

世界地理研究
World Regional Studies
ISSN 1004-9479, CN 31-1626/P

《世界地理研究》网络首发论文

题目： 贵州高原山区正负地形特征及其对人口分布的影响
作者： 罗娅，杨建红，周秋文，周旭，钟九生，胡馨月，高齐云
网络首发日期： 2019-10-25
引用格式： 罗娅，杨建红，周秋文，周旭，钟九生，胡馨月，高齐云. 贵州高原山区正负地形特征及其对人口分布的影响. 世界地理研究.
<http://kns.cnki.net/kcms/detail/31.1626.p.20191025.1539.002.html>



网络首发：在编辑部工作流程中，稿件从录用到出版要经历录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿等阶段。录用定稿指内容已经确定，且通过同行评议、主编终审同意刊用的稿件。排版定稿指录用定稿按照期刊特定版式（包括网络呈现版式）排版后的稿件，可暂不确定出版年、卷、期和页码。整期汇编定稿指出版年、卷、期、页码均已确定的印刷或数字出版的整期汇编稿件。录用定稿网络首发稿件内容必须符合《出版管理条例》和《期刊出版管理规定》的有关规定；学术研究成果具有创新性、科学性和先进性，符合编辑部对刊文的录用要求，不存在学术不端行为及其他侵权行为；稿件内容应基本符合国家有关书刊编辑、出版的技术标准，正确使用和统一规范语言文字、符号、数字、外文字母、法定计量单位及地图标注等。为确保录用定稿网络首发的严肃性，录用定稿一经发布，不得修改论文题目、作者、机构名称和学术内容，只可基于编辑规范进行少量文字的修改。

出版确认：纸质期刊编辑部通过与《中国学术期刊（光盘版）》电子杂志社有限公司签约，在《中国学术期刊（网络版）》出版传播平台上创办与纸质期刊内容一致的网络版，以单篇或整期出版形式，在印刷出版之前刊发论文的录用定稿、排版定稿、整期汇编定稿。因为《中国学术期刊（网络版）》是国家新闻出版广电总局批准的网络连续型出版物（ISSN 2096-4188，CN 11-6037/Z），所以签约期刊的网络版上网络首发论文视为正式出版。

贵州高原山区正负地形特征及其对人口分布的影响

罗娅¹，杨建红¹，周秋文¹，周旭¹，钟九生¹，胡馨月^{2,3}，高齐云¹

(1.贵州师范大学地理与环境科学学院，贵阳 550001；2.贵州师范大学国际旅游文化学院，贵阳 550001；
3.厦门大学社会与人类学院，厦门 361005)

摘要：正负地形可通过源汇过程对水、土资源进行再分配，影响着山区的人口分布，有待深入研究。获取正负地形数据，运用6个指标和多元逐步回归方法，分析贵州高原山区正负地形特征及其对人口分布的影响。研究表明：①贵州高原山区的正负地形结构异质性明显。蚕食度、深切度、平均粗糙度比、形状指标、匀度指数、破碎度的平均值分别为1.07、371m、1.01、3.40、325和3.34。表明正地形被负地形蚕食明显、切入深度大，正、负地形的粗糙度基本相当，正负地形景观斑块呈现形状不规则、面积不均匀的破碎状态。6个正负地形指标中，匀度指数的变异性最大，变异系数为90.43%；平均粗糙度比的变异性最小，变异系数为1.06%。②贵州高原山区的人口分布不均匀性突出。人口累积达到40%时，累积面积百分比为14%；人口累积达到80%时，累积面积百分比约为50%；余下50%的面积则只积累了约20%的人口。③6个正负地形指标中，蚕食度和深切度是影响人口分布的主要因素。蚕食度通过影响土地承载力决定了人口的集聚水平，与人口密度呈正相关关系。深切度通过影响人居环境的地质灾害风险决定了人口的集聚水平，与人口密度呈负相关关系。研究成果为研究地形条件的人口影响提供补充，并为贵州高原山区人-地关系协调和土地可持续管理提供参考。

关键词：正负地形；人口分布；山区；贵州高原

引言

山区耕地资源短缺，人地矛盾突出，土地可持续发展任务艰巨。揭示山区人口分布特征及其影响因素，深入理解山区人口分布规律，对于协调山区人-地关系和实现土地可持续管理有重要指导意义。

山区地形复杂，其人口分布深受地形约束从而表现出较强的空间异质性。诸多地形因子中，海拔控制^[1]气温和降水、坡度控制侵蚀力^[1]、地形起伏度控制宜居性^[2]，进而影响人口的空间分布。由此，不同空间尺度下海拔、坡度、坡向、地形起伏度等地形因子对人口分布的影响受到众多学者的关注^[3-5]。在全球尺度，利用海拔高度对全球山地开展分类，进而探讨山地类型对人口分布的影响^[6]。在国家尺度，以县域和乡镇为单元，研究地形起伏度与中国人口分布的相关性，结果表明全国70%以上的人口居住在地形起伏度小于1(绝对起伏不超过1000m)的县域，县域地形起伏度与人口密度在0.01水平下呈显著负相关^[7]；乡(镇)单元平均人口密度与地形起伏度显著相关，省级平均相关系数为-0.56^[8]。另在区域尺度的研究发现，岷江上游人口分布受地形起伏度的影响显著，二者的对数曲线拟合度为0.89^[9]；随着地形起伏度的增大，横断山

基金项目：国家自然科学基金(41761003, 41867001, 41661081)；教育部人文社会科学研究项目(18YJC850010)；贵州省普通高等学校科技拔尖人才支持计划(黔教合KY字[2018]042)

作者信息：罗娅(1979-)，女，教授，研究方向为生态水文遥感与水土资源保护，E-mail: luoya2002@163.com。

通讯作者：杨建红(1969-)，女，副教授，研究方向为乡村地理学，E-mail: 1660682332@qq.com。

区的人口密度逐渐降低，当达到3.7以后人口密度趋于一个固定值^[10]；地形起伏度对豫西山区人口的影响强于海拔和坡度的影响^[2]。这些研究从不同空间尺度定量分析了海拔、坡度和地形起伏度等地形因子对人口分布的影响，取得了丰硕的成果，但较少关注正负地形特征对人口分布的影响。

正负地形是地球表面最具宏观统治力的二元地形结构^[11]，它可通过源汇过程对水、土资源进行再分配，控制着区域的地形起伏、水土运移和人居环境，进而影响着区域的人口分布。尤其在山区，正负地形特征对人口分布的影响更为深刻。一般地，正地形受降雨击溅、径流冲刷和重力作用，水土流失严重，土壤贫瘠、水源不足、地表崎岖，不宜人居；负地形因利于土壤及养分的积累，土壤肥沃、水源充足、地表平坦，常常成为人类安居乐业的优选场所。因此，探讨山区的人口分布规律，有必要从正负地形的视角加以分析。

综上，基于DEM提取正负地形，运用蚕食度、深切度、平均粗糙度等指标和多元逐步回归方法，探讨贵州高原山区正负地形特征及其对人口分布的影响，为研究地形条件的人口影响提供补充，并为贵州高原山区人-地关系协调和土地可持续管理提供参考。

1 研究区概况

研究区位于 $105^{\circ}49' \sim 106^{\circ}32'E$, $24^{\circ}54' \sim 26^{\circ}23'N$ 之间，地处贵州省西南部、珠江流域上游地区的麻山、瑶山山区，总面积 5289.50km^2 (图 1a)。区内喀斯特地貌与非喀斯特地貌交错分布，两者分别占总面积的 44.62% 和 55.38%。境内常态地貌以山地丘陵为主，海拔 $269 \sim 2062\text{m}$ ，山峦起伏，地形破碎。气候属亚热带湿润气候，年平均气温为 $15 \sim 19^{\circ}\text{C}$ ，年降水量约 $1200 \sim 1300\text{mm}$ ，降水多集中在 $5 \sim 10$ 月，雨热同期，农业气候条件良好。据第六次人口普查数据显示，总人口约 52 万人，人口密度为 $98 \text{人}/\text{km}^2$ ，受地形的影响，人口分布空间差异明显（图 2a），多分布在地势相对平坦的山间小盆地、谷地和洼地地区。

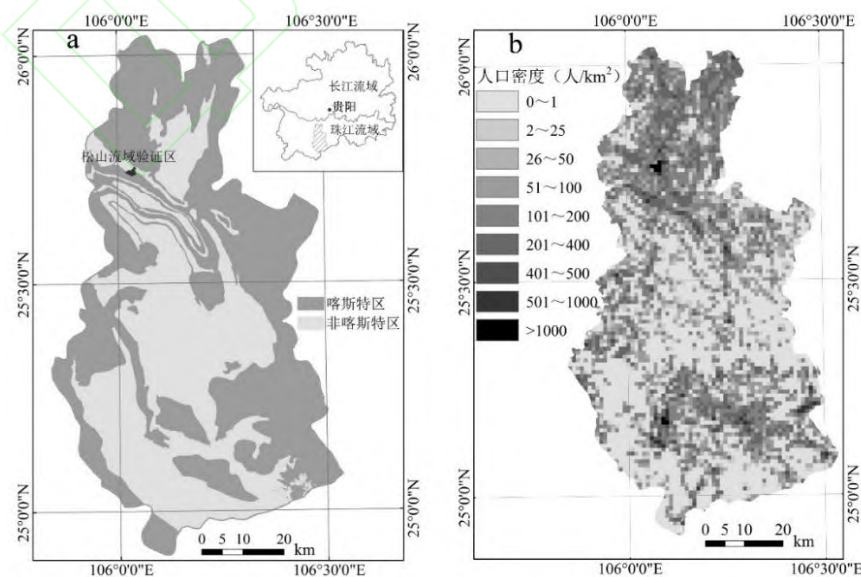


图 1 研究区位置(a)与人口空间分布(b)

Fig.1 Study area (a) and its population distribution (b)

2 数据与方法

2.1 基于 DEM 的正负地形提取、精度验证与量化指标

参考汤国安等(2015)的研究成果^[7], 基于 30m 分辨率的 ASTER GDEM 数据, 采用最优窗口分析法 (17×17), 将原始 DEM 与邻域分析结果相减, 提取大于 0 的栅格为正地形, 反之为负地形。

为验证正负地形的提取精度, 选择研究区的松山流域(位置见图 1a)为验证区, 以 1m 分辨率的遥感影像为工作底图, 通过实地调查, 手绘生成验证区的沟沿线。之后, 将 30m 分辨率 DEM 提取的沟沿线与手绘沟沿线作对比(图 2a), 并计算出两者的位移情况(图 2b)以及沟沿线长度误差和正地形面积误差(表 1)。结果显示, 约有 20.06%的栅格发生位移, 平均位移 28.21m, 沟沿线长度误差为 12.03%, 正地形面积误差为-3.68%, 表明在无法获取更高精度 DEM 数据的情形下, 运用 30m 分辨率 DEM 数据提取的正负地形也能较好反映研究区的情况。

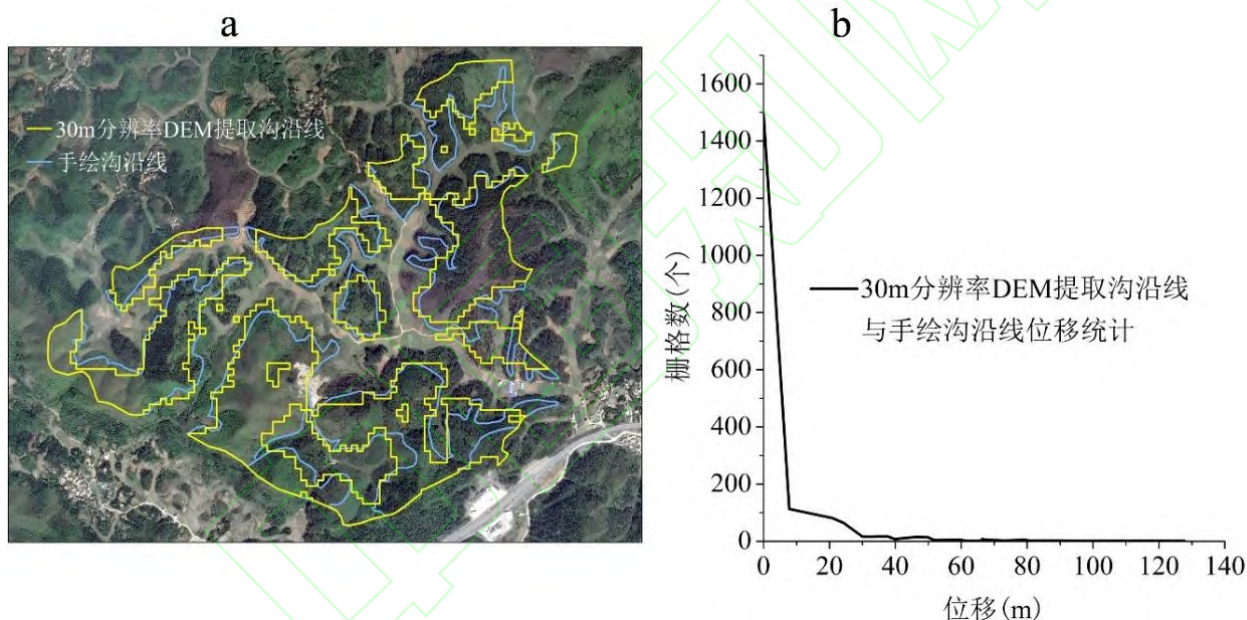


图2 手绘沟沿线与 30m 分辨率 DEM 提取沟沿线对比: 位置(a)与位移(b)

Fig.2 Comparisons between hand-drawn shoulder-line and 30 m resolution DEM-extracted shoulder-line: position (a) and displacement (b)

表 1 沟沿线提取误差

Table 1 Shoulder-lines extraction error

	手绘沟沿线	30m 分辨率 DEM 提取沟沿线	误差
沟沿线长度(km)	29.42	32.96	12.03%
正地形面积(hm ²)	172.72	166.36	-3.68%

提取正负地形数据后, 参考周毅^[12]的研究成果, 运用蚕食度、深切度、平均粗糙度比、形状指标、匀度指数、破碎度 6 个指标对正负地形特征加以量化, 为进一步分析贵州山区正负地形特征及其对人口分布

的影响提供基础(表 2)。

表 2 正负地形指标

Table 2 Positive and negative terrains indicators

指标	计算公式	单位	备注	地学意义
蚕食度	$D = \frac{A_n}{A_p}$	无量纲	D 为蚕食度, A_n 表示负地形区域在水平面上的投影面积, A_p 表示正地形区域在水平面上的投影面积。	反映负地形对正地形的蚕食程度。该值越大, 表明地表被蚕食程度越高。
深切度	$I = Mean(H_p) - Min(H_n)$	m	I 为深切度, $Mean(H_p)$ 为正地形平均高程, $Min(H_n)$ 为负地形的最小高程。	反映负地形对正地形的切入深度。
平均粗糙度比	$R_r = \frac{\overline{R_p}}{\overline{R_n}}$	无量纲	R_r 为平均粗糙度比, $\overline{R_p}$ 为正地形区域粗糙度均值, $\overline{R_n}$ 为负地形区域粗糙度均值。	反映正负地形区粗糙程度的对比。
形状指标	$S = \sum_{i=1}^N W_i \frac{P_i}{2\sqrt{\pi A_i}}$	无量纲	S 为形状指标, N 为正地形斑块数, W_i 为第 i 个斑块的面积权重, P_i 为第 i 个斑块的周长, A_i 为第 i 个斑块的面积。	反映正负地形斑块在空间结构上的不规则程度。
匀度指数	$H = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [A_i - (\frac{\sum_{i=1}^N A_i}{N})]^2}{N}} \times 10^6$	无量纲	H 为匀度指数, N 为正地形斑块数, A_i 为第 i 个斑块的面积。	反映正负地形景观斑块在面积上的均匀程度。
破碎度	$F = \frac{(N-1)}{\sum_{i=1}^N A_i}$	无量纲	F 为匀度指数, N 为正地形斑块数, A_i 为第 i 个斑块的面积。	反映正负地形景观斑块的破碎程度。

2.2 人口数据获取、精度验证与人口分布类型划分

人口密度空间分布数据来源于中国科学院地理科学与资源研究所资源环境数据中心制作的 1km×1km 栅格数据, 数据时间为 2010 年, 统计口径为常住人口^[13]。为便于与 30m 分辨率 DEM 提取的正负地形数据进行叠加分析, 将其重采样为 30m×30m 后, 以探讨正负地形特征对人口分布的影响。

为验证人口密度空间数据的精度, 获取乡(镇)单元的第六次人口普查数据(代表人口实际值), 同时计算出基于人口密度空间数据的各乡(镇)人口数(代表人口估算值), 之后, 以乡(镇)单元的人口普查值为自变量、人口估算值为因变量, 画出散点图并计算归一化均方根误差(NRMSE)、皮尔逊相关系数 R , 以及散点线性趋势线和 1:1 线之间的夹角 α , 以反映人口空间数据的精度情况(式 1~2)。

$$NRMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (O_i - E_i)^2} / \bar{O} \quad (式 1)$$

$$R = \left(\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})(E_i - \bar{E}) \right) / \left(\sqrt{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N (E_i - \bar{E})^2} \right) \quad (\text{式 2})$$

式 1、式 2 中，NRMSE 为归一化均方根误差，R 为皮尔逊相关系数， O_i 是人口实际值， E_i 径流人口估算值， \bar{O} 人口实际值均值， N 是乡(镇)总数， \bar{E} 人口估算值均值。NRMSE 值越低，R 值越高， α 越小，人口估算效果越好。由图 3 可见，28 个乡(镇)中，有 15 个高估，13 个低估，NRMSE=0.61， $R^2=0.73$ ， $\alpha=7^\circ$ ，表明人口密度空间分布数据精度较好。

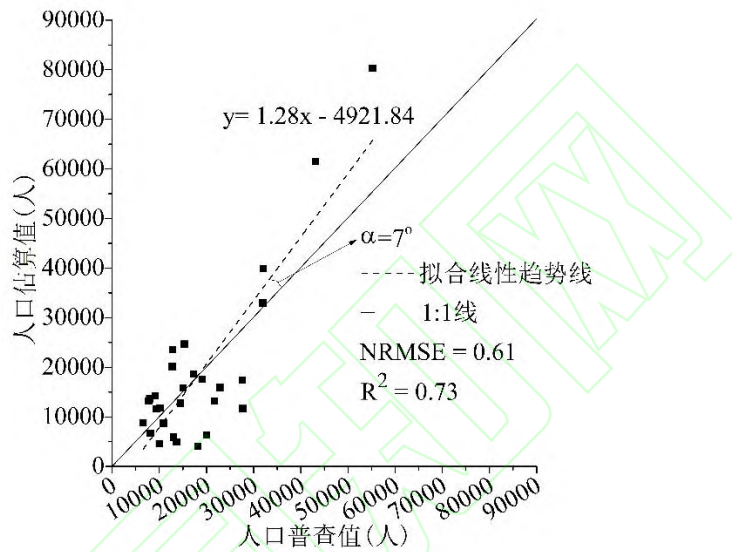


图 3 乡(镇)单元人口普查值与人口估算值对比

Fig.3 Comparisons between census and estimated population at township level

此外，为直观显示人口空间分布状况，参考葛美玲等(2009)的研究成果^[14]，以人口密度作为划分依据，将人口分布划分为 9 个类型，分别是：基本无人区(0~1 人/km²)、极端稀疏区(2~25 人/km²)、绝对稀疏区(26~50 人/km²)、相对稀疏区(51~100 人/km²)、一般过渡区(101~200 人/km²)、低度集聚区(201~400 人/km²)、中度集聚区(401~500 人/km²)、高度集聚区(501~1000 人/km²)和集聚核心区(>1000 人/km²)。研究区人口密度空间分布见图 1b。

2.3 正负地形特征对人口分布的影响分析

以 10km×10km 为单元，划分出 73 个网格单元。获取每个网格的正负地形量化指标和人口密度，采用多元逐步回归分析方法，以人口密度为因变量 Y，以蚕食度、深切度、平均粗糙度比、形状指标、匀度指数、破碎度 6 个正负地形量化指标分别代表自变量 X1、X2、X3、X4、X5、X6，建立人口密度因子与正负地形量化指标因子间的数量关系。开展多元回归建模，揭示人口分布差异的主要影响因素。

3 结果与分析

3.1 正负地形特征

获取正负地形空间分布数据，统计正地形面积和负地形面积分别为 2558.23km² 和 2731.27km²，分别占总面积的 48.36%和 51.64%。之后，以 10km×10km 为网格单元，统计 73 个网格的正负地形量化指标，生成网格单元的正负地形特征空间分布图(图 4)。结果显示，总体上，研究区的负地形面积大于正地形面积；北部地区的蚕食度、平均粗糙度、破碎度相对较大，深切度、形状指标、匀度指数相对较小；而中部、南部地区则相反，呈现蚕食度、平均粗糙度、破碎度相对较小，深切度、形状指标、匀度指数相对较大的特征。

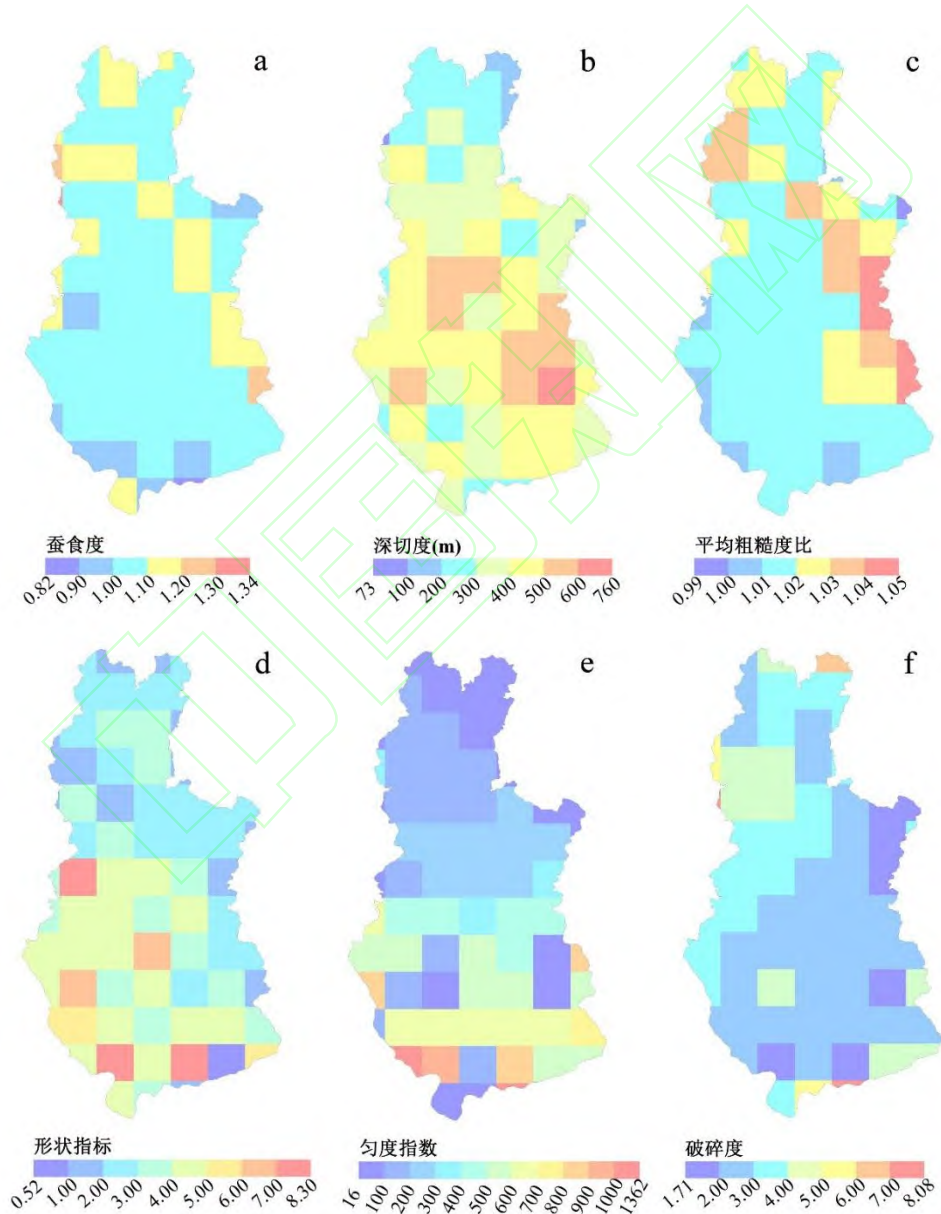


图 4 正负地形特征：蚕食度(a)、深切度(b)、平均粗糙度(c)、形状指标(d)、匀度指数(e)、破碎度(f)

Fig.4 Characteristic of positive and negative terrains: nibble degree (a), cutting depth (b), mean-roughness-ratio (c), shape index (d), homogeneous index (e) and fragmentation (f)

统计 73 个网格正负地形量化指标的最大值、最小值、平均值和变异系数，定量揭示正负地形的特征(表 3)。结果显示，蚕食度最大值、最小值、平均值和变异系数分别为 1.34、0.82、1.07 和 7.01%，深切度最大值、最小值、平均值和变异系数分别为 760m、73m、371m 和 32.41%，平均粗糙度比最大值、最小值、平均值和变异系数分别为 1.05、0.99、1.01 和 1.06%，形状指标最大值、最小值、平均值和变异系数分别为 8.30、0.52、3.40 和 47.03%，匀度指数最大值、最小值、平均值和变异系数分别为 1362、16、325 和 90.43%，破碎度最大值、最小值、平均值和变异系数分别为 8.08、1.71、3.34 和 40.00%。表明研究区的负地形对正地形的蚕食明显、切入深度大；正、负地形的粗糙度基本相当；正负地形斑块呈现形状不规则、面积不均匀和较为明显的破碎状态；6 个正负地形指标中，匀度指数的变异性最大、平均粗糙度比的变异性最小。

表 3 正负地形指标统计

Table 3 Statistics of positive-negative terrains indicators

指标	最大值	最小值	平均值	变异系数(%)
蚕食度(无量纲)	1.34	0.82	1.07	7.01
深切度(m)	760.00	73.00	371.00	32.41
平均粗糙度比(无量纲)	1.05	0.99	1.01	1.06
形状指标(无量纲)	8.30	0.52	3.40	47.03
匀度指数(无量纲)	1362.00	16.00	325.00	90.43
破碎度(无量纲)	8.08	1.71	3.34	40.00

将研究区的正负地形因子均值与黄土高原的正负地形因子均值相比^[12](表 4)，可看出研究区与黄土高原山区的正负地形特征差异。结果显示，与黄土高原相比，研究区的蚕食度、深切度、平均粗糙度比、匀度指数 4 个指标值较大，形状指标与破碎度 2 个指标值较小，表明研究区负地形对正地形的蚕食更明显，深切度更大，正地形斑块更不规则和不均匀，但正地形斑块的破碎程度不如黄土高原强烈。

表 4 研究区与黄土高原的正负地形指标对比

Table 4 Comparisons of positive-negative terrains indicators between study area and Loess Plateau

	蚕食度 (无量纲)	深切度 (m)	平均粗糙度比 (无量纲)	形状指标 (无量纲)	匀度指数 (无量纲)	破碎度 (无量纲)
研究区	1.07	371	1.01	3.40	325	3.34
黄土高原	0.70	79.75	0.91	32.75	265.25	9.30

此外，计算正负地形因子之间的相关系数，探讨各因子之间的相关性(表 5)。结果显示，有 1 对因子的相关系数绝对值大于 0.7，即蚕食度与平均粗糙度比；有 4 对因子的相关系数绝对值为 0.4~0.5，分别为：蚕食度与形状指标、深切度与形状指标、平均粗糙度比与形状指标、深切度与破碎度；有 4 对因子的相关系数绝对值为 0.3~0.4，分别为：蚕食度与匀度指数、蚕食度与破碎度、形状指标与匀度指数、形状指标与破碎度；其余 6 对因子的相关系数绝对值均小于 0.3。表明除蚕食度与平均粗糙度比因子间有较强的相关性外(R=0.7083)，其它因子间的相关性均较弱或无相关性。

表5 正负地形各指标间相关系数

Table 5 Correlation coefficients of positive and negative terrains indicators

	蚕食度	深切度	平均粗糙度比	形状指标	匀度指数	破碎度
蚕食度	1.0000	-0.1634	0.7083	-0.4045	-0.3073	0.3408
深切度	-0.1634	1.0000	0.1059	0.4323	0.2983	-0.4536
平均粗糙度比	0.7083	0.1059	1.0000	-0.4116	-0.1555	0.0098
形状指标	-0.4045	0.4323	-0.4116	1.0000	0.3571	-0.3942
匀度指数	-0.3073	0.2983	-0.1555	0.3571	1.0000	-0.1181
破碎度	0.3408	-0.4536	0.0098	-0.3942	-0.1181	1.0000

3.2 人口分布特征

获取人口密度空间数据后,按照章节 2.2 介绍的方法,以人口密度为依据,将人口空间分布划分为 9 种类型。由图 1b 和表 3 可见,面积比重最大的是人口密度为 0~1 人/km²的基本无人区,占 35.54%;其次是人口密度为 101~200 人/km²的一般过渡区,占 20.51%;第三是人口密度为 51~100 人/km²的一般过渡区,占 14.36%; >1000 人/km²的集聚核心区面积最小,仅占 0.17%。可看出,人口空间分布差异明显。

表6 研究区人口分类统计

Table 6 Population classification statistics in study area

人口密度 (人/km ²)	0~1	2~25	26~50	51~100	101~200	201~400	401~500	501~1000	>1000
面积(km ²)	1880.14	473.30	386.17	759.57	1084.79	622.91	44.99	28.72	8.91
占比(%)	35.54	8.95	7.30	14.36	20.51	11.78	0.85	0.54	0.17

为进一步揭示人口分布的不均匀性,利用Lorenz 曲线法加以分析^[15]。具体为:按照网格平均人口密度从大到小排序,计算各网格的人口累积比例和面积累积比例,之后,以面积累积比例为横轴、人口累积比例为纵轴,绘制人口分布的Lorenz 曲线。人口分布的均匀性大小可用Lorenz 曲线的弯曲程度表示:曲线弯曲程度越小,越接近对角线,表示人口分布越均匀;曲线弯曲程度越大,越偏离对角线,则表示人口分布越不均匀^[8]。由图5a可见,人口累积总数达到40%时,累积面积百分比为14%,对应161人/km²以上的人口密度分布区;当人口累积达到80%时,累积面积百分比约为50%,对应75人/km²以上的人口密度分布区;余下50%的面积则只积累了约20%的人口,人口密度低于75人/km²。结果表明,研究区的人口分布的不均匀性突出。

此外,为探讨人口在不同坡度(G)的分布不均衡性,统计不同坡度的人口密度加以分析。由图5b可见, $G < 2^\circ$ 、 $2^\circ \leq G < 6^\circ$ 、 $6^\circ \leq G < 15^\circ$ 、 $15^\circ \leq G < 25^\circ$ 、 $G \geq 25^\circ$ 区域的人口密度分别为280人/km²、231人/km²、140人/km²、91人/km²、73人/km²。结果表明,研究区的人口在不同坡度表现出明显的不均衡性,坡度为 6° 以下区域的人口密度在230人/km²以上,坡度为 6° 以上区域的人口密度在140人/km² 以下,人口密度呈现随坡度增加而减小的趋势。

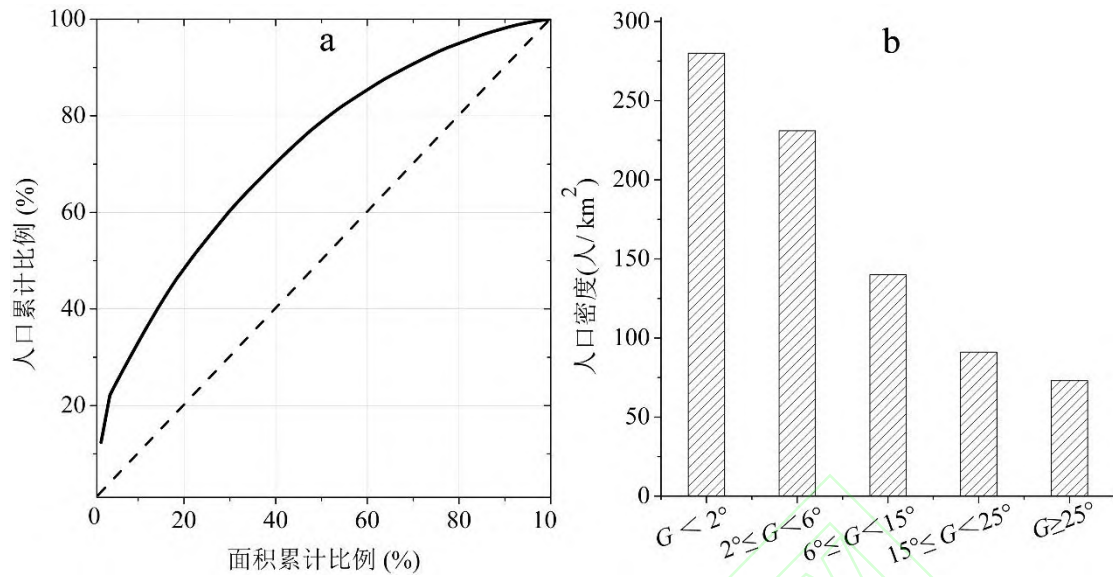


图5 人口分布洛仑兹曲线(a)与各坡度人口密度(b)(备注: G 代表坡度)

Fig.5 The population distribution of Lorenz curve (a) and population density of different slopes (b) (Remarks: G indicates slope)

3.3 基于正负地形特征的人口分布影响因子分析

为揭示影响人口分布的主导性正负地形因子,运用章节2.3介绍的多元逐步回归分析方法,建立人口密度与6个正负地形因子的拟合方程。各因子进入回归方程的显著性 p 值设为0.05, p 值大于0.05的因子设为剔除项。最后得到回归方程为:

$$Y = -92.47 + 218.15X_1 - 0.16X_2 \quad (\text{式3})$$

由式3可看出,回归方程中录用了原始变量 X_1 、 X_2 。模型评估参数分别为:调整后的决定系数 $R^2 = 0.2589$, F 检验值 = 13.2247,与显著性概率相关的 p 值 = 0.000014 < 0.05。结果表明,6个正负地形因子中,蚕食度和深切度是影响人口分布的主要因素。其中,蚕食度与人口密度呈正相关关系,深切度与人口密度呈负相关关系。

究其原因,蚕食度越大,表明负地形面积越大,正地形被蚕食的程度越强烈,负地形汇集水土资源越丰富,能为人类提供的耕地资源和居住用地越多,土地承载力越高,人口越密集,因而蚕食度与人口分布呈现正相关的关系。而深切度与蚕食度对人口分布的影响则相反。深切度越大,负地形对正地形的切入深度越深,正地形越可能在重力作用下发生侵蚀,形成滑坡、泥石流等地质灾害的风险越大,对人居环境安全的威胁越突出,人口越稀疏,因而深切度与人口分布呈现负相关的关系。

4 结论与讨论

获取正负地形和人口密度空间数据,运用蚕食度、深切度、平均粗糙度等指标和逐步回归方法,探讨贵州高原山区正负地形特征及其对人口分布的影响。研究表明:

(1)贵州高原山区的正负地形结构异质性明显。蚕食度、深切度、平均粗糙度比、形状指标、匀度指数、破碎度的平均值分别为 1.07、371m、1.01、3.40、325 和 3.34,表明贵州山区负地形对正地形的蚕食明显、切入深度大,正、负地形的粗糙度基本相当,正负地形斑块呈现形状不规则、面积不均匀和较为强烈的破碎状态。6 个正负地形指标中,匀度指数的变异性最大,变异系数为 90.43%;平均粗糙度比的变异性最小,变异系数为 1.06%。与黄土高原相比,研究区的负地形对正地形的蚕食更明显,深切度更大,正地形斑块的形状更不规则、面积更不均匀,但正地形斑块的破碎程度不如黄土高原强烈。

(2)贵州高原山区的人口分布不均匀性突出。人口累积总数达到40%时,累积面积百分比为14%,对应161人/km²以上的人口密度分布区。当人口累积达到80%时,累积面积百分比约为50%,对应75人/km²以上的人口密度分布区。余下的50%的面积则只积累了约20%的人口,人口密度低于75人/km²。不同坡度地区的人口密度不同,坡度为6°以下区域的人口密度在230人/km²以上,坡度为6°以上区域的人口密度在140人/km²以下,人口密度随坡度增加而减小。

(3)6个正负地形指标中,蚕食度和深切度是影响人口分布的两个主要因素。蚕食度通过影响土地承载力决定了人口的集聚水平,与人口密度呈正相关关系。深切度通过影响人居环境的地质灾害风险性决定了人口的集聚水平,与人口密度呈负相关关系。

未来将在以下两个方面开展深入研究。①加强与其他山区的对比研究,分析喀斯特地貌与非喀斯特地貌交错分布条件下的山区正负地形分布的独特性,拟为贵州高原山区人口城镇化与产业发展提供依据。②充分考虑生计条件对人口分布的影响,揭示生计条件变迁对山区人口收缩^[16]的影响规律,拟为贵州高原山区的乡村振兴和脱贫致富提供借鉴。

参考文献:

- [1] Slaymaker O, Embleton-Hamann C. Advances in global mountain geomorphology. *Geomorphology*, 2018(308): 230-264.
- [2]张静静,李艳红,朱连奇. 豫西山区县域地形起伏度与人口、经济活动分布的关系. *地域研究与开发*,2019,38(2):55-60.[Zhang J J, Li Y H,Zhu L Q. Relief amplitude based on county units in West Henan mountain area and its correlation with distribution of population and economic activities.*Areal Research and Development*, 2019,38(2):55-60.]
- [3]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.*山地学报*,2015,33(6):742-750.[Zhou L, Xu J G, Lin W, et al.. Relationship of terrain relief degree and population economic development and evaluation of development suitability in continuous poor areas: A case study on Qinba of national contiguous special poverty-stricken areas. *Mountain Research*,2015,33(6): 742-750.]
- [4]Meybeck M, Green P, Vörösmarty C. A new typology for mountains and other relief classes: an application to global continental water resources and population distribution. *Mountain Research and Development*, 2001, 21(1):34-45.
- [5]Chen M, Xu C, Wang R. Key natural impacting factors of China's human population distribution. *Population and Environment*, 2007, 28(3):187-200.
- [6] Meybeck M, Green P , Vorosmarty C . A new typology for mountains and other relief classes: An application to global continental water resources and population distribution.*Mountain Research and Development*, 2001,21(1) :34-45.
- [7]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.[Feng Z M, Zhang D, Yang Y Z. 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.]

- [8]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.地理学报, 2015,70(8): 1229-1242.[Bai Z Q, Wang J L, Yang Y P, 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.]
- [9]刘颖,邓伟,宋雪茜,等.基于地形起伏度的山区人口密度修正——以岷江上游为例.地理科学, 2015, 35(4):464-470. [Liu Y, Deng W, Song X Q, et al.. Population density correction method in mountain areas based on relief degree of land surface: A case study in the upper Minjiang River basin. *Scientia geographica sinica*, 2015, 35(4):464-470.]
- [10]陈田田,彭立,刘邵权,等. 基于 GIS 的横断山区地形起伏度与人口和经济的关系.中国科学院大学学报,2016,33(4):505-512. [Chen T T, Peng L, Liu S Q, et al.. Relationships of relief degree of topography with population and economy in Hengduan mountain area based on GIS. *Journal of University of Chinese Academy of Sciences*,2016,33(4):505-512.]
- [11]周毅.基于 DEM 的黄土正负地形特征研究.南京: 南京师范大学,2008.[Zhou Y. Investigation of Loess positive and negative terrain based on DEMs. Nanjing: Nanjing normal university,2008.]
- [12]周毅.基于 DEM 的黄土高原正负地形及空间分异研究.南京: 南京师范大学,2011.[Zhou Y. DEM based research on positive- negative terrains and their spatial variation on Loess Plateau. Nanjing: Nanjing normal university,2008.]
- [13]付晶莹,江东,黄耀欢.中国公里网格人口分布数据集.地理学报,2014,69(增刊):41-44. [Fu J Y, Jiang D, Huang Y H. Population grid_ China. *Acta Geographica Sinica*, 2014,69(Supplement): 41-44.]
- [14]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. [Ge M L, Feng Z M. 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.]
- [15]Lorenz M O. Method of measuring the concentration of wealth. *Publications of the American Statistical Association*, 1905, 70(9): 209-219.
- [16]刘振,戚伟,王雪芹,等.国内外人口收缩研究进展综述[J].世界地理研究,2019,28(1):13-23.[Liu Z, Qi W, Wang X Q, et al.. A literature research on population shrinking. *World Regional Studies*, 2019,28(1):13-23.]

Characteristic of positive and negative terrains and its effect on population distribution in the mountainous area, Guizhou Plateau

LUO Ya¹, YANG Jianhong¹, ZHOU Qiuwen¹, ZHOU Xu¹, ZHONG Jiusheng¹, HU Xinyue^{2,3}, GAO Qiyun¹

(1.School of Geographic and Environmental Science, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 2. School of International Tourism & Culture, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China; 3. School of Sociology and Anthropology, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

Abstract: Positive and negative terrains can redistribute water and soil resources through source-sink processes, which affect the population distribution in mountainous area, and need to be further studied. This study obtains positive and negative terrains data, applies six indicators and stepwise multiple regression method, analyses the characteristic of positive and negative terrains and its effect on population distribution in the mountainous area, Guizhou Plateau. The results indicate that: 1) the heterogeneity of positive and negative terrains is obvious in the mountainous area, Guizhou Plateau. The average nibble degree (ND), cutting depth (CD), mean- roughness- ratio (MRR), shape index (SI), homogeneous index (HI) and fragmentation (F) are 1.07, 371m, 1.01, 3.40, 325 and 3.34, respectively. It is indicated that the positive terrain is nibbled obviously and cut deeply by the negative terrain, the positive terrain is basically the same roughness as negative terrain, and landscape patches in positive

and negative terrains are fragmented and showed irregular shape and uneven area. Among the six indicators mentioned above, HI has the highest variability with the variation coefficient of 90.43%, and MRR has the lowest variability with the variation coefficient of 1.06%. 2) The population distribution shows obvious inhomogeneity in the mountainous area, Guizhou Plateau. When the cumulative percentage of population reaches 40%, the cumulative percentage of area is 14%; when the cumulative percentage of population reaches 80%, the cumulative percentage of area is nearly 50%; the remaining 50% of the area accumulates only about 20% of the population. 3) Among the six indicators mentioned above, ND and CD are the major factors affecting the population distribution. ND determines the population agglomeration level by affecting the land carrying capacity, and has a positive correlation with population density. CD determines the population's agglomeration level by affecting the geological hazard risk of human settlement, and has a negatively correlated with population density. These findings can expand the research on the impact of terrain on population, and provide reference for coordinating man-land relationship and achieving sustainable land management in the mountainous area, Guizhou Plateau.

Key words: positive and negative terrains; population distribution; mountainous area; Guizhou Plateau