四川省地形起伏度与人口/经济的空间自相关关系

章金城，周文佐
（西南大学 地理科学学院，重庆 400715）

摘　要：[目的] 分析四川省地形起伏度与人口经济的空间关系，为区域人口合理布局、经济格局优化提供参考依据。[方法] 以 ASTER GDEM 数据为基础，通过均值变点法确定四川省地形起伏度最佳统计单元，分析地形起伏度的分布特征；通过空间自相关分析法探讨地形起伏度与人口/经济的空间关系。[结果] 四川省地形以山地和丘陵为主，整体呈现西高东低的趋势。地形起伏度与人口/经济呈空间负相关，聚集特征显著。甘孜、阿坝、凉山自治州是高地形起伏度，低人口分布，低经济水平地区；成都市是低地形起伏度，高人口分布，高经济水平地区；南充市南部县、阆中市等是低地形起伏度，高人口分布，低经济水平地区；攀枝花市仁和区、甘孜州石渠县等因自然资源或地理位置因素，地形对人口或经济影响不明显。[结论] 四川省地形起伏度与人口经济呈空间负相关，但这种关系因地而异。

关键词：地形起伏度；空间自相关；四川省
文献标识码：A　　**文章编号**：1000-288X(2019)01-0250-08　　**中图分类号**：K903，F301.24

文献参数：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. DOI：10.13961/j.cnki.stbctb.2019.01.040；Zhang Jincheng，Zhou Wenzuo. Spatial autocorrelation between topographic relief and population/economy in Sichuan Province[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation，2019，39(1)：250-257.

Spatial Autocorrelation Between Topographic Relief and Population/Economy in Sichuan Province

Zhang Jincheng，Zhou Wenzuo
（*School of Geographical Sciences，Southwest University，Chongqing* 400715，*China*）

Abstract：[Objective] To analyze the spatial relationship between topographic relief and population/economy，in order to provide a reference for the rational distribution of population and the optimization of economic pattern in Sichuan Povince. [Methods] Based on ASTER GDEM data，the optimal statistical unit of topographic relief in Sichuan Province was determined by mean change-point method，and the distribution pattern of topographic relief was analyzed. The spatial relationships between topographic relief and population/economy were discussed by spatial autocorrelation analysis. [Results] Sichuan Province was mainly covered by mountains and hills，and the overall trend was high in the west and low in the east. The topographic relief was negatively correlated with population/economy，and the clustering characteristics were significant. Ganzi，Aba，and Liangshan Autonomous Prefecture were areas with high topographic relief，low population distribution，and low economic levels. Chengdu City was a region with low topographic relief，high population distribution，and high economic level. The southern part of Nanchong City and Langzhong City were areas with low topographic relief，high population distribution，and low economic level. Due to natural resources and geographical location，the topographic relief showed no significant impact on the population/economy in Renhe District of Panzhihua City，and Shiqu County of Ganzi Autonomous Prefecture. [Conclusion] The topographic relief in Sichuan Province was negatively correlated with the population/economy，but this relationship varied from region to region.

Keywords：**relief amplitude；spatial autocorrelation；Sichuan Province**

收稿日期：2018-07-15　　**修回日期**：2018-09-13
资助项目：科技部科技基础资源调查专项“中国南北过渡带综合科学考察”(2017FY1009001-4)
第一作者：章金城(1994—)，男(汉族)，四川省南充市人，硕士研究生，研究方向为土地利用与土壤环境。E-mail：2483561987@qq.com。
通讯作者：周文佐(1972—)，男(汉族)，湖北省麻城市人，副教授，主要从事遥感与 GIS 在资源与环境中的应用研究。E-mail：zhouwz@swu.edu.cn。

自然环境是人类社会赖以生存和发展的基础,影响着人口分布、交通布局、经济发展等各个方面。地形则是基本的自然地理要素之一,区域的地形结构特征往往对其社会经济活动及其空间结构产生基础性的影响。因而研究地形起伏规律及空间格局,探讨其影响机制,是了解自然环境与人类社会相互关系的有效手段。早期王玲等[1]探讨了地形起伏度的提取方法,随着3S技术的发展,地形因子被运用于探讨对农业机械化的发展[2-3]、土地利用空间格局[4-5]、聚落空间分布[6-7]、城市空间结构[8]等方面的影响。与此同时,在地形起伏与人口分布、经济发展关系方面,学者们也进行了诸多有益探讨。封志明等[9]从国家层面分析了中国地形起伏度与人口分布、经济发展的相关性,肖池伟等[10]、蔡道明等[11]等对省级层面的中小尺度区域地形起伏度作了相关研究,周亮等[12]、陈田田等[13]、陈慧玲等[14]对山区、流域等特定地形条件下的人口分布、经济发展情况进行了探讨。从已有研究看,地形研究已取得较大进展,但学者们对小尺度区域[12-16]研究较多,对大中尺度区域[9,17]研究较少;在研究方法上多以回归分析曲线拟合[9-13]为主,研究手段较为单一,也忽略了空间依赖性和异质性。地理学第一定律指出,空间实体总是相互关联的,距离较近的实体间关联更为显著。空间自相关客观存在,它研究变量在同一分布区内的潜在相互依赖性,广泛应用于研究各种社会经济现象[18-21]和要素间的空间联系[22-25],是揭示空间分异和聚集的有效手段。

四川省位于中国第一、二两级阶梯,地貌类型复杂多样,区域内高差悬殊,同时又是中国西南地区重要的人口经济大省,因而研究四川省地形起伏度与人口经济之间的关系,对促进地区人口合理分布、经济发展具有重要意义。本文拟以 ASTER GDEM V2 高程数据为基础,以 ArcGIS 和 GeoDa 为平台,采用邻域分析法和均值变点法提取研究区地形起伏度,通过空间自相关分析地形起伏度与人口经济的空间关系,以期为四川省人口合理布局及经济发展提供参考。

1　研究区概况与数据来源

1.1　研究区概况

四川省位于中国西南腹地、长江上游(97°21′—108°33′E,26°03′—34°19′N),与陕西省、重庆市、贵州省、云南省等省市相邻,辖区面积 4.86×10^5 km^2,居中国第 5 位。该地区地势西高东低,西部多海拔 3 000 m以上的高山,东部为低平的成都平原,东西高低悬殊。地貌复杂,以山地为主要特色,具有山地、丘陵、平原和高原多种地貌类型。境内河流密布,流域面积 50 km^2 及以上河流 2 816 条;气候复杂多样,季风显著,雨热同期,多年平均降水量 4.74×10^{11} m^3。截止 2015 年底,共有 18 个地级市,3 个自治州,16 个县级市,183 个县级行政单元,人口 8.20×10^7,地区生产总值 3.01×10^{12} 元。

1.2　指标选取与数据来源

为了研究地形起伏度与人口经济之间的关系,同时为避免研究指标过于单一,在人口指标上选取年末常住人口、人口密度(以年末常住人口计算),经济指标上选取 GDP、人均 GDP 各两个人口经济指标进行比对研究。人口、经济等数据来源于 2016 年《四川省统计年鉴》及四川省各市州统计年鉴;地形数据 ASTER GDEM V2(分辨率为 30 m),来源于中国科学院计算机网络信息中心国际科学数据镜像网站(http://www.gscloud.cn);行政区划数据来源于国家测绘局地理信息资源目录服务系统,比例尺为 1∶100 万。

2　研究方法

2.1　分析窗口的确定与地形起伏度

地形起伏度也称地势起伏度、相对地势或相对高度,指一定区域范围内海拔高度的最大值与最小值的差值[10-11]。根据其定义,"一定区域"范围的选择变得尤为重要,随着范围的增大,区域地形起伏度会相应变化。利用 ArcGIS 软件下的邻域分析工具,以矩形为分析窗口,矩形大小为 $i\times i$($i=3,5,7\cdots45$,移动步距为 2),计算不同分析窗口下栅格值的范围(最大值与最小值之差),值范围即为分析窗口下的地形起伏度值,然后计算不同窗口下四川省平均地形起伏度,分析窗口大小的变化与地形起伏度的关系。

利用 Excel 拟合不同分析窗口下面积大小与地形起伏度两个变量的相关曲线,检验变量的相关性,得到幂指数拟合曲线(图 1)。可看出,随着分析窗口的增加,地形起伏度也逐渐增大。拟合度 $R^2=0.99$,说明分析窗口面积与地形起伏度拟合效果良好,通过统计学检验。拟合曲线上的变点是判断最优分析窗口的依据,利用均值变点法[13-14,16]求得该点。

均值变点法对恰有一个变点的检验最为有效,其计算过程如下:

(1) 令 $i=2,3,\cdots,N$(N 为样本总数),对于每个 i 将样本序列分成两段 $x_1,x_2,\cdots x_{n-1}$ 和 $x_n,x_{n+1},\cdots x_N$。计算每段样本序列的算术平均值$\overline{x_{i1}}$和$\overline{x_{i2}}$以及两段样本的离差平方和之和 S_i。

$$S_i=\sum_{i=1}^{i-1}(x_i-\overline{x_{i1}})^2+\sum_{i=1}^{N}(x_i-\overline{x_{i2}})^2 \tag{1}$$

(2) 计算总体样本的算术平均值 $\bar{x}$ 和总的离差平方和 S。

$$\bar{x}=\sum_{i=1}^{N}\frac{x_i}{N},\ S=\sum_{i=1}^{N}(x_i-\bar{x})^2 \tag{2}$$

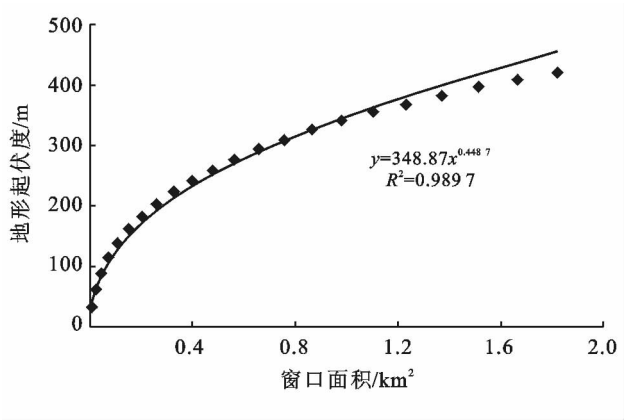


图 1 四川省地形起伏度变化拟合特征

(3) 变点的存在使 S 和 S_i 之间的差距增大。根据王玲等[1]学者的方法处理数据并计算得出总的离差平方和 $S=14.13$,计算 $S-S_i$ 差值并绘制曲线(图 2),从图中可看出在第 7 个点时差值达到最大,该点即为变点,此时对应窗口大小为 15×15(面积 0.202 5 km²)。

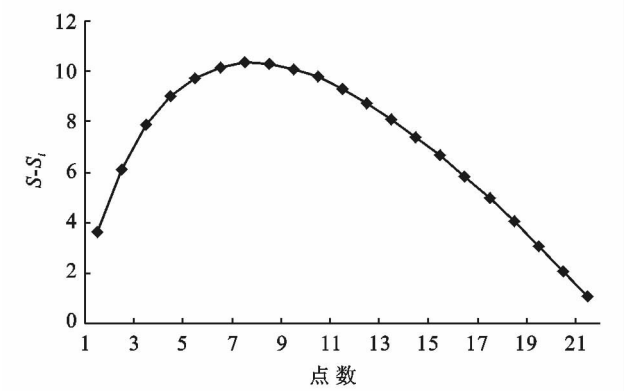


图 2 总离差平方和(S)与样本离差平方和(S_i)差值变化特征

2.2 空间自相关

空间自相关是指一些变量在同一分布区内的潜在相互依赖性,它可检验具有空间位置的某要素观测值是否显著地与相邻要素观测值相关联[24],包括单变量空间自相关、双变量空间自相关、局部空间自相关等类型[22-23],本文采用双变量空间自相关和局部空间自相关方法进行研究。

2.2.1 *双变量空间自相关* 为了探讨各县(区)地形起伏度与人口、经济之间的关系,首先运用双变量空间自相关模型计算它们在整个研究区上的相关性,计算公式[22]如下:

$$I_{ap}=\frac{n\sum_{i}^{n}\sum_{j\neq 1}^{n}w_{ij}z_i^a z_j^p}{(n-1)\sum_{i}^{n}\sum_{j\neq 1}^{n}w_{ij}} \tag{3}$$

式中:I_{ap}——地形起伏度 a 和人口(经济)p 的双变量空间自相关系数 Moran's I 值,该值越大表示地形起伏度与人口(经济)的空间分布相关性越大;n——空间单元个数;z_i^a——空间单元 i 的地形起伏度值;z_j^p——与 i 邻近单元 j 的人口(经济)指标值;w_{ij}——空间单元 i,j 之间的空间权重矩阵。

2.2.2 *局部空间自相关* 为了弥补双变量空间自相关不能确切指出聚集或异常发生的具体位置,运用 Moran 散点图和空间关联局域指标(LISA)[20]分析地形起伏度与人口(经济)局部空间自相关格局。

Moran 散点图分为 4 个象限,分别识别某一研究单元与邻近单元的关系。第一象限为高高聚集(高地形起伏度,高人口分布或高经济水平聚集,下同),第三象限为低低聚集,暗示了观测值的相似性,表现为空间正相关;第二象限为高低聚集,第四象限为低高聚集,暗示了观测值的异常性,表现为空间负相关。如果观测值均匀地分布在 4 个象限,则表示研究区域之间不存在空间自相关性[21]。

空间关联局域指标(LISA)用来衡量空间单元变量值与周边单元变量值的相近(正相关)或差异(负相关)程度,用于识别"热点区域"以及数据的异质检验[21]。该指标计算公式[22]如下:

$$I_i^{ap}=z_j^a\sum_{i}^{n}w_{ij}z_i^p \tag{4}$$

式中:z_j^a 和 z_i^p——观测值的均值标准化;w_{ij}——空间权重矩阵;I_i^{ap}——地区 i 的地形起伏度与周围人口(经济)指标的加权平均乘积。

3 结果与分析

3.1 四川省地形起伏度空间分布

根据均值变点法得到的最佳分析单元(15×15),利用 ArcGIS 软件邻域分析工具提取研究区地形起伏度。参照中国 1∶100 万地貌图制图规范中的基本地貌形态划分方案[11,26],将四川省地形起伏度划分为平原(0~30 m)、台地(30~70 m)、丘陵(70~200 m)、小起伏山地(200~500 m)、大起伏山地(500 m 及以上)5 个等级,绘制并统计各类地形所占面积比例得到四川省地形起伏度图(图 3)和分级统计表(表 1)。

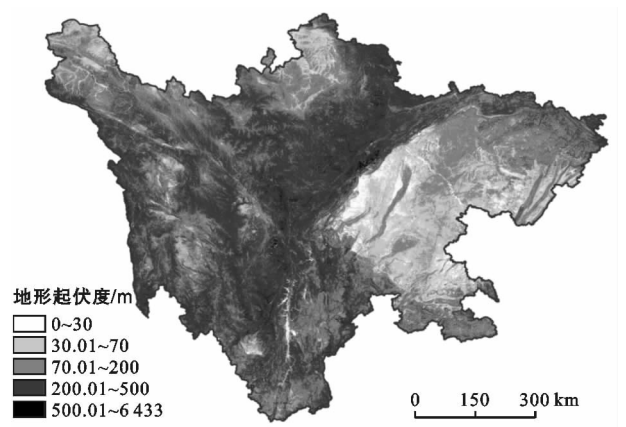


图 3 四川省地形起伏度

如图 3 所示,四川省地形起伏度介于 0～6 433 m,区域起伏悬殊,整体呈现出西高东低的趋势。中部横断山区起伏大,东部成都平原起伏小,西部既有起伏巨大的山地也有起伏较小的台地丘陵。从县域平均地形起伏度来看,起伏度最大的汶川县、泸定县、理县和九龙县平均起伏度超过 300 m,而起伏度最低的广汉市、新都区、龙马潭区和温江区平均起伏度不足 40 m。

表 1　四川省地形起伏度分级统计

起伏度分级标准	所占比例/%
平原(0～30 m)	2.68
台地(30～70 m)	15.61
丘陵(70～200 m)	40.46
小起伏山地(200～500 m)	40.68
大起伏山地(>500 m)	0.59

总体上,四川省地形以丘陵和小起伏山地为主。具体而言,小于 70 m 的平原台地主要分布在成都平原,两者合占四川省总面积的 18.29%;丘陵分布在除成都平原和横断山区的四川省大部分地区,占总面积的 40.46%;小起伏山地主要分布在横断山区,占总面积的 40.68%;大起伏山地零星分布于横断山区,不足 1%。

3.2　地形起伏度与人口空间自相关分析

通过 GeoDa 软件计算得出,地形起伏度与年末常住人口、人口密度双变量空间自相关 Moran's I 值分别为－0.62,－0.27,均通过 $p<0.001$ 的检验,表明四川省地形起伏度与人口分布是显著的负相关关系,即整体上地形起伏度大的地区人口分布少,人口密度小,而地形起伏度小的地区人口分布多,人口密度大。从散点图(图 4)来看,无论是地形起伏度与年末常住人口还是与人口密度,多数点落在第Ⅱ、Ⅳ象限,而落在第Ⅰ、Ⅲ象限的点较少,表明地形起伏度与人口分布更多地呈高低、低高聚集趋势,即地形起伏度大,人口分布较少的单元与周围同样地形起伏度大,人口分布较少的单元发生聚集,而地形起伏度小,人口分布多的单元也与周围地形起伏度小,人口分布多的单元发生聚集。

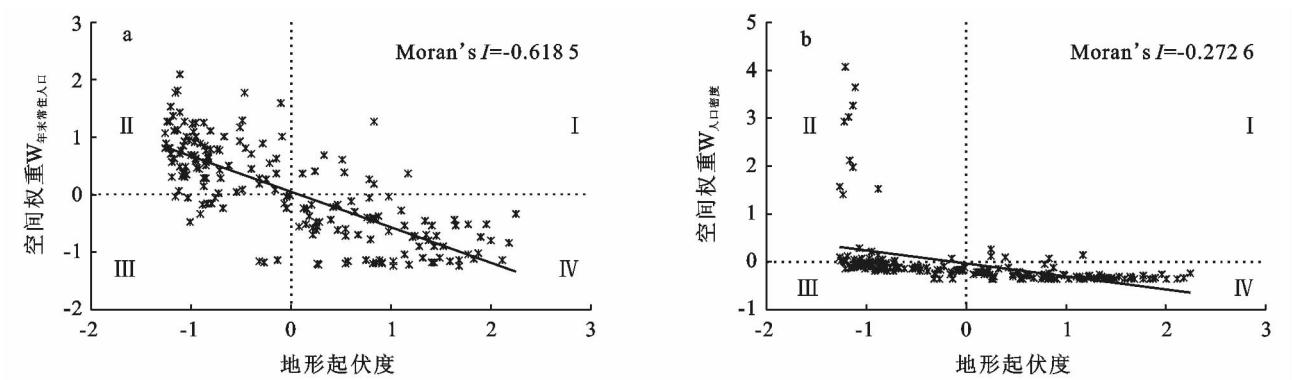


图 4　地形起伏度与人口 Moran 关系

LISA 图能进一步明确聚这些集聚或异常发生的具体位置(图 5)。从 LISA 图可看出,地形起伏度与年末常住人口之间(图 5a)存在 4 种显著的空间聚集关系,与人口密度(图 5b)存在 3 种空间聚集关系,差异明显。总的来看,地形起伏度与人口分布存在以下几种关系:

(1) 高—低型。指相对于周围地区,地形起伏度较大、人口分布较少的区域,主要分布在甘孜、阿坝、凉山自治州大部分县区。这些县区位于横断山区至青藏高原的过渡带、地中海—喜马拉雅地震带,境内多 4 000～5 000 m 的高大山体、自然环境恶劣,是四川省地形起伏度最大的地区,自然灾害频发、交通困难、经济不发达、城市化水平低,难以吸引人口聚集,人口分布自然较少。

(2) 低—高型。指相对于周围地区,地形起伏度较小、人口分布较多的区域,主要分布在成都市及其附近地区。这些地区位于成都平原,地形以平原、台地为主,地形起伏度小,其气候适宜、发展历史悠久、交通便利、城镇化水平高,人口集聚,一直都是四川省人口最为密集的地区。

(3) 高—高型。指相对于周围地区,地形起伏度大、人口分布多的区域,分布于达州市的万源市。万源市位于秦巴山地,地形起伏度较大,但其地处川、陕、渝结合部,襄渝铁路、210 国道、达陕高速纵贯全市,交通便利,是入川出川的主要通道和重要门户。通达的交通为其带来大量人流物流,因而虽地形起伏度大,但人口仍较多。

(4) 低—低型。指相对于周围地区,地形起伏度

小、人口分布少的区域，分布于甘孜州石渠县和阿坝州若尔盖县、红原县。这 3 个县地形以台地丘陵为主，地形起伏度较小，但地理位置处于川西高原，海拔较高，又位于四川省与其他省交界处，远离经济发达地区，交通不便，经济水平低，对人口吸引力大大减弱，因而人口分布较少。

对比年末常住人口，地形起伏度与人口密度空间分布关系发生明显变化：高低聚集的县区数量由 39 个增加到 51 个，低高聚集县区数量由 43 个减少至 10 个，高高聚集由 1 个变为 0 个。甘孜、阿坝、凉山自治州的一些县区由不显著变为高低聚集，说明从人口密度看，甘孜、阿坝、凉山自治州大部分地区大多起伏大，人口稀疏；绵阳市、德阳市、资阳市、内江市、南充市、达州市的部分县区由低高聚集变为不显著，万源市由高高聚集也变为不显著，说明这些地区不是严格的地形起伏度小、人口密集的区域。这些空间关系的变化主要与年末常住人口和行政区划有关。四川省地形起伏度与行政区划面积具有显著的对数函数关系[27]，随着地形起伏度的增加行政区划面积相应增大。甘孜、阿坝、凉山自治州地形起伏度大，相应的行政区划面积也大，其常住人口少，人口密度就小；绵阳市、德阳市、资阳市、内江市、南充市、达州市地形起伏度较小，行政区划面积一般，其年末常住人口较多，因而人口密度不大。

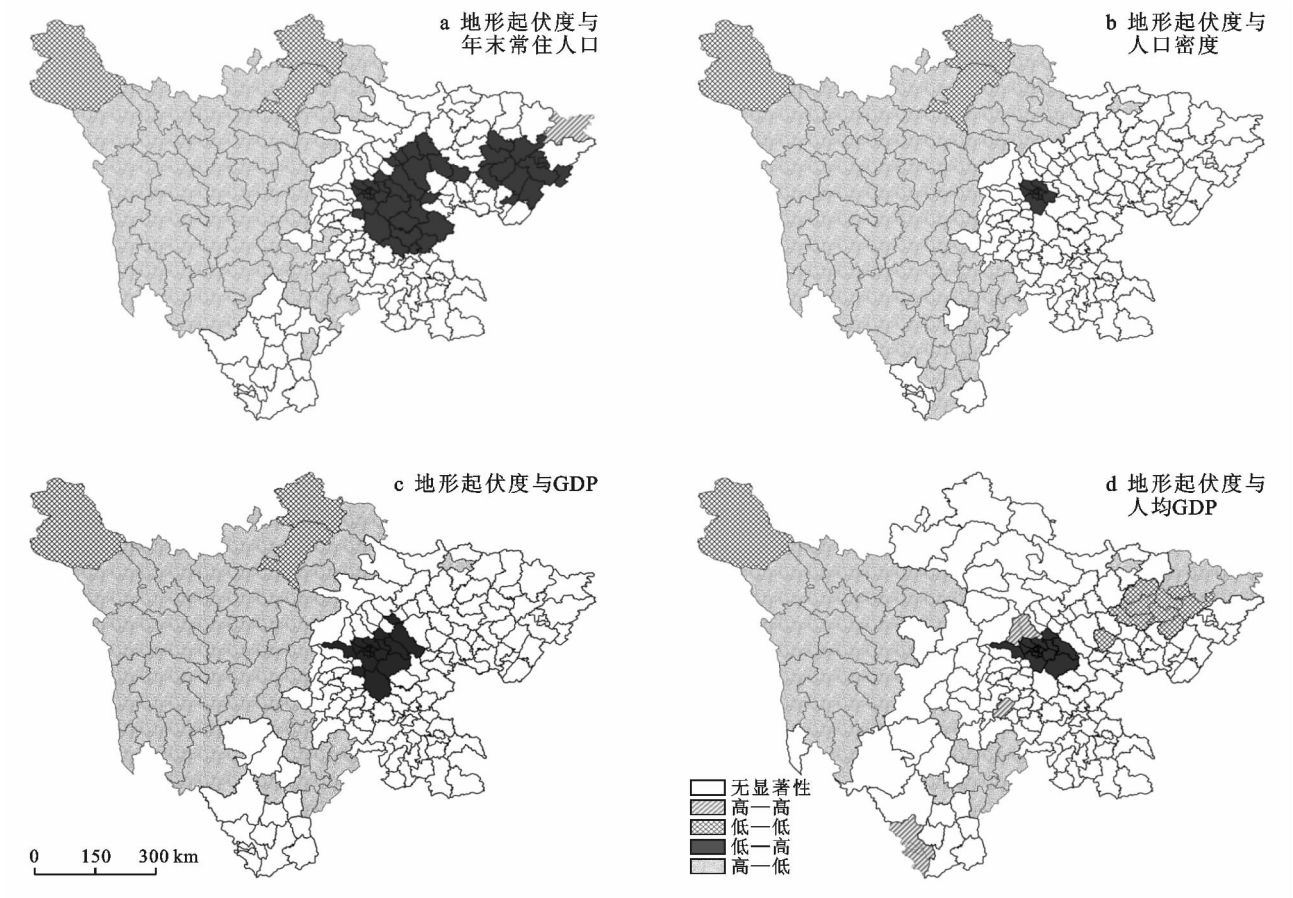


图 5 地形起伏度与人口经济 LISA 聚集关系

3.3 地形起伏度与经济空间自相关分析

根据双变量空间自相关模型计算得出，地形起伏度与 GDP、人均 GDP 空间自相关 Moran's I 值分别为－0.52，－0.27，均通过 $p<0.001$ 的检验，表明地形起伏度与经济发展呈显著的空间负相关。与人口关系类似，地形起伏度与 GDP、人均 GDP(图 6)散点也多分布于第Ⅱ，Ⅳ象限，地形起伏度与经济发展呈现出高低、低高聚集趋势，即地形起伏度大、经济水平低的单元与周围同样地形起伏度大、经济水平低的单元发生聚集，地形起伏度小、经济水平高的单元也与周围地形起伏度小、经济水平高的单元发生聚集。

从局部空间自相关 LISA 图来看，地形起伏度与 GDP(图 5c)存在 3 种显著的聚集关系，与人均 GDP(图 5d)存在 4 种空间聚集关系，差异较大。总的来看，地形起伏度与经济发展之间的关系有如下类型：

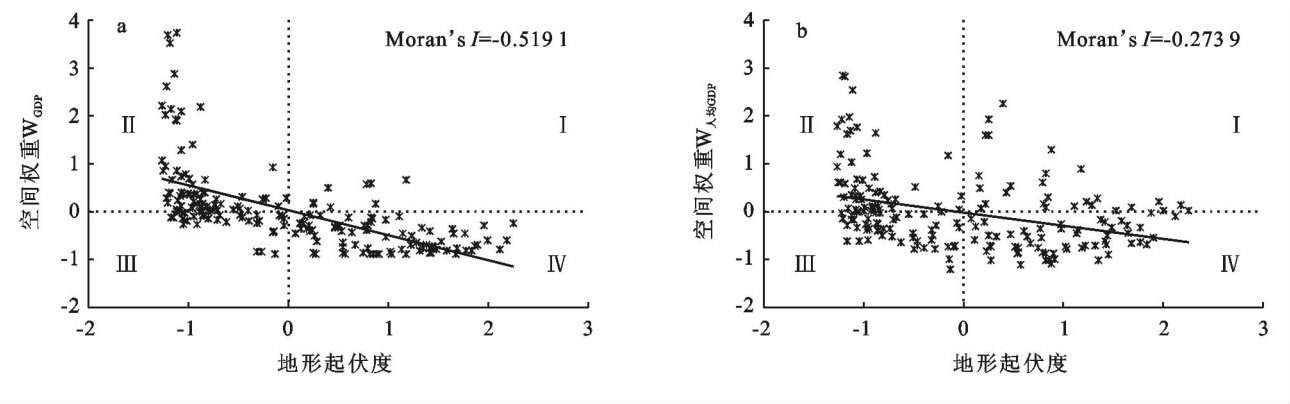


图 6　地形起伏度与经济 Moran 关系

（1）高—低型。相对于周围地区，地形起伏度较大、经济水平较低的区域，分布在甘孜、阿坝、凉山自治州部分县区。这些地区平均地形起伏度在 200 m 以上，第一产业产值占比多在 25%左右，农业占有相当大的比重，但因地形起伏度大，可利用土地较少，农业发展受限；区域内有木格措、海螺沟、稻城亚丁、贡嘎山等著名旅游景点，旅游资源丰富，旅游业发展潜力大，因区位条件差、自然条件恶劣，尤其是交通不便严重阻碍了区域经济发展。

（2）低—高型。相对于周围地区，地形起伏度较小、经济水平较高的区域，分布在成都市及其附近。这些地区地处成都平原，平均地形起伏度在 50 m 左右，地形起伏度小，自然条件优越，铁路公路密集成网，交通发达，人口密集，一直是四川省经济核心地区。

（3）高—高型。相对于周围地区，地形起伏度较大、经济水平较高的区域，分布于盐边县、仁和区、东区、西区、峨眉山市、都江堰市、彭州市。盐边县、仁和区、东区、西区属于攀枝花市，境内铁矿等矿产资源丰富，第二产业产值占比在 60%以上，工业发达；峨眉山市是中国著名旅游城市，峨眉山、乐山大佛吸引众多游客，旅游业发达；都江堰市、彭州市是成都市的组成部分，紧邻成都市区，受市区辐射带动作用强，因而这些地区虽地形起伏度较大，但因自然资源或地理位置优势经济水平较高。

（4）低—低型。相对于周围地区，地形起伏度较小、经济水平较低的区域，分布于石渠县、若尔盖县、红原县、射洪县、南部县、阆中市、苍溪县、恩阳区、仪陇县、营山县、巴州区、平昌县。石渠县、若尔盖县、红原县第一产业产值占比在 30%以上，农业比重过大，第二产业产值不足 30%，工业不发达，加之其地理位置较差，交通不便，人口较少，因而虽地形起伏度小但经济水平仍较低。

南充市南部县、仪陇县、营山县、阆中市、广元市苍溪县、巴中市恩阳区、巴州区、平昌县成为低—低型的主要原因是人口基数大。这些地区 2015 年 GDP 几乎均在 100 亿元以上，总产值并不低，其与地形起伏度的空间关系也表现为不显著型，但这些地区年末常住人口均超过 40 万人，个别城市常住人口甚至在 90 万以上，人口基数庞大，导致其人均 GDP 仅 2 万元左右，低于四川省平均水平（36 836 元），这也侧面说明了这些地区还没有充分发挥地形优势，经济不够发达。

对比 GDP，地形起伏度与人均 GDP 空间分布关系发生较大变化：高低聚集的县区数量由 40 个减少至 28 个，低高聚集县区数量由 19 个减少至 15 个，高高聚集由 0 个增加到 7 个，低低聚集由 3 个增加到 10 个。甘孜、阿坝、凉山州一些县区由高低或低低聚集变为不显著，南充市、巴中市等一些县区则由不显著变为低低或高低聚集，德阳市中江县等由低高聚集变为不显著，峨眉山市等由不显著变为高高聚集（表 2）。

表 2　地形起伏度与 GDP、人均 GDP 关系变化对比

变化类别	地 区
高低聚集变为不显著	松潘县、九寨沟县、小金县、黑水县、阿坝县、康定市、泸定县、丹巴县、得荣县、木里县、甘洛县、汉源县、宝兴县、理县、天全县
不显著变为低低聚集	巴州区、恩阳区、平昌县、南部县、营山县、仪陇县、阆中市、苍溪县、射洪县
低低聚集变为不显著	若尔盖县、红原县
不显著变为高高聚集	峨眉山市、都江堰市、彭州市、东区、西区、仁和区、盐边县
不显著变为高低聚集	通江县、南江县、万源市
低高聚集变为不显著	中江县、罗江县、仁寿县、彭山区

统计这些空间关系出现变化的县区人口经济信息制作表 3。从表 3 中可看出,这些空间关系的变化主要与年末常住人口有关。如松潘县等由高低聚集变为不显著的地区,其 GDP 总量不高,但因年末常住人口较少而人均 GDP 并不低,从而由高低聚集变为了不显著;又如巴州区等由不显著变为低低聚集的地区,其 GDP 总量较高,因年末常住人口较多使得人均 GDP 较低,因而成为低低聚集型。

表 3 四川省松潘县等地区人口经济统计结果

地 区	年末常住人口/万人	GDP/万元	人均 GDP/元	地 区	年末常住人口/万人	GDP/万元	人均 GDP/元
松潘县	7.48	178 234	23 924	巴州区	72.14	1 287 572	17 866
九寨沟县	8.19	243 938	29 858	恩阳区	43.67	488 568	11 206
小金县	7.98	129 278	16 302	平昌县	84.15	1 212 887	14 429
黑水县	6.37	213 409	33 928	南部县	93.42	2 661 892	28 561
阿坝县	7.52	96 111	12 849	营山县	74.30	1 423 042	19 197
康定市	13.38	504 611	37 770	仪陇县	92.95	1 546 067	16 673
泸定县	8.87	187 278	21 185	阆中市	72.85	1 788 278	24 605
丹巴县	7.03	13 321	19 003	苍溪县	60.60	1 135 499	19 046
得荣县	2.76	62 965	23 149	射洪县	93.18	2 926 481	31 440
木里县	13.30	276 435	20 863	峨眉山市	44.81	2 110 344	47 285
甘洛县	19.80	247 086	12 542	都江堰市	68.02	2 753 768	40 754
汉源县	31.80	633 304	19 686	彭州市	77.13	3 335 497	43 268
宝兴县	5.80	260 177	44 858	东 区	38.30	3 770 361	98 572
理 县	4.81	219 734	45 778	西 区	14.96	1 058 010	70 440
天全县	13.86	484 105	35 004	仁和区	27.09	1 980 132	73 257
若尔盖县	7.81	153 687	19 908	盐边县	20.04	1 131 233	55 808
红原县	4.82	112 272	23 537	中江县	108.10	2 879 460	26 649
通江县	71.33	973 835	13 662	罗江县	22.10	879 822	39 721
南江县	61.57	1 050 576	17 071	仁寿县	122.62	3 396 578	27 677
万源市	41.61	1 180 713	28 684	彭山区	31.79	1 234 233	39 282

4 结论与讨论

(1) 四川省地形起伏度最佳统计单元为 15×15 (0.202 5 km^2),地形起伏西高东低,中部起伏大,起伏度最大的区域分布在横断山区和秦巴山地,成都平原起伏度最小。四川省地形以丘陵和山地为主,两者合占 80%以上。

(2) 地形起伏度是影响人口分布和经济发展的重要因素之一。四川省县域地形起伏度与年末常住人口、人口密度、GDP、人均 GDP 双变量空间自相关 Moran's I 值均为负,地形起伏度与人口分布、经济发展呈显著负相关。总体上地形起伏度大的地区,人口数量少、人口稀疏、经济水平低,地形起伏度小的地区人口基数大、人口密集、经济水平高。

(3) 从地形起伏度与人口经济的空间关系上看,甘孜、阿坝、凉山自治州是高地形起伏度、低人口分布、低经济水平地区;成都市是低地形起伏度、高人口分布、高经济水平地区;南充市的南部县、阆中市等是低地形起伏度、高人口分布、低经济水平地区;攀枝花市的仁和区、乐山市的峨眉山市等因自然资源或地理位置因素,地形对人口经济的影响不明显。

通过空间自相关分析,明确了不同地区地形起伏度与人口分布、经济发展的不同关系,因此区域未来发展也要因地而异:甘孜州等地区地形起伏度大,自然环境较差,不适宜大量人口集聚,人口发展不是主要任务,区域内旅游资源丰富,未来应着力于改善交通条件、努力提高经济水平;成都市无论是从年末常住人口还是从人口密度上看都是人口稠密的地区,无论是从 GDP 还是人均 GDP 上看均是经济发达地区,因而未来应控制人口数量、提高人口素质,作为成渝经济区的核心城市之一,未来在发展自身的基础上还应充分发挥带头作用,带动周边地区乃至全省的经济发展;南充市南部县等地人口基数较大,未来应适当控制人口增长,充分抓住成渝经济区发展机遇,努力提高经济水平;攀枝花市仁和区等虽然因自然资源或地理位置因素,地形对人口分布、经济发展没有明显影响,但这些城市过分依赖于矿产或旅游业的发展,未来应在优势产业的基础上发展其他产业,促进经济

全面发展。地形是一个综合的自然要素,地形起伏度仅是地形特征的一个派生,未来可以从高度、坡度、坡向等多地形特征深入探讨地形与人口经济的关系。

[参 考 文 献]

[1] 王玲,吕新.基于 DEM 的新疆地势起伏度分析[J].测绘科学,2009,34(1):113-116.

[2] 唐林楠,吴彦澎,刘玉,等.河北省县域农业机械化水平的分异格局及其影响因素[J].北京大学学报:自然科学版,2017,53(3):421-428.

[3] 周晶,陈玉萍,阮冬燕.地形条件对农业机械化发展区域不平衡的影响:基于湖北省县级面板数据的实证分析[J].中国农村经济,2013(9):63-77.

[4] 盛艳,姚云峰,秦富仓.基于地形因素的赤峰市城子乡土地利用空间格局变化[J].河海大学学报:自然科学版,2014,42(5):388-393.

[5] 郜红娟,张朝琼,张凤太.基于地形梯度的贵州省土地利用时空变化分析[J].四川农业大学学报,2015,33(1):62-70.

[6] 肖飞,杜耘,凌峰,等.江汉平原村落空间分布与微地形结构关系探讨[J].地理研究,2012,31(10):1785-1792.

[7] 娄帆,李小建,陈晓燕.平原和山区县域聚落空间演变对比分析:以河南省延津县和宝丰县为例[J].经济地理,2017,37(4):158-166.

[8] 熊黑钢,邹桂红,崔建勇.城市化过程中地形因素对城市空间结构演变的影响:以乌鲁木齐市为例[J].地域研究与开发,2012,31(1):55-59.

[9] 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.

[10] 肖池伟,刘影,李鹏.基于地形起伏度的江西省人口—经济格局变化分析[J].水土保持通报,2016,36(2):222-227.

[11] 蔡道明,李柏,许文盛,等.基于 ASTERGDEM 数据的湖北省地形起伏度及其与人口和经济的关系研究[J].水土保持通报,2017,37(5):231-234.

[12] 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.

[13] 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[J].中国科学院大学学报,2016,33(4):505-512.

[14] 陈慧玲,肖武,王铮,等.巢湖流域地形起伏度及其与人口分布的相关性研究[J].科学技术与工程,2016(17):108-112.

[15] 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[J].地理科学,2012,32(8):951-957.

[16] 于慧,邓伟,刘邵权.地势起伏度对三峡库区人口及经济发展水平的影响[J].长江流域资源与环境,2013,22(6):686-690.

[17] 周蕾,熊礼阳,王一晴,等.中国贫困县空间格局与地形的空间耦合关系[J].经济地理,2017,37(10):157-166.

[18] 杨杨,吴次芳.泛长江三角洲区域经济空间差异分析:基于经验贝叶斯修正的空间自相关指数[J].长江流域资源与环境,2011,20(5):513-518.

[19] 万鲁河,王绍巍,陈晓红.基于 GeoDA 的哈大齐工业走廊 GDP 空间关联性[J].地理研究,2011,30(6):977-984.

[20] 谷建立,张海涛,陈家赢,等.基于 DEM 的县域土地利用空间自相关格局分析[J].农业工程学报,2012,28(23):216-224.

[21] 付金霞,郑粉莉,李媛媛.小理河流域土地利用空间自相关格局与影响因素分析[J].农业机械学报,2017,48(1):128-138.

[22] 王怀成,张连马,蒋晓威.泛长三角产业发展与环境污染的空间关联性研究[J].中国人口·资源与环境,2014,24(3):55-59.

[23] 向延平.旅游发展与经济增长空间自相关分析:基于武陵山区的经验数据[J].经济地理,2012,32(8):172-175.

[24] 李海蓉,阚瑗珂.攀枝花市人口分布与道路设施布局空间自相关研究[J].科学技术与工程,2014,14(20):281-285.

[25] 马晶,朱美玲,马永仁,等.新疆县域人口与畜牧业经济时空演化分析[J].干旱区地理,2016,39(6):1380-1388.

[26] 中国科学院地理研究所.中国 1∶1 000 000 地貌图制图规范(试行)[M].北京:科学出版社,1987:33-34.

[27] 邹宝裕,罗明良,苟娇娇.地形起伏度与行政区划相关性初探:以四川省为例[J].西华师范大学学报:自然科学版,2016,37(3):327-332.