通达水平,平均夜间灯光指数表征区域经济总量^[44-45],由于许多农村地区夜间灯光指数为0,可将平均夜间灯光指数和路网密度结合起来反映区域经济发展水平。由平均相关系数可知,区域发展水平对于人口分布的影响比自然环境因素更大。可以预见,随着中国城镇化进程加速,人口将近一步向区域经济发展水平更高,交通更为便利的区域聚集。

4.2 逐步回归分析

为量化各因子对于人口分布的影响大小,多维度区分不同省份的主导因子,利用逐步回归分析法,在各省选择显著相关的因子,建立人口密度与这几个因子的拟合方程。各因素进入回归方程的显著性 p 值设为0.05,剔除的显著性 p 值设为0.1。方程最终表现形式中,各因子按照标准化系数绝对值大小评定其贡献大小,顺序出现在方程中。

表3列出各拟合方程的具体形式及主要参数。各方程引入的变量通过T检验,显著性 p 值小于0.001,表明拟合是可信的。各省拟合方程中,除贵州、内蒙古、青海、西藏、云南等5省区之外,平均调整后决定系数(adj_R^2)约为0.72,拟合方程的标准估计误差(SEE)约为对应区域统计数据标准差的1/3到3/4,表明这种拟合是高效的,且方程中的因子可解释各省区的人口密度格局80%以上的成因。贵州、内蒙古、青海、西藏、云南等5省区的调整后决定系数小于0.5或标准估计误差大于整个研究区的标准估计

误差,推测其主要原因是:云贵高原大部分属于高山深谷区,具有独特的垂直人口分布景观;内蒙古和青藏高原地区人口分布更多地受气候和植被覆盖等自然条件的制约,人口趋向于集中于生产力更高的地区^[42]。对于这5个省区,需要引入更多的自然环境要素来刻画其人口分布的影响因素。

以各方程中贡献率第一位的因子所反映的区域差异为例,对表3中各省乡镇人口密度拟合方程进行分类,以发掘各因素对省际人口分布影响机理的异同。安徽、河北、湖北、湖南、江西、山西、陕西、浙江等省贡献率第一位的因素为地形起伏度,表明在同等条件下,地形起伏度显著影响这些省区乡镇尺度的人口分布,可进一步定量刻画其地形起伏度与人居环境质量和区域资源环境承载力的关系,促进地形起伏度较大、土地贫瘠、生存环境较差山区人口向可扩容或重点开发的平原地区的合理再分布,指导山区扶贫及生态环境保护工作。北京、天津、上海、福建、广东、河南、吉林、江苏、辽宁、宁夏、山东等省区对应的方程中夜间灯光指数贡献率最大,可再分为两种情况,其一是区域发展水平较高,且地形起伏度不大的地区,包括北京、天津、上海三个直辖市,它们已经是中国人口最密集的地区之一,并伴随由诸多人口过多带来的“城市病”,必须有效控制其常住人口的增加,并科学规划城市布局,促进内部人口的有效分散;其二是区域内虽然地形起伏度较大,但同时存在人口潜力较大、经济较为发达的沿海岸线地带或者人口较为聚集的大面积内陆平原,包括福建、广东、河南、吉林、江苏、辽宁、宁夏、山东等省区,改革开放以来,比较优势已经推动各区域完成一定程度的人口合理再分布,伴随着新一轮产业升级和深入改革,应进一步优化区域国土资源开发格局,推进地区经济带的建设,促进人口的从业结构及居住区域的合理分布。海南省第一位贡献率因子为路网密度,区域特征明显,说明在2000年左右,该区域的发展活力尚未被完全释放,岛上还处于基础设施建设时期。

5 结论

(1) 较县级平均人口密度,乡镇平均人口密度能够更客观、细致地刻画人口分布,不仅更直观地区分出了若干人口聚集区,也能区分出县域内部人口密度的差异;研究区的乡镇级人口分布总体趋势是西北稀疏东南密集,人口密度由密到疏的地形依次为近海平原、内陆平原、低山丘陵地区、高原地区;人口密度较大的乡镇空间分布和海岸线、交通干线及大江大河具有一定的空间耦合性。乡镇级人口分布表现出极大的不均衡性,人口密度大于800人/km²的地区约占整个研究区总面积的3.5%,人口总量约占36.6%;人口密度低于200人/km²的地区约占整个研究区面积的75.56%,人口总量只占17.26%。

表2 人口分布与自然及社会因素相关关系
Tab. 2 Correlation coefficients of population density, natural and social factors in 25 provinces

	RDLS	WSD	RSD	NTL
安 徽	-0.632**	0.329**	0.547**	0.590**
北 京	-0.727**	0.371**	0.732**	0.871**
福 建	-0.766**	0.648**	0.402**	0.774**
广 东	-0.697**	0.491**	0.631**	0.753**
贵 州	0.043	0.122**	0.513**	0.631**
海 南	-0.691**	0.441**	0.715**	0.685**
河 北	-0.840**	0.256**	0.545**	0.663**
河 南	-0.614**	0.123**	0.634**	0.682**
湖 北	-0.680**	0.490**	0.626**	0.661**
湖 南	-0.679**	0.308**	0.594**	0.625**
吉 林	-0.441**	0.084*	0.595**	0.657**
江 苏	-0.046	-0.205**	0.652**	0.865**
江 西	-0.600**	0.394**	0.584**	0.632**
辽 宁	-0.491**	0.184**	0.727**	0.818**
内 蒙 古	-0.036	0.430**	0.603**	0.564**
宁 夏	-0.267**	0.562**	0.543**	0.698**
青 海	-0.850**	-0.072	0.517**	0.459**
山 东	-0.229**	-0.021	0.676**	0.813**
山 西	-0.725**	0.091**	0.615**	0.720**
陕 西	-0.773**	0.294**	0.662**	0.722**
上 海	0.692**	-0.711**	0.730**	0.829**
天 津	-0.158*	-0.131	0.593**	0.831**
西 藏	-0.358**	0.493**	0.594**	0.381**
云 南	-0.368**	0.299**	0.589**	0.617**
浙 江	-0.820**	0.522**	0.586**	0.745**

注:**表示在0.01水平相关,*表示在0.05水平相关。

表3 人口密度与影响因素的拟合方程
Tab. 3 The fitting equations of population density and influencing factors

	逐步回归方程	调整决定系数	标准估计误差
安徽	$5.62-1.203*RDLS+0.047*NTL+0.306*RSD+0.083*WSD$	0.609	0.5383
北京	$5.557+0.039*NTL-1.23*RDLS+0.304*RSD-0.623*WSD$	0.821	0.6446
福建	$5.719+0.054*NTL-1.283*RDLS+0.493*WSD$	0.744	0.6693
广东	$5.735+0.036*NTL-1.535*RDLS+0.46*RSD$	0.727	0.6235
贵州	$4.679+0.109*NTL+0.281*RSD+0.11*RDLS+0.164*WSD$	0.414	0.5055
海南	$5.061+0.514*RSD-1.526*RDLS+0.059*NTL$	0.752	0.4864
河北	$6.041-1.365*RDLS+0.043*NTL-0.266*WSD+0.15*RSD$	0.814	0.4604
河南	$5.954+0.054*NTL-1.163*RDLS+0.254*RSD+0.098*WSD$	0.736	0.4158
湖北	$5.6-0.755*RDLS+0.068*NTL+0.378*RSD$	0.709	0.5052
湖南	$5.81-1.09*RDLS+0.063*NTL+0.318*RSD$	0.67	0.5171
吉林	$4.29+0.076*NTL-1.097*RDLS+0.708*RSD+0.384*WSD$	0.563	0.7151
江苏	$5.968+0.05*NTL-2.145*RDLS+0.109*RSD$	0.759	0.5119
江西	$5.3-1.11*RDLS++0.088*NTL0.355*RSD+0.229*WSD$	0.625	0.5632
辽宁	$4.981+0.06*NTL-0.854*RDLS+0.309*RSD-0.189*WSD$	0.726	0.5853
内蒙古	$-1.006+2.775*WSD+0.123*NTL+1.949*RDLS+1.431*RSD$	0.58	1.1525
宁夏	$2.886+0.116*NTL+1.131*WSD+0.429*RDLS+0.395*RSD$	0.632	0.6729
青海	$9.688-1.918*RDLS+0.818*RSD+0.936*WSD$	0.759	0.9864
山东	$5.797+0.046*NTL+0.185*RSD-0.47*RDLS$	0.683	0.4272
山西	$6.183-1.313*RDLS+0.065*NTL+0.291*RSD-0.282*WSD$	0.736	0.61
陕西	$6.121-1.315*RDLS+0.048*NTL+0.333*RSD+0.377*WSD$	0.776	0.6857
上海	$6.222+0.043*NTL-0.565*WSD+85.432*RDLS+0.158*RSD$	0.826	0.7366
天津	$5.327+0.056*NTL$	0.689	0.6079
西藏	$1.205+3.975*RSD+2.73*WSD+0.238*NTL-0.309*RDLS$	0.457	0.8192
云南	$4.839+0.1*NTL+0.699*RSD-0.373*RDLS+0.345*WSD$	0.491	0.6529
浙江	$6.278-1.417*RDLS+0.048*NTL$	0.78	0.5322

(2) 研究区人口密度的整体经向规律为从西向东逐步升高, 整体纬度规律为偏南或偏北人口密度略低, 中部人口密度较高; 同时, 不同地带的经纬度规律表现出了极强的地带性, 折射出高原、平原、山地、盆地等局部微地形的影响。总体来说, 人口分布的经纬向规律和中国三级阶梯地貌趋势相吻合, 又受到局部微地形及区域中心城市的影响。

(3) 在乡镇尺度上, 各省人口密度与地形起伏度、水网密度、路网密度和夜间灯光指数显著相关, 平均相关系数为-0.53、0.28、0.61、0.69。基于地形起伏度、路网密度、水网密度和夜间灯光指数等拟合的乡镇级人口密度拟合方程能解释除藏、蒙、青、滇、黔之外各省区的85%以上的人口分布格局成因, 省际之间的影响机理和作用成因差异较大, 对于各省区的人口再分布具有宏观性指导意义。藏、蒙、青、滇、黔等省份由于其人口分布的独特规律, 拟合方程有效性有待加强, 需要引入更多的自然因素。

未来将在以下两个方面继续深入研究。① 系统收集和处理2010年乡镇空间数据和六普人口数据, 提示2010年全国的人口分布格局, 并且开展不同年际人口分布的变化研究, 以期直接刻画城镇化、人口流动及迁移等人口问题对于2000至2010年人口分布的影响; ② 扩展人口分布的影响因素, 除了本文重点分析的自然地理因素外, 增加经济发展等人文地理因素, 全面发掘乡镇尺度上自然、社会、经济发展水平等因素和人口分布之间的复杂非线性关联和影响关系。

参考文献(References)

[1] Zhu Zhuo. Population Geography. Beijing: China Renmin University Press, 1991. [祝卓. 人口地理学. 北京: 中国人民大学出版社, 1991.]

- [2] Li Shuangcheng, Cai Yunlong. Some scaling issues of geography. *Geographical Research*, 2005, 24(1): 11-17. [李双成, 蔡运龙. 地理尺度转换若干问题的初步探讨. *地理研究*, 2005, 24(1): 11-17.]
- [3] Hu Huanyong. *Research on Population Distribution in China*. Shanghai: East China Normal University Press, 1983. [胡焕庸. 论中国人口之分布. 上海: 华东师范大学出版社, 1983.]
- [4] Ge Meiling, Feng Zhiming. Research on distribution pattern of population of China in 2000 based on GIS: Compared with Hu Huanyong's research in 1935. *Population Research*, 2008, 32(1): 51-57. [葛美玲, 封志明. 基于 GIS 的中国 2000 年人口之分布格局研究: 兼与胡焕庸 1935 年之研究对比. *人口研究*, 2008, 32(1): 51-57.]
- [5] Liu Deqing, Liu Yu, Xue Xinyu. Spatial distribution and autocorrelation analysis of population in China. *Science of Surveying and Mapping*, 2004, 29(7): 76-79. [刘德钦, 刘宇, 薛新玉. 中国人口分布及空间相关分析. *测绘科学*: 2008, 29(7): 76-79.]
- [6] Han Jiafu, Zhang Zhong, Qi Qingwen. Analysis and visualization of uneven distribution of population in China. *Geo-Information Science*, 2007, 9(6): 14-19. [韩嘉福, 张忠, 齐清文. 中国人口空间分布不均匀性分析及其可视化. *地球信息科学*, 2007, 9(6): 14-19.]
- [7] Ge Meiling, Feng Zhiming. Population distribution of China based on GIS: Classification of population densities and curve of population gravity centers. *Acta Geographica Sinica*, 2009, 64(2): 202-210. [葛美玲, 封志明. 中国人口分布的密度分级与重心曲线特征分析. *地理学报*, 2009, 64(2): 202-210.]
- [8] Liu Ruiwen, Feng Zhiming, Yang Yanzhao, et al. Research on the spatial pattern of population agglomeration and dispersion in China. *Progress in Geography*, 2010, 29(10): 1171-1177. [刘睿文, 封志明, 杨艳昭, 等. 基于人口集聚度的中国人口集疏格局. *地理科学进展*, 2010, 29(10): 1171-1177.]
- [9] Gao Zhiqiang, Liu Jiyan, Zhuang Dafang. The relations analysis between ecological environment quality of Chinese land resources and population. *Journal of Remote Sensing*, 1999, 3(1): 67-71. [高志强, 刘纪远, 庄大方. 基于遥感和 GIS 的中国土地资源生态环境质量同人口分布的关系研究. *遥感学报*, 1999, 3(1): 67-71.]
- [10] 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. [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. *地理学报*, 2007, 62(10): 1073-1082.]
- [11] Fan Jie, Tao Anjun, Lv Chen. The coupling mechanism of the centroids of economic gravity and population gravity and its effect on the regional gap in China. *Progress in Geography*, 2010, 29(1): 87-95. [樊杰, 陶岸君, 吕晨. 中国经济与人口重心的耦合态势及其对区域发展的影响. *地理科学进展*, 2010, 29(1): 87-95.]
- [12] 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. [方瑜, 欧阳志云, 郑华, 等. 中国人口分布的自然成因. *应用生态学报*, 2012, 23(12): 3488-3495.]
- [13] Liu Jiyan, Yue Tianxiang, Wang Ying'an, et al. Digital simulation of population density in China. *Acta Geographica Sinica*, 2003, 58(1): 17-24. [刘纪远, 岳天祥, 王英安, 等. 中国人口密度数字模拟. *地理学报*, 2003, 58(1): 17-24.]
- [14] Tian Yongzhong, Chen Shupeng, Yue Tianxiang, et al. Simulation of Chinese population density based on land use. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(2): 283-292. [田永中, 陈述彭, 岳天祥, 等. 基于土地利用的中国人口密度模拟. *地理学报*, 2004, 59(2): 283-292.]
- [15] Zhuo Li, Chen Jing, Shi Peijun, et al. Modeling population density of China in 1998 based on DMSP/OLS nighttime light image. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(2): 266-276. [卓莉, 陈晋, 史培军, 等. 基于夜间灯光数据的中国人口密度模拟. *地理学报*, 2005, 60(2): 266-276.]
- [16] Lv Anming, Li Chengming, Lin Zongjian, et al. Population growth rate and its spatial association by province in china. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(2): 143-150. [吕安民, 李成名, 林宗坚, 等. 中国省级人口增长率及其空间关联分析. *地理学报*, 2002, 57(2): 143-150.]
- [17] Ma Yan, Liu Shuang. Empirical research on time and space diffusion process of provincial demographic transition in China. *Population Journal*, 2011, 185: 16-23. [马妍, 刘爽. 中国省级人口转变的时空演变过程: 基于聚类分析的实证研究. *人口学刊*, 2011, 185: 16-23.]
- [18] 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. [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. *地理学报*, 2014, 69(10): 1473-1486.]
- [19] Zhang Zhibin, Pan Jing, Da Fuwen. Population spatial structure evolution pattern and regulation pathway in Lanzhou city. *Geographical Research*, 2012, 31(11): 2055-2068. [张志斌, 潘晶, 达福文. 兰州城市人口空间结构演变格局及调控路径. *地理研究*, 2012, 31(11): 2055-2068.]
- [20] Liang Haoguang, Liu Yansui. Study on spatio-temporal change and simulation of population in Beijing based on census

- data, *Acta Geographica Sinica*, 2014, 69(10): 1487-1495. [梁昊光, 刘彦随. 北京市人口时空变化与情景预测研究. 地理学报, 2014, 69(10): 1487-1495.]
- [21] Congdon P, Batey P. *Advances in Regional Demography: Information, Forecasts, Models*. New York: Pinter Pub. Ltd., 1989.
- [22] Boyle P. Population geography: Does geography matter in fertility research? *Progress in Human Geography*, 2003, 27(5): 615-626.
- [23] Cooke T J. Gender role beliefs and family migration. *Population, Space and Place*, 2008, 14(3): 163-175.
- [24] Kan K. Residential mobility and social capital. *Journal of Urban Economics*, 2007, 61(3): 436-457.
- [25] Feng Zhiming, Li Peng. Review of population geography in the past century. *Progress in Geography*, 2011, 30(2): 131-140. [封志明, 李鹏. 20世纪人口地理学研究进展. 地理科学进展, 2011, 30(2): 131-140.]
- [26] Balk D L, Deichmann U, Yetman G, et al. Determining global population distribution: Methods, applications and data. *Advances in Parasitology*, 2006, 62: 119-156.
- [27] Dobson J E, Bright E A, Coleman P R, et al. LandScan: A global population database for estimating populations at risk. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 2000, 66(7): 849-857.
- [28] <http://na.unep.net/siouxfalls/datasets/datalist.php>.
- [29] <http://www.worldpop.org.uk/>.
- [30] Briggs D J, Gulliver J, Fecht D, et al. Dasymetric modelling of small-area population distribution using land cover and light emissions data. *Remote Sensing of Environment*, 2007, 108(4): 451-466.
- [31] Liao Yilan, Wang Jingfeng, Meng Bin, et al. Integration of GP and GA for mapping population distribution. *International Journal of Geographical Information Science*, 2010, 24(1): 47-67.
- [32] Liu Xiaohang, Kyriakidis P C, Goodchild M F. Population density estimation using regression and area-to-point residual kriging. *International Journal of Geographical Information Science*, 2008, 22(4): 431-447.
- [33] Rao D M, Chernyakhovsky A, Rao V. Modeling and analysis of global epidemiology of avian influenza. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 24(1): 124-134.
- [34] McGranahan G, Balk D, Anderson B. The rising tide: Assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 2007, 19(1): 17-37.
- [35] Ye Jing, Yang Xiaohuan, Jiang Dong. The grid scale effect analysis on town leveled population statistical data spatialization. *Journal of Geo-information Science*, 2010, 12(1): 40-47. [叶靖, 杨小唤, 江东. 乡镇级人口统计数据空间化的格网尺度效应分析: 以义乌市为例. 地球信息科学学报, 2010, 12(1): 40-47.]
- [36] Azar D, Engstrom R, Graesser J, et al. Generation of fine-scale population layers using multi-resolution satellite imagery and geospatial data. *Remote Sensing of Environment*, 2013, 130: 219-232.
- [37] Mayor S J, Schaefer J A. The many faces of population density. *Oecologia*, 2005, 145(2): 275-280.
- [38] Zhou Zixiang, Li Jing, Ren Zhiyuan. The relief degree of land surface and population distribution in Guanzhong-Tianshui Economic Region using GIS. *Scientia Geographica Sinica*, 2012, 32(8): 951-957. [周自翔, 李晶, 任志远. 基于GIS的关中天水经济区地形起伏度与人口分布研究. 地理科学, 2012, 32(8): 951-957.]
- [39] GB/T 919-2002. Code for Highway Classification. State Standard of the People's Republic of China, 2002. [GB/T 919-2002. 公路等级代码. 中华人民共和国国家标准, 2002.]
- [40] Lorenz M O. Method of measuring the concentration of wealth. *Publications of the American Statistical Association*, 1905, 70(9): 209-219.
- [41] Han Jiafu, Li Hongsheng, Zhang Zhong. Classification method of population density map based on Lorenz curve. *Journal of Geo-information Science*, 2009, 11(6): 833-838. [韩嘉福, 李洪省, 张忠. 基于Lorenz曲线的人口密度地图分级方法. 地球信息科学学报, 2009, 11(6): 833-838.]
- [42] Dong Chun, Liu Jiping, Zhao Rong, et al. A discussion on correlation of geographical parameter with spatial population distribution. *Remote Sensing Information*, 2002(4): 61-64. [董春, 刘纪平, 赵荣, 等. 地理因子与空间人口分布的相关性研究. 遥感信息, 2002(4): 61-64.]
- [43] Liu Xinhua, Yang Qinke, Tang Guo'an. Extraction and application of relief of China based on DEM and GIS method. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2001, 21(1): 57-62. [刘新华, 杨勤科, 汤国安. 中国地形起伏度的提取及在水土流失定量评价中的应用. 水土保持通报, 2001, 21(1): 57-62.]
- [44] Elvidge C D, Baugh K E, Kihn E A, et al. Relation between satellite observed visible near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption. *International Journal of Remote Sensing*, 1997, 18(6): 1373-1379.
- [45] Wang Herao, Zheng Xinqi, Yuan Tao. Overview of researches based on DMSP/OLS nighttime light data. *Progress in Geography*, 2012, 31(1): 11-19. [王鹤饶, 郑新奇, 袁涛. DMSP/OLS数据应用研究综述. 地理科学进展, 2012, 31(1): 11-19.]

Characterizing spatial patterns of population distribution at township level across the 25 provinces in China

BAI Zhongqiang^{1,2}, WANG Juanle^{1,3}, YANG Yaping^{1,3}, SUN Jiulin^{1,3}

(1. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic

Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China;

2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China;

3. Jiangsu Center for Collaborative Innovation in Geographical Information
Resource Development and Application, Nanjing 210023, China)

Abstract: Spatial pattern of population distribution has a typical character of scale dependency. Fine-scale estimation of the population distribution has been a huge challenge in the field of population geography. In China, township is the finest administrative unit in official population census data. Thus, population density data at township level can be used to describe and characterize the population spatial pattern and changes elaborately, and support optimized layout plan of Chinese population, and government policy decision making. Township boundaries across 25 provinces in China had been collected in this study. The 5th national population census data was spatially joined to the boundary layer for population density calculation. Methods of Lorenz curve, geo-spatial analysis, and latitude/longitude transect had been applied to reveal the agglomeration degree, spatial patterns of population distribution with latitude and longitude. Based on the correlation and stepwise regression analysis, four variables, including relief degree of land surface (RDLS), water system density (WSD), road system density (RSD) and nighttime light index (NTL), were introduced to check the variety of population distribution in each province. The results showed that: (1) the variety of population distribution can be distinguished clearly by the mean population density on township scale than that of county level. (2) The overall population distribution can be characterized as dense in the southeast and sparse in the northwest, while lower population density occurs in some part of southeastern China, and vice versa. (3) The population density at township level along six designed longitude and latitude transects varies greatly. The possible impact factors include the three-level landscape features, local topography, regional economy, and the proximity to coastline, transportation hub, and hydrological systems. The correlation coefficient at provincial level, between the RDLS, WSD, RSD, NTL, and the population density has been identified as 0.56, 0.28, 0.61, and 0.69, respectively. At township level, topography and economy exert more impacts on population distribution in Liaoning, Jilin, Beijing, Tianjin, Shanghai, Hebei, Henan, Shaanxi, Shanxi, Shandong, Anhui, Jiangsu, Hunan, Hubei, Jiangxi, Zhejiang, Fujian, Guangdong, and Hainan. In addition to the four factors mentioned above, it is necessary to introduce more natural or social factors to explore the population distribution pattern in Tibet, Qinghai, Inner Mongolia, Yunnan, and Guizhou. This study expanded the research scale and dimension of the research in population geography research in China. The resulted population density dataset in 2000 is expected to enrich the baseline data resources for population geography development in China and the world.

Keywords: population distribution; township scale; pattern; influencing factor; China