

# 贵州省乌江流域人口分布与地形的关系

程东亚, 李旭东

(贵州师范大学地理与环境科学学院, 贵阳 550025)

**摘要:**研究流域人口分布与地形的关系,有助于了解地理环境对人口分布的影响。以贵州省乌江流域为研究区,基于DEM数据和人口数据,提取海拔、坡度、起伏度等地形因子,研究人口分布与地形因子的关系。研究结论:①人口数量在海拔800~1400 m的地区超过60%,人口密度在1000~1200 m的地区最高。②人口数量与人口密度随着坡度上升总体呈下降趋势。③人口密度在起伏度小于50 m的地区超过1000人/km<sup>2</sup>,人口密度随着起伏度上升总体呈下降趋势。

**关键词:**人口;人口分布;地形;关系;乌江流域;贵州

DOI: 10.11821/dlyj020181409

## 1 引言

人口分布影响区域发展和国民经济政策制定,同时也是学术研究的热点话题。目前关于人口研究的文献涉及较多层面,人口生育<sup>[1,2]</sup>、人口时空演变<sup>[3,4]</sup>、人口迁移<sup>[5,6]</sup>、人口老龄化<sup>[7,8]</sup>、人口与经济的关系<sup>[9,10]</sup>等都是较为热门的研究课题。山地流域人口分布与地形的关系是人口研究的重要领域,也是流域科学、地理科学研究的重要方面。

地理环境影响人口空间分布,两者关系密切。众多的地理环境因子中,地形无疑是最重要的因子之一。随着社会经济的发展,人口分布的流动性迁移增强,地形对人口分布的影响在一定程度上有所减弱。人口分布与地形的关系研究中,20世纪90年代叶文振探究了江西人口分布的地形区域特征,并阐述了不同地形类型对人口分布的影响<sup>[11]</sup>。进入21世纪,伴随着地理信息技术的快速发展,研究人口分布与地形关系的成果更加精细化、多样化、信息化。按照研究尺度的精细程度可以划分为两个主要类别:①基于行政区人口数据,探究人口分布与地形的关系。如章金城等、南仁永等分别研究了四川省、云南省人口分布与地形的关系<sup>[12,13]</sup>,封志明等探究了中国县域尺度人口分布与地形起伏的关系<sup>[14]</sup>。②利用精细化的小尺度栅格数据探究人口分布与地形的关系。如封志明等利用栅格人口数据和栅格地形数据探究了中国人口分布与地形起伏的相关性<sup>[15]</sup>,王兰辉等探究了边疆地区人口分布与地形的关系<sup>[16]</sup>。针对地形因子的选取,关注地形起伏的成果是主流<sup>[14,15,17-19]</sup>,关于其他地形因子对人口影响的研究相对薄弱<sup>[20,21]</sup>。从研究对象上看,对行政区的研究略多<sup>[17,18,22,23]</sup>,对流域等自然区域<sup>[21,24]</sup>的研究需要加强。

综上,采用1 km×1 km栅格人口数据,探究流域层面人口分布与地形因子的关系,期望研究成果能为流域经济社会发展和生态保护提供参考,并为相关研究提供借鉴。

收稿日期:2018-12-22; 修订日期:2019-04-28

基金项目:国家自然科学基金项目(41261039);美国能源基金项目(G-1601-24189)

作者简介:程东亚(1994-),男,安徽亳州人,硕士研究生,主要研究方向为资源利用与低碳发展。

E-mail: wwwcdongya@yeah.net

通讯作者:李旭东(1969-),男,湖南邵东人,博士,教授,硕士生导师,主要研究方向为人口地理与区域发展,应对气候变化与低碳经济。E-mail: 616507732@qq.com

## 2 研究区概况与研究方法

### 2.1 研究区概况

乌江位于中国西南地区，是长江上游的重要支流。乌江发源于乌蒙山区，主要流经重庆、贵州等省市，流域总面积 $8.79 \text{万 km}^2$ <sup>[25]5-9</sup>。贵州省域内乌江流经贵阳、遵义、毕节等中北部地区（图1），流域面积约为 $6.75 \text{万 km}^2$ <sup>[25]5-9</sup>。本文研究区为贵州省域内的乌江流域，自六盘水至德江海拔总体处于逐渐降低趋势，生态环境脆弱，是中国典型的喀斯特分布区。研究区以亚热带季风气候为主，降水相对丰富，气温较为适宜；同时，地理环境复杂，经济社会发展水平差异较大。为了方便研究表述，将研究区分为三段： $106^\circ\text{E}$ 以西称为上段（主要包括毕节、六盘水、安顺以西）， $106^\circ\text{E}$ 以东、 $28^\circ\text{N}$ 以南称为中段（主要包括贵阳、遵义、安顺以东）， $28^\circ\text{N}$ 以北称为下段（主要包括思南以北的区域）。

### 2.2 数据来源

DEM数据来源于中国科学院计算机网络信息中心地理空间数据云平台（<http://www.gscloud.cn>），分辨率为90 m。人口数据来源于国家科技基础条件平台—国家地球系统科学数据中心（<http://www.geodata.cn>），数据集的名称为中国公里网格人口分布数据集<sup>[26]</sup>，数据精度为1 km，时间为2010年。流域边界采用高德地图、行政区划地图、DEM数据对比校正，本文研究区面积略大，尚可满足研究需求，水系采用DEM提取。

### 2.3 数据处理

**2.3.1 数据投影** DEM数据、栅格人口数据、行政区划等经过前期预处理，并进行统一投影，减小数据运算误差，方便后期进行运算。

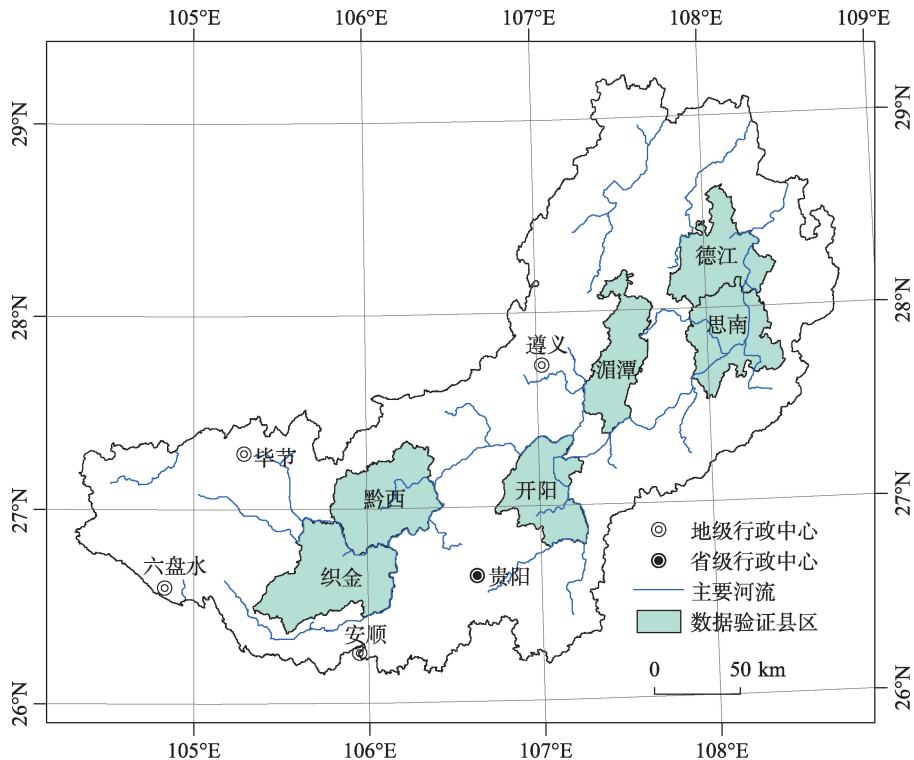


图1 贵州省乌江流域位置示意图

Fig. 1 Location of the Wujiang River Watershed in Guizhou province

**2.3.2 地形因子提取** 根据DEM数据,采用ArcGIS软件,提取坡度(slope)、海拔(altitude)。地形起伏度(topographic relief, TR)无法直接提取,参考相关研究资料<sup>[27]</sup>,采用11×12像元范围内海拔的最大值与最小值之差提取<sup>[27]</sup>。地形起伏度的计算方法如下<sup>[27]</sup>:

$$TR = Max - Min \quad (1)$$

式中:Max为海拔最大值;Min为海拔最小值;TR为地形起伏度。

**2.3.3 地形因子重分类** 本文对地形因子的划分均为等间距划分,结合研究区地形因子平均值、最大值、最小值、重要间断点、占比等确定具体范围。海拔划分以200 m为间隔,小于600 m和大于2200 m占比均不足5%,两个等级单独划分。15°、25°、30°、45°是重要的坡度分界点,考虑重要间断点,坡度划分以5°为间隔。地形起伏度的划分,主要考虑研究区起伏度的平均值、最大值、最小值。为方便全文表达,海拔1000 m以下称为低山,1000 m以上称为中山<sup>[28]</sup>;地形起伏度200 m以下称为低起伏、200~300 m称为中起伏,300 m以上称为高起伏。地形因子的重分类结果如表1所示。

**2.3.4 分区统计** 利用ArcGIS中分区统计工具,统计不同地形因子与人口关系,并利用Excel软件进行后期处理与图表制作。

## 2.4 研究方法

**2.4.1 相关分析** 采用Spearman等级相关系数探究地形因子与人口数量、人口密度关系,相关分析的表达式为<sup>[29]</sup>:

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum_{i=1}^n d_i^2}{n(n^2 - 1)} \quad (2)$$

式中: $r_s$ 表示相关系数; $n$ 为样本容量; $d_i$ 表示两变量等级之差。

**2.4.2 误差识别** 采用绝对误差与相对误差检验栅格数据精度,相对误差以100%表示,两种误差的表达式为<sup>[30]</sup>:

$$E_1 = x_i - x_n \quad (3)$$

$$E_2 = \frac{x_i - x_n}{x_n} \times 100\% \quad (4)$$

式中: $x_n$ 为*i*点实际值; $x_i$ 为第*i*点预测值; $n$ 为样本数; $E_1$ 、 $E_2$ 为绝对误差和相对误差。

表1 地形因子数据重分类

Tab. 1 Topographic factors data reclassification

海拔(m)		坡度(°)		起伏度(m)	
分类	划分思路	分类	划分思路	分类	划分思路
< 600	根据各等级海拔占比,以及研究区海拔最大值、最小值进行划分	< 5	考虑 15°、25°、30°、45°等重要间断点进行划分	< 50	根据地形起伏度平均值、最大值、最小值进行划分
600~800		5~10		50~100	
800~1000		10~15		100~150	
1000~1200		15~20		150~200	
1200~1400		20~25		200~250	
1400~1600		25~30		250~300	
1600~1800		30~35		300~350	
1800~2000		35~40		350~400	
2000~2200		40~45		400~450	
≥2200		≥45		≥450	

### 3 人口与地形空间分布特征

#### 3.1 人口空间分布特征

研究区上段与中段人口稠密,下段人口相对稀疏(图2)。上段大部分地区人口密度在 $300\text{人}/\text{km}^2$ 以上,部分河谷地区在 $500\text{人}/\text{km}^2$ 以上。上段偏中南部中山区人口相对稀疏,人口密度低值大致呈东西向延伸。中段人口主要集中在贵阳与遵义的市区,人口密度多在 $500\text{人}/\text{km}^2$ 以上。下段的人口密度多在 $300\text{人}/\text{km}^2$ 以下。

从分等级人口密度看(表2),研究区人口密度小于 $100\text{人}/\text{km}^2$ 的面积最大,但其人口占比最小。人口密度小于 $300\text{人}/\text{km}^2$ 的面积累计占比80%左右,人口数量累计占比不到35%。人口密度在 $500\text{人}/\text{km}^2$ 以上的面积不足5%,但其人口数量占比超过40%。总之,研究区人口分布极不均衡,人口高密度区是承载人口的重要基础。

#### 3.2 地形因子空间分布特征

研究区海拔自上段到下段总体逐渐降低(图3a)。上段海拔多为 $1500\text{m}$ 以上的中山,部分河谷地带海拔较低。沿上段向东北方向,海拔降低至中段 $1000\text{m}$ 左右。下段海拔多为 $1000\text{m}$ 以下的低山,河流干流海拔相对较低。研究区海拔 $1000\text{m}$ 以下的地区占比不足40%,表明以中山分布为主(表3)。

研究区坡度总体呈现中段低、下段高的空间特征(图3b)。坡度较低的地区主要分布在贵阳和安顺的周边,以及遵义西侧。下段河谷地区坡度相对较低,两侧坡度较高。坡度小于 $5^\circ$ 的地区占研究区比例为15.11%,坡度小于 $25^\circ$ 的地区占比超过90%(表3)。

研究区地形起伏度总体呈现中段较低、上段和下段较高的空间特征(图3c)。上段主要是中起伏度区,但也有部分山区起伏度较高。中段的起伏度较低,地形平坦地区集中

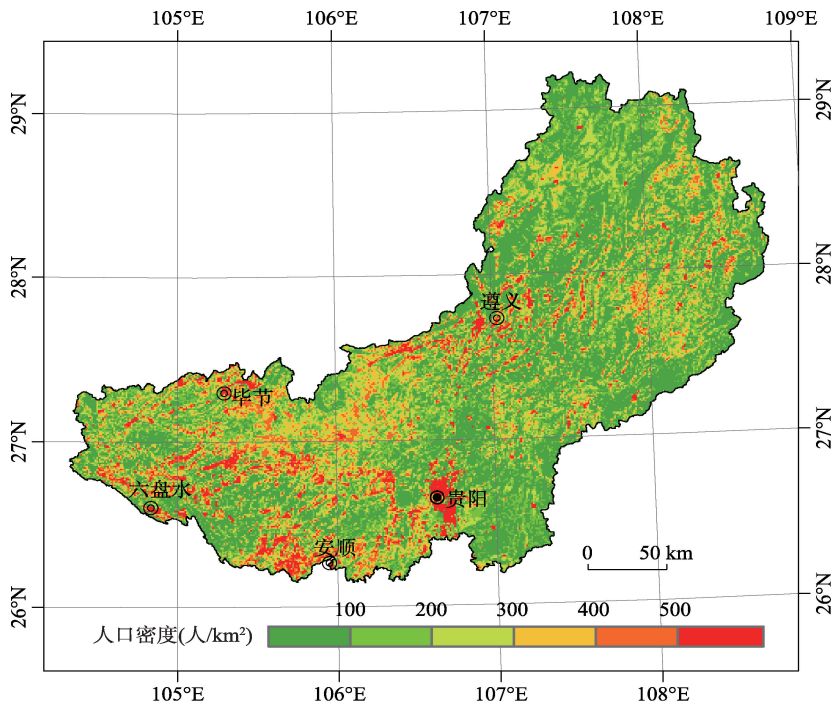


图2 贵州省乌江流域人口空间分布图

Fig. 2 Spatial distribution of population of the Wujiang River Watershed in Guizhou province

表2 贵州省乌江流域人口分布分等级统计特征

Tab. 2 Statistical characteristics of population distribution of the Wujiang River Watershed in Guizhou province

人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	面积			人口		
	面积(km <sup>2</sup> )	占比(%)	累计(%)	人口(万人)	占比(%)	累计(%)
< 100	26828.57	39.12	39.12	92.07	5.10	5.10
100~200	16462.20	24.00	63.12	244.68	13.55	18.64
200~300	11628.41	16.95	80.08	288.02	15.94	34.59
300~400	6661.04	9.71	89.79	229.97	12.73	47.32
400~500	3655.50	5.33	95.12	163.36	9.04	56.36
≥500	3348.46	4.88	100.00	788.23	43.64	100.00
累计	68584.18	100.00		1806.33	100.00	

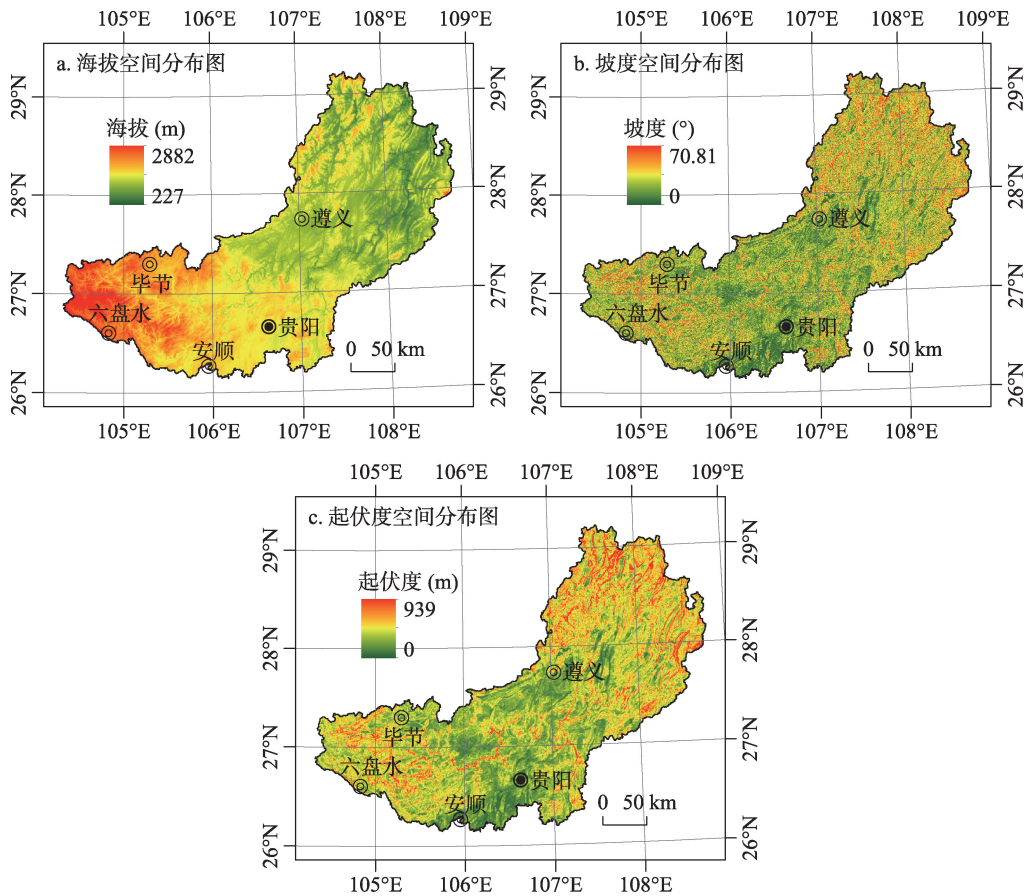


图3 贵州省乌江流域地形因子空间分布图

Fig. 3 Topographic factors spatial distribution of the Wujiang River Watershed in Guizhou province

于贵阳-安顺、贵阳-遵义等黔中地带。下段的起伏度明显高于中段。研究区起伏度小于50 m的地区占比不足3%，在一定程度上表明了以山地为主的自然地理环境（表3）。

#### 4 人口分布与地形的关系

将数据统一整理后，利用Excel软件统计两者之间的关系和变化趋势。利用指数、对

表3 贵州省乌江流域不同地形因子分等级统计特征

Tab. 3 Statistical characteristics of topographic factors of the Wujiang River Watershed in Guizhou province

海拔			坡度			起伏度		
海拔(m)	占比(%)	累计(%)	坡度(°)	占比(%)	累计(%)	起伏度(m)	占比(%)	累计(%)
< 600	3.82	3.82	< 5	15.11	15.11	< 50	2.68	2.68
600~800	11.16	14.97	5~10	24.13	39.25	50~100	10.63	13.31
800~1000	21.05	36.02	10~15	23.34	62.58	100~150	18.63	31.94
1000~1200	18.04	54.05	15~20	17.03	79.61	150~200	20.33	52.27
1200~1400	20.54	74.59	20~25	10.48	90.10	200~250	17.47	69.74
1400~1600	10.72	85.32	25~30	5.59	95.69	250~300	12.63	82.37
1600~1800	6.24	91.56	30~35	2.60	98.29	300~350	7.98	90.35
1800~2000	4.77	96.32	35~40	1.08	99.37	350~400	4.57	94.92
2000~2200	2.36	98.68	40~45	0.41	99.77	400~450	2.54	97.45
≥2200	1.32	100.00	≥45	0.23	100.00	≥450	2.55	100.00
累计	100.00			100.00			100.00	

数、线性、二次项、幂曲线对两者关系进行模拟,判断其基本变化趋势。模拟结果选择最大拟合优度,若拟合优度 $R^2 < 0.90$ ,则拟合曲线用虚线表示。若 $R^2 \geq 0.90$ ,则拟合曲线用实线表示(图4~图6)。

#### 4.1 人口分布与海拔的关系

研究区海拔800~1400 m人口数量较多,峰值在1000~1400 m范围内(图4a)。小于600 m、600~800 m、800~1000 m三个海拔范围,人口数量分别为70.42万人、148.38万人、354.58万人。海拔1000~1200 m、1200~1400 m的人口数量均超过400万人。海拔超过1400 m后,人口数量呈现下降趋势。当海拔到2200 m以上,人口数量稀少。经过统计显示,海拔800~1400 m,人口占比超过60%。根据二次项曲线基本趋势可以发现,随着海拔的上升,研究区人口数量总体呈现先上升后下降的趋势。

随着海拔上升,研究区的人口密度并非直线上升或下降,但部分海拔范围人口密度相对较高。海拔1000~1200 m人口密度最高,超过300人/km<sup>2</sup>。人口密度较低的地区主要分布在600~800 m的低山区、2000 m以上的中山区。海拔1200~1400 m是人口密度的次高值区域,人口密度为286.08人/km<sup>2</sup>。观察二次项拟合曲线可以发现(图4b),拟合优度不足0.60,拟合效果相对较差,但拟合曲线总体趋势反映了人口密度的高值区域。

#### 4.2 人口分布与坡度的关系

随着坡度的上升,研究区人口数量总体处于下降趋势(图5a)。坡度5°以下的地区,人口数量最多。坡度超过45°,人口数量最低,不足2万人。图5a中可以发现,大致在坡度小于30°的范围内,各等级人口数量下降较为迅速。当坡度超过30°,人口数量相对较低且变化总体平稳。观察二次项曲线拟合可以发现,拟合优度接近1.00,拟合效果很好。若放到更大的坡度等级(如坡度大于60°),二次项拟合曲线可能存在偏差。

随着坡度上升,研究区人口密度总体处于下降趋势(图5b)。坡度小于5°的地区,人口密度最高,在500人/km<sup>2</sup>以上。坡度5°~10°的地区人口密度为279.95人/km<sup>2</sup>。坡度10°~15°的地区人口密度下降到200人/km<sup>2</sup>左右。大致在坡度15°以上,特别是坡度超过25°,人口密度总体呈现缓慢平稳的下降趋势。从幂拟合曲线来看(图5b),拟合优度在0.90

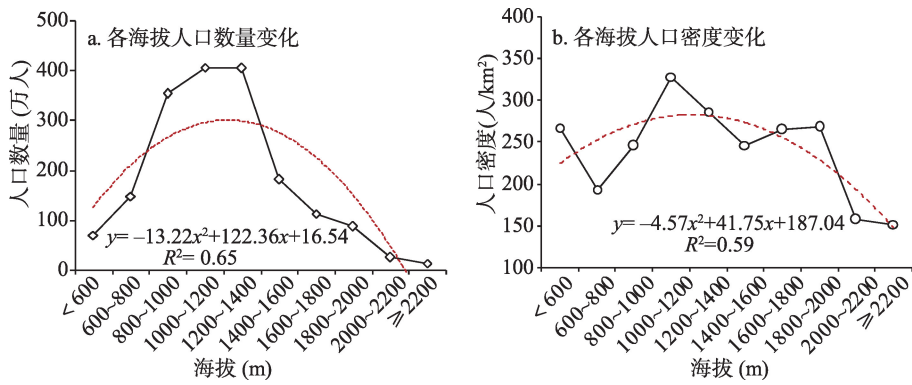


图4 贵州省乌江流域各海拔人口变化特征

Fig. 4 Population changes at each altitude of the Wujiang River Watershed in Guizhou province

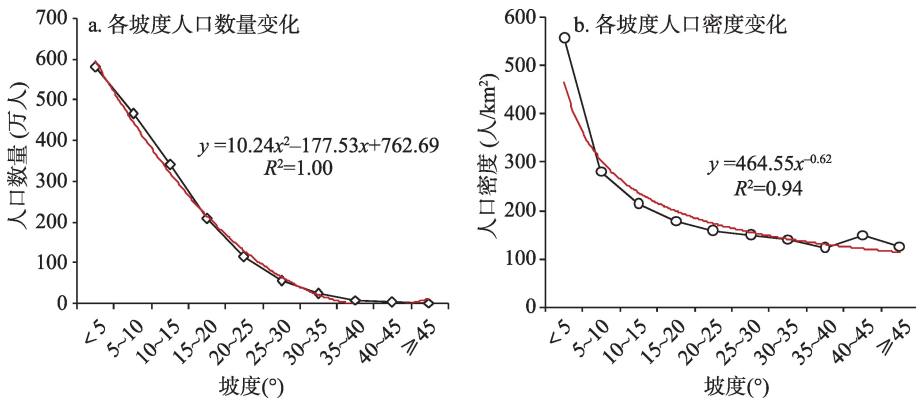


图5 贵州省乌江流域各坡度人口变化特征

Fig. 5 Population changes on each slope of the Wujiang River Watershed in Guizhou province

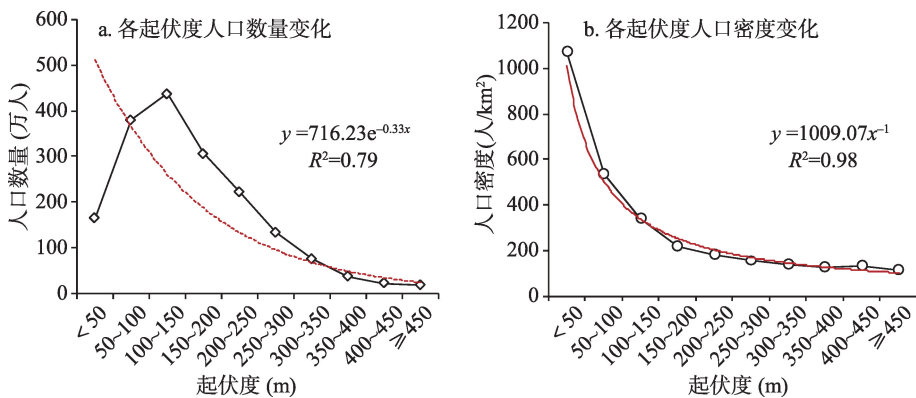


图6 贵州省乌江流域各起伏人口变化特征

Fig. 6 Population changes on each topographic relief of the Wujiang River Watershed in Guizhou province

以上，很好地反映了随着坡度变化，人口密度的变化趋势。

### 4.3 人口分布与起伏度的关系

随着起伏度的上升，研究区人口数量总体呈先上升后下降的变化趋势（图6a）。在起

伏度低于 150 m 的地区, 人口数量随起伏度增加基本维持上升趋势, 起伏度 100~150 m 的地区是人口分布的峰值区域。起伏度超过 150 m, 人口数量呈现下降趋势。起伏度超过 450 m, 人口数量不足 50 万人。观察指数拟合曲线 (图 6a), 拟合优度虽然达到了 0.79, 但其模拟具有一定偏差, 起伏度 150m 以下, 人口数量的上升趋势未能体现。

随着起伏度上升, 人口密度总体呈下降趋势。起伏度小于 50 m 的地区, 人口密度最高, 超过 1000 人/km<sup>2</sup>。在起伏度低于 200 m 的地区, 人口密度随起伏度增加而下降的趋势较快。起伏度为 200~450 m 的地区, 人口密度下降至 200 人/km<sup>2</sup> 以下。起伏度为 450 m 以上的地区, 平均人口密度仅为 112.53 人/km<sup>2</sup>。从拟合曲线来看 (图 6b), 幂曲线拟合效果较好, 基本反映了人口密度随着起伏度变化的规律。

#### 4.4 人口与地形的相关关系

相关分析是判断两者关系的重要工具。为了定量探究研究区地形因子与人口分布的关系, 将海拔、坡度、起伏度进行量化处理。具体处理方式: 地形因子取值为某个范围中间值 (如起伏度 50~100 m 取值为 75 m, 大于 450 m 取值 475 m), 人口数量与人口密度也取分等级中间值。经过定量处理后, 获取相关分析样本。其样本数量相对较少, 仅为 10 组样本。因此, 本文相关分析仅用来判断基本趋势关系。

相关分析的结果显示 (表 4), 海拔与人口密度、人口数量呈现负相关, 但其结果并不显著。结合上文可知, 随着海拔变化, 研究区人口数量、人口密度并非完全负相关, 此处相关分析的参考意义不大。坡度与人口密度、人口数量都呈现显著负相关, 相关系数绝对值也达到 0.800 以上。起伏度与人口密度、人口数量呈显著负相关, 相关系数绝对值 0.800 以上。因此, 结合相关分析和上文内容可知, 起伏度、坡度与人口密度的负相关关系可能更为密切。

表 4 人口与海拔、坡度、起伏度的相关分析

Tab. 4 Correlation analysis of population and altitude, slope and topographic relief

	海拔		坡度		起伏度	
	人口数量	人口密度	人口数量	人口密度	人口数量	人口密度
相关性	-0.503	-0.345	-1.000**	-0.939**	-0.867**	-0.988**
显著性	0.138	0.328	-	0.000	0.001	0.000

注: \*\*相关性在 0.01 级别显著 (双尾)。

## 5 数据检验与评估

### 5.1 评估的基本思路

中国公里网格人口分布数据集在研究区存在一定偏差, 需要进行数据质量评估, 以保证结果的科学可靠。本文县级定量与乡镇定性评估相结合, 县级定量评估思路如下: ① 栅格数据为 2010 年, 采用《贵州统计年鉴》<sup>[31]</sup> 中人口数据验证, 并选取研究区内与流域相交 100% 的县区。若不选择流域完全覆盖县区, 则可能增大误差。② 剔除市辖区等面积较小的区域。很多市辖区面积较小且人口密度大, 选择市辖区作为验证会增加不确定性。③ 选取不同位置的县区。栅格人口数据可能已考虑地形因素, 采用不同位置的县区评估, 既可粗略评估地形影响, 又可提高检验可靠性。经过处理, 筛选县区如图 1。

### 5.2 总体误差评估结果

在县域尺度上, 6 个县区中, 栅格数据所得人口数量总体偏大 (图 7), 这种偏大可能是多种因素导致。6 个县区绝对误差平均值 1.05 万人, 相对误差平均值 1.93%, 结果较



好, 可以满足研究需要。在乡镇尺度上, 栅格人口数据集<sup>[26]</sup>介绍的显示: 其乡镇尺度上误差 4.5%~13.6%, 小于 10% 的样本占多数。综上可得, 采用此数据说明研究区人口分布与地形的关系, 科学合理, 可以满足研究需要。

### 5.3 不同地形计算过程中的误差

由于栅格数据运算过程中存在栅格缺失及异常值情况, 不可避免出现人口增加和减少情况, 文章对此进行评估。研究以总栅格人口为参考, 评估不同地形计算过程中产生的误差。

分等级海拔、坡度、起伏度的人口统计过程中, 其人口总数偏小, 但其运算的相对误差绝对值均小于 1%, 可以满足研究的需求。

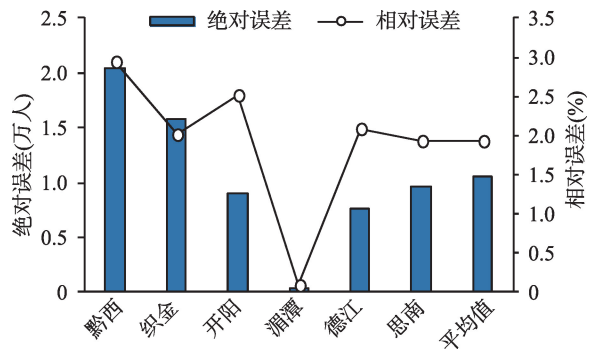


图7 栅格数据分县区数据检验

Fig. 7 Raster data tested by county and district

## 6 结论与讨论

### 6.1 结论

利用栅格人口数据探究贵州省乌江流域人口与地形的关系, 得出以下结论:

(1) 研究区 60% 以上的人口分布在海拔 800~1400 m 的区域, 海拔 1000~1200 m 的区域人口密度最高。

(2) 坡度小于 5° 的区域人口是坡度为 45° 以上区域人口的 335 倍, 人口密度达到 4.5 倍。人口数量与人口密度随着坡度上升总体呈现下降趋势。

(3) 人口密度随着地形起伏度上升总体呈现下降趋势。起伏度小于 50 m 的区域人口密度是起伏度为 450 m 以上区域人口密度的 9.5 倍, 人口数量在起伏度 100~150 m 的区域达到峰值。

### 6.2 讨论

基于栅格人口数据分析了贵州省乌江流域人口分布的地形特征, 并探究了栅格数据的精度。分等级人口统计结果表明, 研究区人口分布总体不均衡。研究区为贵州境内的大流域, 包括贵阳、遵义等区域中心城市, 也包括思南、道真等小城镇。贵阳、遵义是贵州省最具影响力的两座城市, 两个城市城区人口多且密度高, 承载了研究区很大一部分人口。研究区人口分布不均衡是城市化、经济发展、自然地理环境共同作用的结果。

海拔与人口的关系中, 1000~1400 m 人口分布较多, 主要是贵阳、安顺等大中城市影响, 中段大中城市很大程度上影响了整个研究区的人口分布格局。毕节西部、六盘水等山区, 人居条件相对恶劣, 经济发展水平较低, 不利于人口分布, 故 2000 m 以上地区人口相对有限。人口密度随海拔变化, 曲线总体并不规律, 这种特征的根源在于研究区城市成长和经济发展的空间不均衡。贵阳、遵义等城市集中区, 经济较发达, 吸引人口流入, 人口密度较高<sup>[22]</sup>。随坡度上升, 研究区人口数量和人口密度呈现下降趋势。研究区为山区, 坡度相对较高, 也在一定程度上影响了人口分布。如果换到坡度分布不一样的地区, 人口分布特征可能发生不同规律。起伏度变化趋势反映地表起伏状况, 起伏小, 表明地形相对平坦, 对人口分布越为有利。反之, 起伏度较大, 说明山高谷深, 地理环境复杂, 不利于人口分布。研究区中段的起伏相对较小, 有利于人口分布。而研究

区下段地形起伏偏大,对人口分布具有明显的限制作用,导致人口稀少。

以往研究表明,研究区人口是一定时期社会经济和自然因素共同作用的结果<sup>[33]</sup>。本文采用栅格人口数据探究不同地形尺度的人口分布特征,得出人口在不同地形分布的特征和规律。虽然短期内人口空间分布较稳定,采用2010年人口栅格数据可基本反映研究区人口分布的特征和规律。但近年来贵州省经济发展迅速,人口分布也会随之变化。地形因子尺度划分过程中,本文参考了以往研究成果和研究区基本状况,地形因子的划分总体较为粗略,可能会对模拟结果产生影响。本文栅格DEM的分辨率为90 m,若采用1 km栅格的DEM分析运算,规律是否变化尚未可知。另外,栅格人口生成过程中可能已考虑地形因素影响,本文虽然选择研究区不同位置县区进行交互验证,但仅能反映结果的可靠性和合理性,不能评测影响强度。

**致谢:** 真诚感谢匿名评审专家在论文评审中所付出的时间和精力,评审专家对地形因子划分、视角聚焦、结论梳理方面的修改意见,使本文获益匪浅。

### 参考文献(References)

- [1] 张新洁. 收入差距、子女需求及生育行为差异: 对中国不同收入阶层居民生育行为差异的分析. 济南: 山东大学博士学位论文, 2017. [Zhang Xinjie. Income gap, demand for children and differentiated reproductive behaviors: Analysis on the differentiated reproductive behaviors among different income groups in China. Jinan: Doctoral Dissertation of Shandong University, 2017.]
- [2] 王浩名. 中国人口总和生育率、人口红利与生育政策调整实证研究. 沈阳: 辽宁大学博士学位论文, 2016. [Wang Haoming. Chinese total fertility rate, demographic dividend and empirical research of fertility police adjustment. Shenyang: Doctoral Dissertation of Liaoning University, 2016.]
- [3] 张幸娜. 中国城市群人口时空分布特征研究. 杭州: 浙江大学硕士学位论文, 2014. [Zhang Xingna. The research of temporal and spatial distribution of population in China urban agglomerations. Hangzhou: Master Dissertation of Zhejiang University, 2014.]
- [4] 潘倩, 金晓斌, 周寅康. 近300年来中国人口变化及时空分布格局. 地理研究, 2013, 32(7): 1291-1302. [Pan Qian, Jin Xiaobin, Zhou Yinkang. Population change and spatiotemporal distribution of China in recent 300 years. Geographical Research, 2013, 32(7): 1291-1302.]
- [5] 张新平. 人口年龄结构、人口迁移与东北地区经济增长. 武汉: 武汉大学硕士学位论文, 2017. [Zhang Xinping. Age structure, population migration and economic growth in Northeast China. Wuhan: Master Dissertation of Wuhan University, 2017.]
- [6] 杨传开, 宁越敏. 中国省际人口迁移格局演变及其对城镇化发展的影响. 地理研究, 2015, 34(8): 1492-1506. [Yang Chuankai, Ning Yueming. Evolution of spatial pattern of inter-provincial migration and its impacts on urbanization in China. Geographical Research, 2015, 34(8): 1492-1506.]
- [7] 汪伟. 人口老龄化、生育政策调整与中国经济增长. 经济学: 季刊, 2017, 16(1): 67-96. [Wang Wei. Population aging, family planning policy adjustment and China's economic growth. China Economic Quarterly, 2017, 16(1): 67-96.]
- [8] 姚金海, 谢懋金. 中国人口老龄化研究热点及前沿演进: 基于知识图谱分析视角. 贵州师范大学学报: 社会科学版, 2017, (3): 70-81. [Yao Jinhai, Xie Maojin. The research focus and frontier evolution of population aging in China: Based on the perspective of knowledge map analysis. Journal of Guizhou Normal University: Social Sciences, 2017, (3): 70-81.]
- [9] 刘娜, 石培基, 李博. 甘肃省人口经济空间分异与关联研究. 干旱区地理, 2014, 37(1): 179-187. [Liu Na, Shi Peiji, Li Bo. Space difference and correlation between population and economy in Gansu province. Arid Land Geography, 2014, 37(1): 179-187.]
- [10] 王德怀, 李旭东. 贵州乌江流域人口与经济发展协调性研究. 地理科学, 2019, 39(3): 477-486. [Wang Dehuai, Li Xudong. Coordination of population and economic development in the Wujiang River Basin of Guizhou province. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(3): 477-486.]
- [11] 叶文振. 江西人口的地形区域分布: 1953—1993. 南方人口, 1999, (1): 42-47. [Ye Wenzhen. The topographical distribution of population in Jiangxi: 1953-1993. Southern China Population, 1999, (1): 42-47.]
- [12] 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. 水土保持通报, 2019, 39(1): 250-257. [Zhang

- Jincheng, Zhou Wenzuo. Spatial autocorrelation between topographic relief and population/economy in Sichuan province. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2019, 39(1): 250-257.]
- [13] 南仁永, 张钊, 胡兴超, 等. 云南省地形格局对人口地理分布的影响. *楚雄师范学院学报*, 2010, 25(6): 73-76. [Nan Renyong, Zhang Zhao, Hu Xingchao, et al. Topological effects on the population distribution in Yunnan. *Journal of Chuxiong Normal University*, 2010, 25(6): 73-76.]
- [14] 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. *吉林大学社会科学学报*, 2011, 51(1): 146-151, 160. [Feng Zhiming, Zhang Dan, Yang Yanzhao. Relief degree of land surface in China at county level based on GIS and its correlation between population density and economic development. *Jilin University Journal Social Sciences Edition*, 2011, 51(1): 146-151, 160.]
- [15] 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. [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.]
- [16] 王兰辉, 吴瑞. 我国陆地边疆人口空间分布与地形关系. *地理空间信息*, 2011, 9(5): 109-111, 114, 167. [Wang Lanhui, Wu Rui. Relations of Chinese frontier's population spatial distribution and terrain. *Geospatial Information*, 2011, 9(5): 109-111, 114, 167.]
- [17] 钟静, 卢涛. 基于地形起伏度的中国西南地区人口集聚格局演化研究. *生态学报*, 2018, 38(24): 8849-8860. [Zhong Jing, Lu Tao. Spatial pattern of population distribution and its correlation with relief amplitude in southwestern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2018, 38(24): 8849-8860.]
- [18] 钟静, 卢涛. 基于地形起伏度的中国西南地区人口格局分析. *干旱区资源与环境*, 2018, 32(11): 93-98. [Zhong Jing, Lu Tao. Relationships between relief amplitude and population distribution in south western China. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2018, 32(11): 93-98.]
- [19] 谢晓议, 李月臣, 曾喆. 重庆市地形起伏度及其与人口、经济的相关性研究. *资源开发与市场*, 2014, 30(6): 656-659, 770. [Xie Xiaoyi, Li Yuechen, Zeng Xuan. Relief degree of land surface and its correlation with population and economic research of Chongqing mountain regions. *Resource Development & Market*, 2014, 30(6): 656-659, 770.]
- [20] 董云林, 朱大明, 周峻松, 等. GIS支持下的迪庆州少数民族人口分布与地形分异研究. *软件导刊*, 2018, 17(2): 208-212. [Dong Yunlin, Zhu Daming, Zhou Junsong, et al. The minority population distribution and its differentiated relationship with terrain using GIS. *Software Guide*, 2018, 17(2): 208-212.]
- [21] 赵彤彤, 宋邦国, 陈远生, 等. 西藏—江两河地区人口分布与地形要素关系分析. *地球信息科学学报*, 2017, 19(2): 225-237. [Zhao Tongtong, Song Bangguo, Chen Yuansheng, et al. Analysis of population distribution and its spatial relationship with terrain elements in the Yarlung Zangbo River, Nyangqu River and Lhasa River Region, Tibet. *Journal of Geo-Information Science*, 2017, 19(2): 225-237.]
- [22] 王慧鹏. 大连旅顺口区基准地形起伏度与人口分布的空间关联研究. 大连: 辽宁师范大学硕士学位论文, 2014. [Wang Huipeng. Basic topographic relief of Lyvshunkou district of Dalian and spatial correlation of population distribution Study. Dalian: Master Dissertation of Liaoning Normal University, 2014.]
- [23] 杨雪婷, 苏维词. 云南省县域地形起伏度与人口分布的耦合关系研究. *重庆师范大学学报: 自然科学版*, 2016, 33(1): 123-129. [Yang Xueting, Su Weici. Research of the coupling relationship for topographical relief degree and population distribution in county scale, Kunming province. *Journal of Chongqing Normal University: Natural Science*, 2016, 33(1): 123-129.]
- [24] 游珍, 封志明, 姜鲁光, 等. 澜沧江-湄公河流域人口分布及其与地形的关系. *山地学报*, 2014, 32(1): 21-29. [You Zhen, Feng Zhiming, Jiang Luguang, et al. Population distribution and its spatial relationship with terrain elements in Lancang-Mekong River Basin. *Mountain Research*, 2014, 32(1): 21-29.]
- [25] 赵伟. 乌江流域人居环境建设研究. 重庆: 重庆大学, 2005. [Zhao Wei. Research on human settlements construction of Wujiang River Basin. Chongqing: Doctoral Dissertation of Chongqing University, 2005.]
- [26] 付晶莹, 江东, 黄耀欢. 中国公里网格人口分布数据集. 全球变化科学研究数据出版系统, 2014. DOI:10.3974/geodb.2014.01.06.v1. [Fu Jingying, Jiang Dong, Huang Yaohuan, Gridded population dataset of China (1km), Global Change Research Data Publishing and Repository, 2014. DOI:10.3974/geodb.2014.01.06.v1.]
- [27] 王利, 王慧鹏, 任启龙, 等. 关于基准地形起伏度的设定和计算: 以大连旅顺口区为例. *山地学报*, 2014, 32(3): 277-283. [Wang Li, Wang Huipeng, Ren Qilong, et al. Setting and calculation of basic topographic relief: A case study of Lushunkou district of Dalian, China. *Mountain Research*, 2014, 32(3): 277-283.]
- [28] 伍光和, 王乃昂, 胡双熙, 等. 自然地理学: 第四版. 北京: 高等教育出版社, 2008: 249-253. [Wu Guanghe, Wang Nang, Hu Shuangxi, et al. *Physical Geography: Fourth Edition*. Beijing: Higher Education Press, 2008: 249-253.]
- [29] 薛薇. 统计分析与SPSS的应用: 第五版. 北京: 中国人民大学出版社, 2017: 209-225. [Xue Wei. *Statistical Analysis and SPSS Application: Fifth Edition*. Beijing: China Renmin University Press, 2017: 209-225.]
- [30] 李蓓蓓, 方修琦, 叶瑜, 等. 全球土地利用数据集精度的区域评估: 以中国东北地区为例. *中国科学: 地球科学*, 2010, 40(8): 1048-1059. [Li Beibei, Fang Xiuqi, Ye Yu, et al. Accuracy assessment of global historical cropland datasets based

- on regional reconstructed historical data: A case study in Northeast China. *Science in China: Sci China Faith Sci*, 2010, 40(8): 1048-1059.]
- [31] 贵州省统计局, 国家统计局贵州调查总队. 2011年贵州统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2011: 527-528. [Guizhou province bureau of statistics, Guizhou bureau of statistics, national bureau of statistics. 2011 Guizhou Statistical Yearbook. Beijing: China Statistics Press, 2011: 527-528]
- [32] 程东亚. 贵州乌江流域人口空间分布特征研究. 曲靖师范学院学报, 2018, 37(6): 69-74. [Cheng Dongya. Research on spatial distribution characteristics of population in Wujiang River Basin of Guizhou province. *Journal of Qujing Normal University*, 2018, 37(6): 69-74.]
- [33] 程东亚, 李旭东. 中国西南山地流域人口空间分布影响因素探究: 以贵州乌江流域为例. 西北大学学报: 自然科学版, 2019, 49(5): 791-800. [Cheng Dongya, Li Xudong. Influence factors of population spatial distribution in mountainous basin of Southwest China: A case study of the Wujiang River Basin of Guizhou province. *Journal of Northwest University: Natural Science Edition*, 2019, 49(5): 791-800.]

## Relationship between population distribution and topography of the Wujiang River Watershed in Guizhou province

CHENG Dongya, LI Xudong

(School of Geography and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550025, China)

**Abstract:** The Wujiang River Watershed in Guizhou province is one of the most important plateau mountain basin in Southwest China. It is of great significance to examine the relationship between population distribution and topography of this watershed. This paper can help to understand the impact of the geographical environment of the study area on population distribution. The article selects digital elevation model (DEM) data and population raster data, and uses digital elevation model (DEM) to extract topographic factors such as altitude, slope, and topographic relief. Then, it studies the relationship between topographic factors and population distribution. Some conclusions can be drawn as follows. (1) The population of the study area is importantly distributed between 800 and 1400 m, accounting for more than 60%, and the highest population density is found between 1000 and 1200 m. (2) As the slope increases, the population and population density are in a downward trend. When the slope is less than 5°, the population density is more than 500 people/km<sup>2</sup>. It is also shown, to a certain extent, that the slope has a restrictive effect on human activities and is one of the key topographic factors that affect the population distribution. (3) With the rise of topographic relief, the population density generally shows a downward trend. When the topographic relief is less than 50 m, the population density exceeds 1000 people/km<sup>2</sup>. Topographic relief is an important factor affecting population distribution. The results could provide a reference for the local government to formulate policies on population and eco-environment protection so as to achieve harmony between nature and people. In addition, this article can be further expanded in the following aspects: (1) using the latest population raster data to analyze the relationship between population and topography, and explore the characteristics and laws of population changes in the watershed in the background of rapid economic development in Guizhou province in recent years; (2) using the digital elevation model (DEM) with a lower accuracy to analyze the relationship between population and topography.

**Keywords:** population; population distribution; topography; relationship; Wujiang River Watershed; Guizhou