

贵州乌江上游人口分布垂直带性特征研究

滕明塔 李旭东 应奎 方冰轲¹

(贵州师范大学 地理与环境科学学院, 贵州 贵阳 550025)

【摘要】: 海拔对人口分布具有重要影响, 分析海拔与人口的相关性, 可为区域生态保护、经济发展与人口政策制定提供依据。基于 DEM 数据与人口栅格数据, 通过创建 5km×5km 渔网, 利用空间自相关、Lorenz 曲线、相关分析等方法研究乌江上游人口空间分布特征及其与海拔高程的关系, 研究结果表明: 1) 贵州乌江上游地区人口分布呈“大分散, 小集中”的分布特点, 人口集中于北部、中部及南部; 2) 人口主要分布在 1200~2000m 的中低山, 中高山人口数量较少、人口密度较低; 海拔 1200~1600m 人口数量最多、人口密度最大; 3) 人口数量、人口密度与各级海拔面积随海拔上升变化大体一致, 均随海拔的升高呈先增后减的倒“U”型变化特征。

【关键词】: 人口分布 垂直带性 海拔 乌江上游

【中图分类号】: K901.3 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1003-6563(2022)04-0048-08

0 引言

人口是区域社会发展的重要资源, 人口数量及其空间分布在一定程度上可反映地区自然条件和经济发展水平^[1]; 同时, 人口空间分布也在一定程度上影响区域经济发展、资源配置及政策制定。由于受到多种因素扰动, 人口迁移自主性特点凸显, 因而其时空分布形态往往不一。当前普遍认为经济是影响人口分布的主要因素, 但自然因素的作用也不容忽视, 人口的时空分布往往是经济因素或自然因素甚至是两者综合作用的结果。多样化的自然环境是影响人口分布区域差异性的基本要素条件^[2], 因而从自然环境视角分析人口分布空间特征对实现人口与资源、环境、经济的协调发展具有重要意义^[3]。

地形对陆地生态系统结构及格局、人类生产及社会活动等具有重要影响^[4], 胡焕庸在分析中国人口空间分布时提出“瑗瑗—腾冲”线, 并将地形纳入影响因素中, 得出地形对中国人口分布具有影响, 地形是导致中国人口自东南向西北递减的重要原因^[5,6]。自此之后, 国内众多学者对地形与人口分布的关系进行了诸多有益探索, 并取得较为丰硕的成果。在行政尺度上, 以国家、省、县一级研究稍多^[7,8]; 在地形上, 以高原、山地^[9,10,11]较多; 同时针对城市的研究日益增多^[12,13]。在地形与人口分布研究上, 从海拔、坡度、起伏度等方面展开颇多^[14,15,16]: 如, 陈浩等分析海拔高程与川西高原上少数民族地区人口分布之间的关联性^[17]; 张静静等研究豫西地形起伏对人口分布的影响^[18]; 章金城、周文佐分析地形起伏度与四川省人口分布的相关性^[19]等。在研究方法上, 样带梯度分析法^[9]、人口集中度^[17]、空间自相关^[9,11,20]、Lorenz 曲线^[9,21]、基尼系数^[21]、地统计学^[25]等方法探究区域人口分布垂直规律、均衡性或聚集性常用的分析方法; 相关分析^[22,23]、偏最小二乘回归^[24]、地理探测器^[21]等是探究人口分布影响因子的重要方法。以上学者在研究尺度和方法上不断探索与优化, 为本文研究开展提供了十分有益的借鉴与参考。

贵州乌江流域是典型的喀斯特地区, 生态环境尤其脆弱^[26]; 安芬^[27]等学者研究发现, 乌江流域的生态脆弱程度以一般脆弱和中度脆弱为主, 脆弱等级从上游至下游逐渐降低。程东亚、李旭东^[28]对乌江流域人口分布与地形的关系展开了相关研究, 证实海

作者简介: 滕明塔(1995-), 男, 四川宜宾人, 硕士研究生, 主要从事人口地理与区域发展研究。李旭东(1969-), 男, 湖南邵东人, 博士, 教授, 主要从事人口地理与区域发展研究。

基金项目: 国家自然科学基金项目(0501212J0015); 贵州省科技厅项目(05022Y075)

拔、坡度、起伏度等地形因子对该区域人口分布具有重要影响,并得到随着海拔、坡度、起伏度的升高人口数量和密度总体变小的结论,但该学者的研究范围相对较大,未能对乌江流域进行详细分析。贵州乌江上游是重要的生态脆弱区和保护区,对其进行人口分布研究能很好地揭示该地人口格局状况,为乌江上游生态治理、人口政策制定、经济发展等提供依据。本文以贵州乌江上游作为研究区,以海拔高程作为突破口,深入剖析海拔高程对贵州乌江上游人口空间分布的影响。

1 研究区域与数据来源

1.1 研究区概况

乌江(贵州段)发源于贵州乌蒙山区东部,贵州乌江上游位于贵州西部,主要位于毕节市内,该段河流自西北流向东南,涉及赫章、纳雍、七星关等十三个市县,流域面积 1.81 万平方公里。气候属亚热带季风湿润气候,年降水 1100~1400mm,年均温 13~18℃。贵州乌江上游地处中国西南喀斯特地区核心部分,属典型的山地流域^[28];地形以岩溶峡谷、岩溶高原为主^[29]。流域内海拔较高,地形破碎,河谷深切,土层贫瘠,生态环境十分脆弱^[30,31]。而与之相对的是,该区地处乌蒙山区东缘,人口较为稠密^[23],经济及农业发展较为落后,在不利的地形条件及社会条件下导致该地人地矛盾十分突出,生态环境保护与经济、农业发展面临失调。

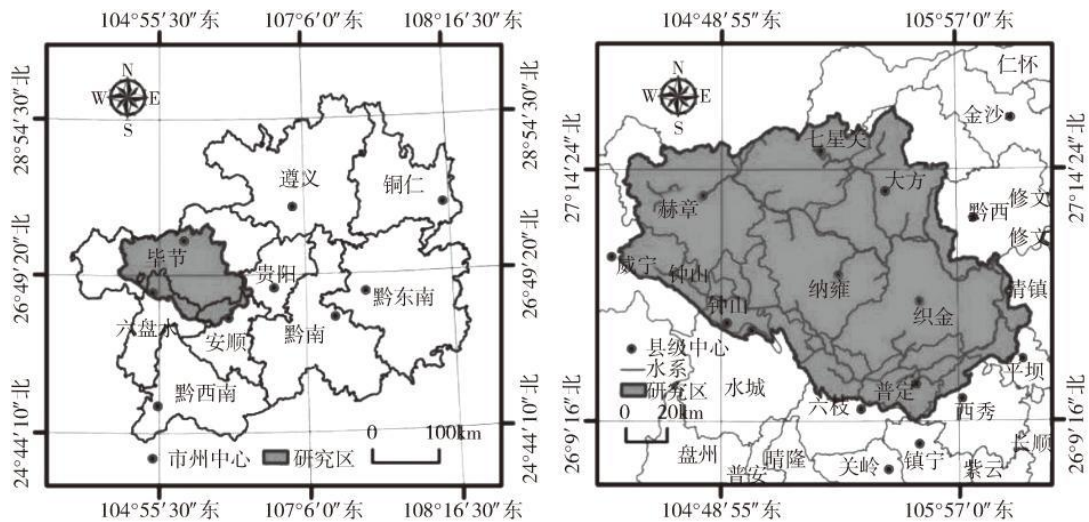


图 1 贵州乌江上游区位概况

1.2 数据与方法

1.2.1 数据来源与检验

贵州乌江上游地区基础 DEM 数据来源于地理空间数据云 (<http://www.gscloud.cn>),后经拼接裁剪后得到,分辨率为 30m。贵州乌江流域矢量边界和河流根据原始 DEM 数据在 ArcGIS10.5 利用空间分析工具中水文分析指令提取得到。贵州省县域矢量数据来源于中国科学院资源环境科学与数据中心 (<https://www.resdc.cn/>)。人口栅格数据来源于欧盟全球人居数据 (<https://ghslsys.jrc.ec.europa.eu/>),时间尺度为 2010 年,分辨率为 1km。

相对用行政区域人口统计数据,人口栅格数据能够在跟小微尺度上更好表现出人口空间分异格局。但栅格数据会出现误差与偏差,需要对其进行精度验证。本文选择纳雍、织金两县作为人口栅格数据验证地区。其中欧盟人口栅格数据比纳雍实际少

4339 人, 误差率为 0.65%;比织金少 870 人, 误差率为 0.11%;而与同期中国科学院资源环境科学与数据中心的人口栅格数据相比, 两县分别比 2010 年普查人口少 4867 人、1761 人, 误差率分别为 0.73%、0.22%, 可见欧盟人口栅格数据精度较高。因此本文选择欧盟全球人居数据作为基础研究数据。

表 1 欧盟全球人居数据检验

地区	2010 人口 普查数据/人	欧盟人口 栅格数据/人	绝对误差/人	误差率/%	中科院人口 栅格数据/人	绝对误差/人	误差率/%
纳雍	670272	665933	4339	0.65	665405	4867	0.73
织金	784119	783249	870	0.11	782358	1761	0.22

1.2.2 研究方法

1) 渔网创建

基于 GIS 渔网(Fishnet)的空间统计分析, 利用 ArcGIS10.5Fishnet 分析工具, 创建贵州乌江上游流域 5km×5km 渔网, 提取该地人口数据, 为提高精度, 剔除不完整格网, 共创格网 634 个。本文采用墨卡托(Mercator)投影创建公里渔网。

2) 空间自相关

空间自相关是衡量区域空间关联性与空间变异性的方法^[32], 利用全局空间自相关(Morans' I 指数)分析人口格网空间分布状态。局部空间自相关通常用于分析某一空间单元与相邻单元的相似性与差异性^[32], 利用局部空间自相关分析人口空间分布的相似性与差异性, 计算公式如下^[29]:

$$I_i = \frac{n(x_i - \bar{x}) \sum_{j=1}^n w_{ij}(x_j - \bar{x})}{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2} \quad (1)$$

式(1)中, I_i 是 Morans' I 指数, 取值 $[-1, 1]$; 大于 0 为正相关, 表示人口分布呈集聚状态; 小于 0 为负相关, 表示人口分布为离散状态。 n 为研究单元数量, x_i 和 x_j 是区域 i 和区域 j 的某种要素属性值的平均值, \bar{x} 是各区域某种要素属性值的平均值, w_{ij} 是空间权重矩阵。

3) Lorenz 曲线

Lorenz 曲线最早用于研究收入分配均衡问题, 在地理学中引入此种方法用于分析区域资源、人口分布的均衡性。Lorenz 曲线对表征区域资源、人口分布状况具有重要指示作用, 曲线越弯曲表示分布越不均匀。本文采用 Lorenz 曲线分析人口空间分布的均衡性, 绘制方法如下^[21]: 依照人口密度从小到达排序, 分别计算人口和面积累计百分比, 以人口累计百分比作为 x 轴, 以面积累计百分比为 y 轴。

4) 相关分析

相关分析是研究现象之间是否存在某种依存关系，并对具有依存关系的现象探讨其相关方向以及相关程度，是研究随机变量之间相互关系的统计方法^[33]。本文以 Pearson 相关系数来分析海拔高程与面积、人口数量、人口密度之间的相关性，相关系数计算公式如下：

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

式(2)中： r_{xy} 为要素 x 与要素 y 之间的相关系数； \bar{x} 与 \bar{y} 分别表示两个要素样本值的平均值。

2 结果与分析

2.1 贵州乌江上游海拔与人口分布特征

2.1.1 海拔分布特征

贵州乌江上游海拔较高，平均海拔为 1675m，海拔 1000m 以上土地面积累积占比达到 99.83%，为典型中山地貌。为更好分析海拔对人口分布的影响，本文将海拔 1000~2000m 称为中低山，海拔 2000m 以上称为中高山。由于海拔低于 1000m 土地面积极少(占比不及 0.2%)，因此将其归入中低山类型。参考以往研究^[23]，本文以 200m 为间隔分析各个海拔人口分布情况。

由表 2 可知，贵州乌江上游以中低山地貌为主(占比 85.44%)，中高山分布较少(占比 14.56%)。从海拔分级来看，各级海拔土地面积相差较大，面积分布峰值区域在 1400~1600m，低值为海拔 1000m 以下及海拔 2600m 以上地区。海拔 1200~2200m 区域内所占有面积较多，面积之和达到 16705.51km²，占整个地区面积的 92%以上；海拔低于 1200m 和高于 2200m 的地区面积之和仅为 1405.34km²，其占比不超过整个地区的 8%。根据各级海拔面积变化，当海拔低于 1600m 时，随着海拔的升高各级海拔的面积也随之上升；当海拔高于 1600m 时，则随海拔的升高面积随之下降；在该研究区内，各级海拔土地面积随着海拔上升呈先增后减的变化特征。由此可见，贵州乌江上游土地主要集中于海拔 1200~2000m 的中低山范围。

表 2 贵州乌江上游各海拔区域面积统计

海拔分级/m	面积/km ²	累积面积/km ²	面积占比/%	累积面积占比/%
<1000	30.16	30.16	0.17	0.17
1000~1200	441.44	471.60	2.44	2.60
1200~1400	2993.18	3464.78	16.53	19.13
1400~1600	4701.70	8166.48	25.96	45.09
1600~1800	3952.04	12118.52	21.82	66.91
1800~2000	3355.81	15474.33	18.53	85.44

2000~2200	1702.78	17177.11	9.40	94.84
2200~2400	699.39	17876.50	3.86	98.71
2400~2600	193.90	18070.40	1.07	99.78
>2600	40.45	18110.85	0.22	100.00

乌江上游地区海拔变化较大,极差超过 1800m,呈西高东低,海拔高程总体自西向东递减(图 2)。中高山主要分布在西北部地区(赫章、钟山之间),除中部地区零星分布中高山以外,中、东部大多为中低山分布。中部为河谷山脉交错区,东部除少数地区海拔超过 1600m 以外,大多数为河谷地貌,其海拔相对较低,大都低于 1600m。总体而言,乌江上游地区海拔高程自西向东逐渐递减。

2.1.2 人口分布特征

人口密度是表现人口空间分异的主要指标,是分析人口在区域范围内差异性及其聚集性的重要参数^[34]。合理的人口密度分级能直观地反映人口分布特征和空间差异^[36],更多的分级可以获取更多信息,便于观察真实的人口分布规律^[34]。由于乌江上游地区人口较多,参考已有学者的研究^[9,35,36],经过对比分析,本文采用十级划分(图 3(a))。

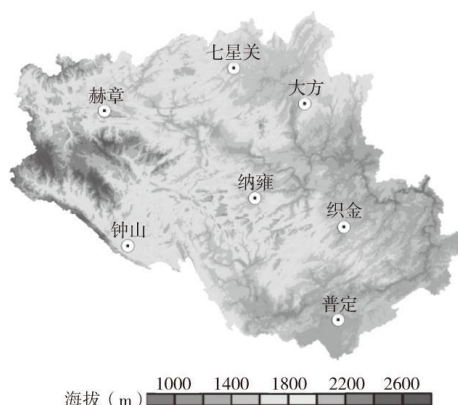


图 2 贵州乌江上游海拔分布图

从区位来看,中部(纳雍、织金以北地区)、南部(普定一带)、北部(七星关、大方一带)等地人口相对集中,多呈带状或块状分布;人口密度大都在 350 人/km² 以上。西部地区、纳雍南部及织金一带人口密度则相对较低,人口较为分散,人口集中地区多呈点状或斑状分布;除少数区域人口密度超过 450 人/km² 以外,其余各地人口密度大都在 250 人/km² 以下,甚至密度不足 50 人/km²。从地形来看,人口集中分布于海拔相对较低的河谷地带,西部以及中偏南部等海拔较高的地区人口分布较少。利用 GeoDa 软件对贵州乌江上游人口渔网进行分析,其莫兰指数为 0.293,Z 值为 11.334,P 值为 0.002,说明人口分布在空间上具有聚集性。通过局部空间自相关(图 3(b))来看,高-高聚集主要集中在城市附近;低-低则主要分布在纳雍、赫章以南以及东部。总体来看,贵州乌江上游地区人口空间分布差异较为显著,其人口分布相对分散但却分布不均,呈“大分散、小集中”的分布状态。

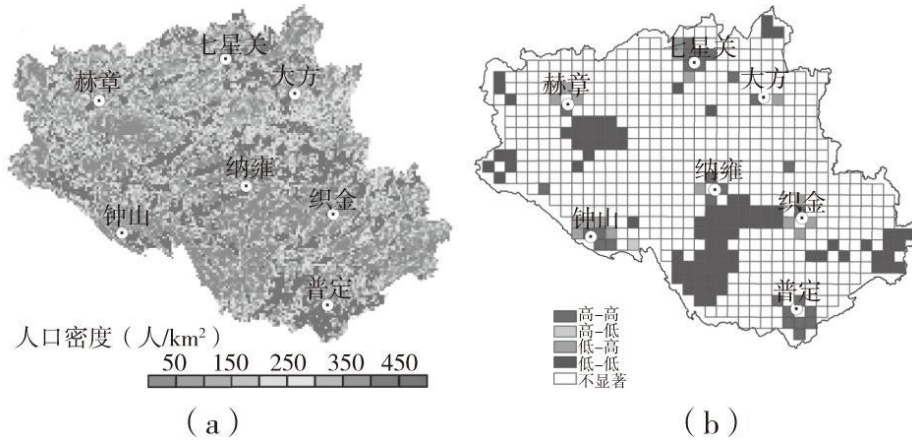


图3 贵州乌江上游人口空间分布图

从人口密度分级来看(表3),乌江上游人口密度低于 50 人/ km^2 的所占面积最大, 面积达到 3231 km^2 , 占比近 19%, 而人口却仅为 4.19 万人。人口密度在 350 人/ km^2 以下的地区面积累积达到 13163 km^2 , 面积占比近 77%, 但其人口累积仅为 192.90 万人, 其人口占比却不足该区域总人口的 40%。人口密度在 450 人/ km^2 以上的地区面积虽然只有 2190 km^2 , 但是人口却达到了 241.30 万人, 人口占比超过该区人口总量的 47%, 表明乌江上游人口分布不均衡。

表3 贵州乌江上游地区人口密度统计表

人口密度/(人/ km^2)	面积/ km^2	面积占比/%	总人数/万人	人数占比/%
<50	3231	18.89	4.193	0.83
50-100	1779	10.40	13.5086	2.68
100-150	1891	11.05	23.7115	4.70
150-200	1854	10.84	32.5588	6.46
200-250	1682	9.83	37.8916	7.52
250-300	1485	8.68	40.7932	8.09
300-350	1241	7.25	40.247	7.99
350-400	935	5.47	35.0085	6.95
400-450	820	4.79	34.8386	6.91
>450	2190	12.80	241.2807	47.87

将各人口密度绘制 Lorenz 曲线图(图4), Lorenz 曲线与绝对平均线差距明显, 弯曲较大, 表明乌江上游地区面积与人口数量不相匹配, 人口分布不均衡, 高人口密度区成为该地人口主要承载区。

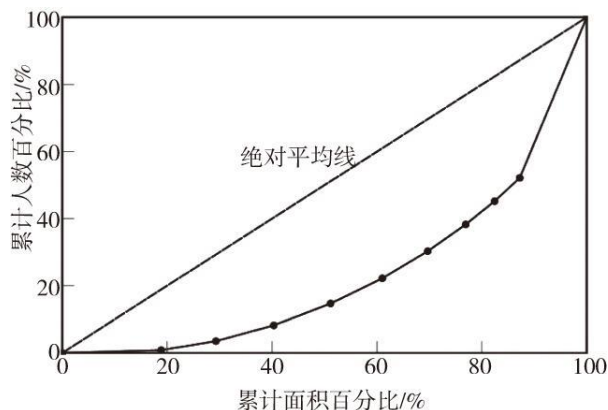


图4 贵州乌江上游人口分布 Lorenz 曲线

2.2 人口分布垂直带性特征

2.2.1 人口数量与人口密度垂直分布带性特征

贵州乌江上游人口数量随海拔升高呈先升高后波动下降趋势。根据(图 5(a))拟合结果显示,虽二次项线性拟合优度不足 0.6,但也能够反映人口数量随海拔的变化趋势。当海拔低于 1600m 时,人口数量随海拔的升高而逐渐增加。在海拔 1400~1600mm 时人口数量达到最高值,人口数量为 146.67 万人,其人口占比接近该区域总人口的 30%。海拔高于 1600m 时,虽然在海拔 1800~2000m 时人口总量略有上升但总体呈现下降的趋势。海拔低于 1000m 及海拔高于 2600m 的人口极少,其人口数量不足 1 万人,人口占比不足该区域的 0.02%;而海拔在 1200~2000m 的人口数量为 444.91 万人,人口占总人口的 90.36%,表明在乌江上游地区人口主要分布在海拔 1200~2000m 的中低山,而在中高山人口数量较少。

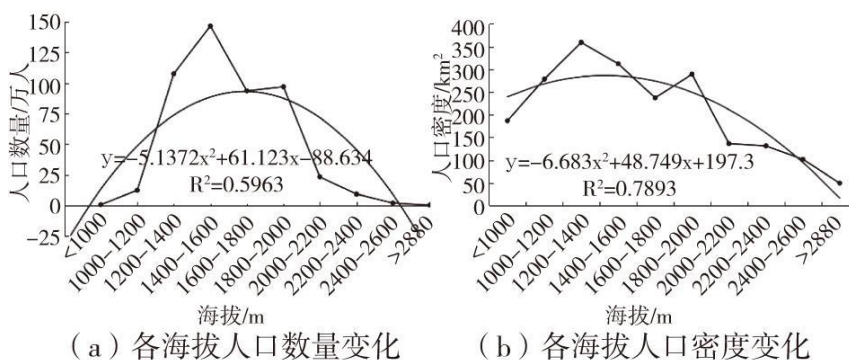


图5 乌江上游人口数量、密度变化特征

乌江上游地区人口密度并非随着海拔上升而降低,表现出随海拔升高呈先升高后波动下降的特征(图 5(b))。海拔 1200~1400m 的人口密度达到最高值,人口密度超过 350 人/km²;海拔 1400~1600m 地区人口密度也较高,超过 310 人/km²;海拔 1800~2000m 是人口密度相对较高的区域,人口密度接近 290 人/km²。人口稀少地区集中于海拔 2000m 以上的中高山及海拔低于 1000m 的中低山,人口密度均不足 200 人/km²。当海拔达到 2000m 以上时,人口密度随着海拔的逐渐升高而逐渐下降,其中当海拔达到 2600m 以上时人口密度达到最低值,其人口密度不足 50 人/km²。根据二次项线性拟合结果显示,拟合优度达到了 0.79,拟合效果相对较好,能反映乌江上游地区人口密度随海拔高程的变化特征。

2.2.2 海拔高程与人口的关系

海拔 1600m 是各海拔人口数量及其面积变化的重要转折点, 在此处作为分割点分别对 1600m 以下及 1600m 以上的区域进行海拔与人口数量、人口密度、各分级海拔面积之间的分析具有重要的作用。具体方法如下: 以 1600m 作为间断点, 以各分级上限作为参考点(如海拔低于 1000m 取值 1000m, 1200~1400m 取值 1400m, 海拔高于 2600m 取值 2800m)。由于海拔分级样本数量极少, 其样本数仅为 10 组, 加之样本分为两部分进行分析; 在海拔高于 1600m 时, 仅海拔与人口数量的显著性低于 0.05, 其余的显著性均大于 0.05, 其显著性大都不明显, 虽然其对相关分析有影响但此处仅用相关分析来分析变化趋势。

根据表 4 分析结果, 当海拔低于 1600m 时, 海拔高程与人口数量、面积、人口密度的相关系数均大于 0 且绝对值大于 0.8, 表明为正相关并且具有较强的线性关系; 海拔低于 1600m 时, 随着海拔的逐渐上升, 人口数量、面积、人口密度也随之上升。当海拔高于 1600m 时, 海拔高程与人口数量、面积、人口密度的相关系数均小于 0 且绝对值大于 0.8, 表明其为负相关并且具有较强的线性关系; 海拔高于 1600m 时, 人口数量、面积、人口密度随着海拔的上升而递减。无论是海拔低于 1600m 或高于 1600m, 人口数量、面积、人口密度与其相关系数绝对值均大于 0.8, 表明海拔对人口数量、人口密度及各海拔区域面积具有重要的影响, 人口分布表现出明显的垂直性特征。

表 4 海拔与人口数量、面积、人口密度相关性分析

项目	海拔≤1600m			海拔>1600m		
	人口数量	面积	人口密度	人口数量	面积	人口密度
相关性	0.970*	0.962	0.809	-0.966**	-0.900	-0.904
显著性	0.030	0.380	0.191	0.002	0.140	0.130

注: **表示在 0.01 级别(双尾), 相关性显著, *表示在 0.05 级别(双尾), 相关性显著。

3 结论与讨论

3.1 结论

基于 DEM 数据和 2010 年人口栅格数据, 利用渔网分析、空间自相关、Lorenz 曲线、相关分析等研究乌江上游地区人口分布与海拔高程的关系, 主要结论如下:

(1) 乌江上游人口分布相对分散, 呈现“大分散, 小集中”的分布特点; 从空间分布来看, 北部、中部以及南部区域人口较为集中, 人口密度较高, 城市是人口聚集的主要区域。

(2) 从海拔分级来看, 区域人口分布不均衡。人口集中在海拔 1200~2000m 的区域内, 人数占比达到 90%以上, 其中海拔 1200~1400m 是该地人口最为集中的区域, 人口密度达到 350 人/km² 以上; 海拔高于 2600m 的人口数量和人口密度均达到该区域最低值, 人口密度不足 50 人/km²; 人口主要集中在 1200~2000m 的中低山区域。

(3) 海拔与人口数量、面积、人口密度均具有很强的相关性; 随着海拔的逐渐升高, 各分级海拔人口数量、面积、人口密度均呈先增后减的倒“U”型变化特征。

3.2 讨论

乌江上游地区人口水平分布与垂直分布不均,人口数量与人口密度具有很强的垂直性特征,表明海拔对人口空间分布具有重要的作用。

各级海拔面积与海拔高程具有很强的相关性,土地面积随海拔上升呈先增后减的变化特征,土地集中分布在海拔 1200~2000m 的地区,海拔低地与海拔高地面积极少。原因在于:乌江流域地处第三阶梯向第一阶梯的过渡地带,中部地形较为平缓;加之喀斯特地貌显著,海拔低处呈现峡高、谷深、坡陡,导致海拔低地面积极少,而高原面上地平坡缓,导致土地面积集中于中海拔地区^[32]。土地面积对区域人口有重大影响,面积越大,自然资源越丰富,能够承载的人口数量越多,对人口集聚有促进作用。

海拔对人的影响主要是通过以下两方面产生。一是通过人居环境的适宜性影响人口分布。海拔高程直接导致气压、气温、太阳辐射强度的变化^[37];海拔升高气温降低、气压下降、紫外辐射增强。较低的气温不利于人们生活;气压下降则会导致空气中的氧气含量下降,对人的生理机能会产生重要的影响;较强的紫外辐射则会增加人患病的机率,不适宜的气候条件对人的生长与发育具有限制作用。二是通过对农业生产间接对人产生影响。农作物生长是在光照、热量、土壤、水分等自然条件综合作用而成。海拔对光、热组合产生重要的影响;光照对农作物品质具有重要作用,热量则直接影响产量;海拔的上升,会导致气温下降,光照增强,两者虽然都对农业生产具有影响,但乌江流域的农业生产以亚热带作物为主,温度则是影响该区域的农业生产的主要因素。同时,海拔高程也会导致水土组合发生变化,根据乌江流域土壤侵蚀的高程研究^[38],乌江流域土壤侵蚀以水力侵蚀为主,海拔低地与海拔高地强度与极强度侵蚀作用显著,水土流失对乌江流域农业生产具有巨大的限制作用。

当前在海拔与人口分布研究中以行政单元稍多,以行政区来划分使得研究单元稍大,同时也加入人为因素影响,对海拔与人口分布研究产生了一定的干扰。人口栅格数据在更小尺度上能够反映人口信息;同时也减少了行政区划的干扰,这是本文研究的优势之一。但栅格数据与实际人口存在偏差;同时在数据更新上慢于人口统计数据,这是栅格数据的劣势,也是本文不足之处。在后续研究中,采用较新人口栅格数据以及与人口统计数据相结合是后续研究的重点。

参考文献:

- [1]沈思连,王春伟,汤静.基于 GWR 模型的河南省人口分布的影响因素研究[J].数学的实践与认识,2014,44(3):165-174.
- [2]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.
- [3]贾占华,谷国锋.东北地区人口分布的时空演变特征及影响因素[J].经济地理,2016,36(12):60-68.
- [4]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.
- [5]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):33-74.
- [6]胡焕庸.中国人口的分布、区划和展望[J].地理学报,1990(2):139-145.
- [7]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(10):1073-1082.
- [8]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.

-
- [9] 敬博, 李同昇, 温伯清, 等. 基于地形因素的秦巴山区人口-经济空间格局及其影响机制研究[J]. 地理科学, 2020, 40(5):793-803.
- [10] 罗娅, 杨建红, 周秋文, 等. 贵州高原山区正负地形特征及其对人口分布的影响[J]. 世界地理研究, 2021, 30(1):204-212.
- [11] 史莎娜, 谢炳庚, 胡宝清, 等. 桂西北喀斯特山区人口分布特征及其与自然因素的关系[J]. 地理科学, 2019, 39(9):1484-1495.
- [12] 钟静, 卢涛. 基于地形起伏度的中国西南地区人口格局分析[J]. 干旱区资源与环境, 2018, 32(11):93-98.
- [13] 罗君, 石培基, 张学斌. 兰西城市群人口分布格局及其与地形要素的关系[J]. 经济地理, 2020, 40(6):106-115.
- [14] 张珊, 查小春, 刘恺云. 地形起伏特征对汉中市人口与经济的空间分布格局影响研究[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020, 42(8):138-148.
- [15] 封志明, 张丹, 杨艳昭. 中国分县地形起伏度及其与人口分布和经济发展的相关性[J]. 吉林大学社会科学学报, 2011, 51(1):146-151.
- [16] 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[J]. 遥感信息, 2002(4):61-64.
- [17] 陈浩, 董廷旭, 李勇, 等. 基于海拔高程的四川省少数民族自治州人口格局演化研究[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(11):84-90.
- [18] 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.
- [19] 章金城, 周文佐. 四川省地形起伏度与人口/经济的空间自相关关系[J]. 水土保持通报, 2019, 39(1):250-257.
- [20] 杨成凤, 韩会然, 李伟, 等. 四川省人口分布的时空演化特征研究[J]. 经济地理, 2014, 34(7):12-19.
- [21] 罗君, 石培基, 张学斌. 基于乡镇尺度的兰西城市群人口分布特征及其影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2020, 34(7):104-111.
- [22] 周亮, 徐建刚, 林蔚, 等. 秦巴山连片特困区地形起伏与人口及经济关系[J]. 山地学报, 2015, 33(6):742-750.
- [23] 程东亚, 李旭东. 贵州省乌江流域人口分布与地形的关系[J]. 地理研究, 2020, 39(6):1427-1438.
- [24] WANG L, FENG Z, YANG Y. The change in population density from 2000 to 2010 and its influencing factors in China at the county scale[J]. Journal of geographical sciences, 2015, 25(4):485-496.
- [25] 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.
- [26] 易武英, 苏维词. 基于RS和GIS技术的乌江流域生态环境质量现状诊断[J]. 中国岩溶, 2013, 32(4):447-452.

-
- [27]安芬, 李旭东, 程东亚. 贵州省乌江流域生态脆弱性评价及其空间变化特征[J]. 水土保持通报, 2019, 39(4):261-269.
- [28]王德怀, 李旭东. 贵州乌江流域人口与经济发展协调性研究[J]. 地理科学, 2019, 39(3):477-486.
- [29]张继, 周旭, 蒋啸, 等. 贵州高原不同地貌区和植被类型水分利用效率的时空分异特征[J]. 山地学报, 2019, 37(2):173-185.
- [30]李昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等. 基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例[J]. 生态学报, 2011, 31(12):3255-3264.
- [31]李旭东, 张善余. 贵州喀斯特高原人口分布与自然环境定量研究[J]. 人口学刊, 2006(3):49-54.
- [32]詹建益, 黄观超, 周华, 等. 华北地区颗粒物浓度时空分布特征及其因素[J]. 自然资源学报, 2021, 36(4):1036-1046.
- [33]徐建华. 计量地理学[M]:北京: 高等教育出版社, 2014:84-85.
- [34]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.
- [35]张慧. 河北省人口分布地域格局时空演变分析[J]. 地域研究与开发, 2014, 33(1):170-175.
- [36]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[J]. 地理学报, 2009, 64(2):202-210.
- [37]杨海艳. 我国人居适宜性的海拔高度分级研究[D]. 南京: 南京师范大学, 2013.
- [38]王尧, 蔡运龙, 潘懋. 贵州省乌江流域土壤侵蚀与地貌特征的关联分析[J]. 水土保持通报, 2013, 33(3):7-12.