

文章编号:2095-6134(2016)04-0505-08

基于 GIS 的横断山区地形起伏度与人口和经济的关系^{*}

陈田田^{1,2}, 彭立^{1†}, 刘邵权¹, 王旭熙^{1,2}, 徐定德^{1,2}

(1 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2 中国科学院大学, 北京 100049)

(2015 年 11 月 20 日收稿; 2016 年 3 月 21 日收修改稿)

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[J]. Journal of University of Chinese Academy of Sciences, 2016, 33(4):505-512.

摘 要 地形起伏度是影响山区人口分布和经济发展的关键因素. 以横断山区大尺度 ASTER GDEM 为数据源, 基于 GIS 的窗口递增分析原理, 采用均值变点法科学分析平均地形起伏度的最佳统计面积并对其进行分级和相关性分析, 得出实验区最佳分析窗口面积为 0.202 5 km², 省域之间地形起伏度差异明显, 省内差异不明显, 相关性较高. 同时, 采用空间分析技术、统计学方法以及 PCA 排序法, 分析地形起伏度与人口、经济的关系. 研究结果表明: 随着地形起伏度的增大, 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; 地形起伏度与第三产业占 GDP 比重的负相关性最大, 与城镇化率的负相关性较小, 与人均 GDP 的负相关性最小.

关键词 横断山区; 最佳统计单元; 地形起伏度; 人口; 经济

中图分类号: K901 文献标志码: A doi:10.7523/j.issn.2095-6134.2016.04.011

Relationships of relief degree of topography with population and economy in Hengduan mountain area based on GIS

CHEN Tiantian^{1,2}, PENG Li¹, LIU Shaoquan¹, WANG Xuxi^{1,2}, XU Dingde^{1,2}

(1 Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences, Chengdu 610041, China;

2 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Relief degree of topography is a significant factor to affect the development of economy and society. By using window analysis theory and mean change-point analysis method, the optimal statistical unit of relief amplitude is extracted based on ASTER GDEM data, and then the classification and correlation analyses on relief degree of topography are carried out. It is shown that 0.202 5 km² is the best measuring unit. The differences in relief amplitude between different provinces are obvious, and the differences are not obvious in each province. Meanwhile, the relationships of relief degree of topography with population and economy are analyzed by using spatial

^{*} 国家重点基础研究发展计划(973)项目(2015CB452706)、四川省软科学计划项目(2015ZR0121)和中国科学院成都山地灾害与环境研究所青年百人团队项目(SDSQB-2015-01)资助

[†] 通信作者, E-mail: pengli@imde.ac.cn

analysis technique, statistical method, and PCA sorting method. The results show that population density gradually decreases with relief degree of topography and it reaches a fixed value when relief degree of topography is 3.7. The negative correlation degree of relief degree of topography with the proportion of the third industry is large, the degree with urbanization rate is less, and the degree with per capita GDP is the least.

Key words Hengduan mountain area; the optimal statistical unit; relief degree of topography; population; economy

地形起伏度又称地表起伏度,是反映地域海拔和地表切割的综合因子,对区域地貌类型划分、产业布局、人口分布等具有重大的研究意义.地形起伏度的研究始于 1948 年,当时苏联科学院地理研究所提出割切深度的概念^[1],自此以后,随着空间数据和计算机的广泛使用,以 DEM 为源数据进行地形起伏度的研究日益兴盛起来^[2-7].但由于不同领域研究目的不尽相同,地形起伏度在含义界定、方法提取、应用领域等方面也存在差异.在含义界定方面,Nia 和 Harris^[8]、Feng 等^[9]将其定义为区域海拔高差与平地面积之比,使这个独立数值具备了地理学意义;在地形起伏度的提取方面,多采用窗口分析法和均值变点分析法^[10-12];在应用领域方面,杨多贵等^[13]将地形起伏度运用在云南省可持续发展评价中,徐燕^[14]、李志祥等^[15]、齐清文等^[16]在区域环境评价中都采用了地形起伏度这个指标.整体而言,根据区域自然条件和研究目的,科学地界定地形起伏度,选取合适的方法进行计算和分级,进而揭示地形起伏度带来的人文、自然景观变化已经成为人文地理学的研究热点.

从已有研究成果来看,地形起伏度的研究对象多以国家或面积较大、经济较发达的行政单元为主,基于自然单元特别是地形变化较大的山区研究尚显不足.据统计,山区面积占中国国土面积的 70%,人口总量占全国人口总量的 45%,而经济总量却只占全国的 24.7%,是相对比较落后的自然单元^[17].山区的落后很大程度上取决于其特殊的自然地理条件,由于山地阻隔以及地表起伏较大,许多社会经济活动难以展开,与外界在人员、物质、信息上的交流较少,山区发展相对封闭.为明确山区地形起伏度的特征及其对人口、经济的影响,本文以 ASTER GDEM 为基础数据源,采用均值变点分析法计算横断山区 98 个区县地形起伏度的最佳统计单

元,利用 ArcGIS 提取横断山区各区县的地形起伏度并对其进行分级和相关性分析.同时,探讨横断山区地形起伏度与人口、经济的关系,以期为促进人口布局、优化产业结构提供科学依据.

1 研究区概况

对横断山区的范围确定有很多不同的划分方法,本文借鉴相关文献研究^[18],将其范围界定如下(图 1),保证行政单元和地貌单元的完整性.横断山区地处中国西南的藏东、川西和滇西北一带,地形大致呈西北高、东南低,中心部分高、东西两侧低的走势,跨 98°E ~ 104°E, 25°N ~ 34°N,涵盖四川省、云南省和西藏自治区的 98 个区县,土地总面积为 37.6 万 km²,人口密度仅为 26.3 人/km².横断山区地处亚热带和高原温带纬度带,年均气温 15.3 °C^[19],区内动植物种类繁多,土地利用类型多样,森林面积广布,植被水平地带性和垂直地带性明显.由于受地形的影响,局地气候变化多端.区内矿产资源丰富,铜、铅锌矿、铬矿规模较大,许多大河(金沙江、澜沧江、怒江等)都流经该区域,水资源丰沛,分布集中.但由于高山(贡嘎山、四姑娘山、玉龙山)作用,山区地形起伏高差悬殊,地面崎岖不平.截止到 2013 年,横断山区生产总值为 4 715.18 亿元,在全国的比重为 0.83%,但是土地面积占全国的比重却达到 5.7%;单位土地的 GDP 产出较低,经济较落后;同时,横断山区人均 GDP 仅为 2.19 万元,低于全国平均水平(4.73 万元).横断山区经济、人口的落后很大程度上取决于区域特殊的自然条件,地形的起伏不平是制约经济、人口发展的关键因素.科学认识地形起伏度与经济、人口的关系,因地制宜进行资源开发和利用是促进横断山区经济发展和城镇建设的有效途径.

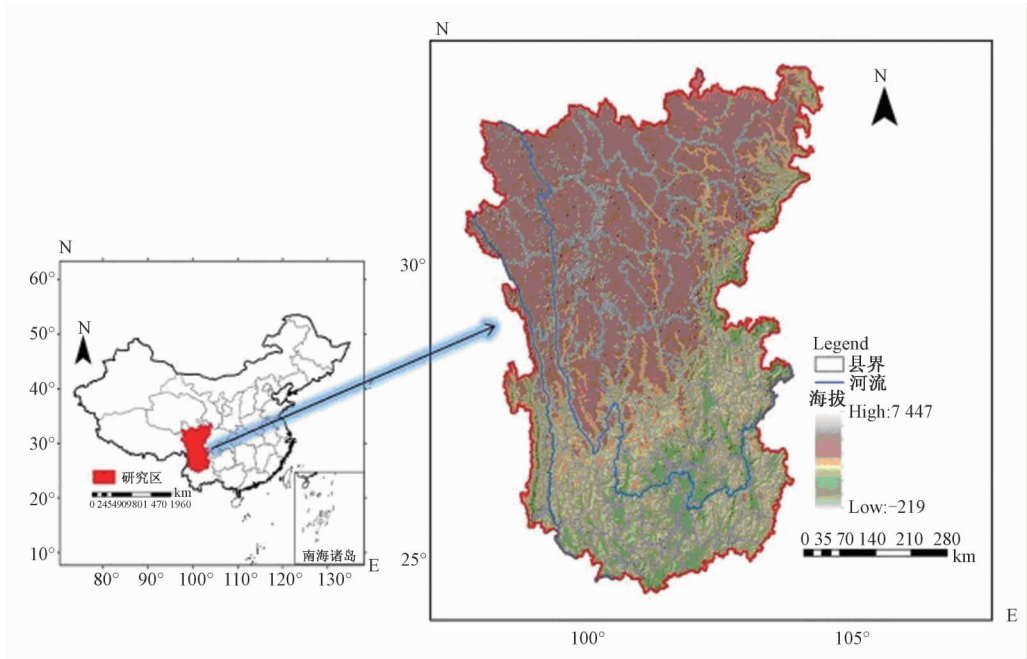


图 1 横断山区区位图

Fig.1 Location of Hengduan mountain area

2 数据来源

本研究的 DEM 数据为 ASTER GDEM (V2), 基本格网单元大小为 30 m × 30 m. 行政界线数据、水系分布和道路数据均来自国家遥感应用工程技术研究中心西南分中心,基本比例尺为 1:10 万. 社会经济数据来自云南统计年鉴(2014)、四川统计年鉴(2014)和西藏统计年鉴(2014).

3 研究方法与数据处理

3.1 确定最佳分析窗口

采用 DEM 数据作为基础数据源,利用 ArcGIS 中的空间分析模块提取高程差. 随着空间分析范围的扩大高程差也会增加. 所以,确定高程差的关键是确定这一范围的大小. 本文选取矩形分析窗口,窗口大小按 3 × 3、5 × 5、7 × 7、⋯、45 × 45 依次移动,步距为 2^[20]. 对计算得到的不同窗口下的高程差,本文取其高程差的平均值(表 1),然后与各单元窗口相对应的面积作对数和幂指数拟合(图 2).

从图 2 的拟合曲线看出,对数曲线拟合公式为 $Y = 97.435 \ln x + 419.498$, $R^2 = 0.946$. 幂指数曲线拟合公式为 $Y = 434.746x^{0.456}$, $R^2 = 0.99$. 式中 y 为平均高程差, x 为网格面积. 根据判定系数 R^2

表 1 研究区网格单元与平均高差关系

Table 1 Relationship between grid unit and average height in study area

网格大小	面积/ km ²	平均高差/ m	网格大小	面积/ km ²	平均高差/ m
3 × 3	0.008 1	39.37	25 × 25	0.562 5	343.54
5 × 5	0.022 5	75.37	27 × 27	0.656 1	364.58
7 × 7	0.044 1	108.89	29 × 29	0.756 9	385.01
9 × 9	0.072 9	140.37	31 × 31	0.864 9	404.73
11 × 11	0.108 9	170.06	33 × 33	0.980 1	423.93
13 × 13	0.152 1	198.25	35 × 35	1.102 5	442.48
15 × 15	0.202 5	225.14	37 × 37	1.232 1	460.33
17 × 17	0.260 1	250.82	39 × 39	1.368 9	477.72
19 × 19	0.324 9	275.34	41 × 41	1.512 9	495
21 × 21	0.396 9	299.01	43 × 43	1.664 1	511.65
23 × 23	0.476 1	321.71	45 × 45	1.822 5	527.73

越大拟合效果越好的原则,幂指数曲线的拟合效果最好且通过统计学检验. 从拟合曲线图中可以发现,研究区平均高差随着统计单元面积的增大而增大,且变化幅度较大;然后,曲线上出现平均高差增加由陡变缓的那一点;这个点之后,平均高差随着统计单元面积的增大而增大的趋势逐渐变缓;故由陡变缓的这一点所对应的面积即是我们寻找的最佳分析窗口.

已有研究多通过人工手段判断曲线上由陡变缓点的位置^[21-22],这种方法中人为主观性影响较

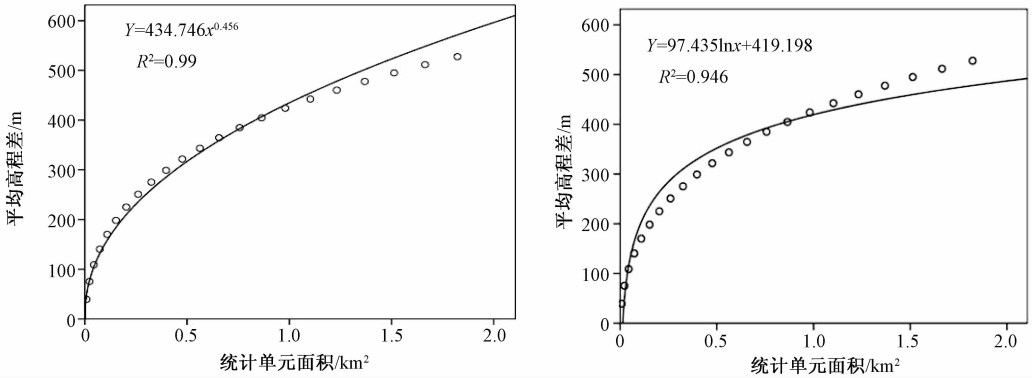


图 2 横断山区平均高差变化拟合曲线

Fig. 2 Fitting curve for relation between grid unit and average height in Hengduan mountain area

大. 本文采用统计学上的均值变点分析法科学地计算出拟合曲线上由陡变缓的点. 均值变点分析法计算过程大致如下^[23]: 设有样本序列 H_0 .

1) $i = 1, 2, \dots, N$, 对每个 i 将样本分成 2 段: X_1, X_2, \dots, X_{i-1} 和 X_i, X_{i+1}, \dots, X_N . 计算每段样本的算数平均值 \bar{X}_{i1} 及 \bar{X}_{i2} 统计量

$$S_i = \sum_{t=1}^{i-1} (X_t - \bar{X}_{i1})^2 + \sum_{t=i}^N (X_t - \bar{X}_{i2})^2.$$

2) 计算统计量

$$\bar{X} = \sum_{t=1}^N X_t / N, S = \sum_{t=1}^N (X_t - \bar{X})^2.$$

3) 计算期望: $E(S - S_i), i = 2, 3, \dots, N$

$$E(S - S_i) = E[N - (i - 1)(N - i + 1) (\bar{X}_{i1} - \bar{X}_{i2})^2].$$

根据文献[24]中的方法处理数据得出统计量 $S = 13.76$, 对 $S - S_i$ 数据序列按照均值变点分析法进行计算, 可得到差值变化曲线图 3, 在第 7 个点时 S 与 S_i 的差值达到最大. 这一点, 即我们寻找的变点. 而第 7 个点对应的分析窗口为 15×15 个像元, 此时计算得到的最佳统计单元面积为 0.2025 km^2 .

3.2 地形起伏度内涵及提取方法

根据封志明等^[25]对地形起伏度的理解, 本文将县域地形起伏度定义为某一县域内平均海拔高出水平面上的起伏程度, 其计算公式为

$$\text{RDLS} = \text{ALT} / 1\,000 + \{ \text{RALT} [1 - P(A) / A] \} / 500, \tag{1}$$

式中: RDLS 为地形起伏度; ALT 为县域内的平均海拔, m; RALT 为县域内的平均高差, m; $P(A)$ 为县域内的平地面积, km^2 ; A 为县域总面积, km^2 .

本研究县域地形起伏度的提取主要采用上述的窗口分析法 (15×15), 利用 ArcGIS 软件的

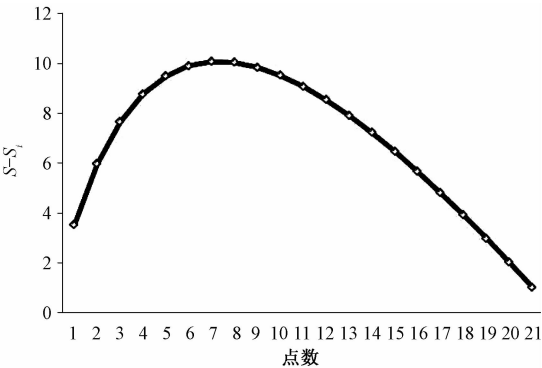


图 3 S 与 S_i 差值的变化曲线

Fig. 3 Variation curve of difference between S and S_i

GRID 和 ZONAL 模块实现. 其步骤为:

1) 采用窗口分析法, 窗口大小采用 0.2025 km^2 , 以每个栅格为中心在 15×15 的范围内分别提取分析窗口内高程的最大值与最小值, 生成最大值图层与最小值图层, 运算 2 个数据层的差值即为该中心栅格的高差, 由此得到每个栅格的高差值.

2) 县域非平地比例 $[1 - P(A) / A]$ 的提取平地的定义, 在参考中国地貌全图研制方法及地形起伏度划分类型等研究成果的基础上, 本文确定的标准为最大高差小于等于 30 m . 利用 Block statistic 模块计算县域内的平地总面积, 并逐个求得县域内的非平地比例, 即 $1 - P(A) / A$.

3) 县域平均海拔与高差的提取. 利用 Zonal-Mean 函数从高程模型数据和高差值数据层中分别提取各区县的平均海拔和平均高差.

4) 县域地形起伏度 (RDLS) 的最终提取. 按照式(1)计算各区县地形起伏度, 完成县域单元地形起伏度的最终提取.

4 结果与分析

4.1 地形起伏度的分布规律

参考相关地貌制图规范中的分级标准^[26-27],对最佳尺度下的地形起伏度进行分级,生成地形起伏度分级图(图 4)。本文将横断山区的地形起伏度分为 5 级,分别命名为高水平区、较高水平区、中水平区、较低水平区和低水平区,并对各类型区进行统计分析。地形起伏度高水平区包括巴塘县、察雅县在内的 24 个区县,平均海拔在 4 098.4 m,区县总面积最大,占横断山区面积的 42.23%。这些区县大多位于川西高原和纵向岭谷地带,以高原地貌类型为主,海拔较高,地面因高原切割跌宕起伏。地形起伏度较高水平区包含阿坝县、得荣县在内的 13 个区县,平均海拔在 3 419.7 m,区县面积占横断山区面积的 19.05%。这些区县多位于高原交界处,山峦重叠,属于典型的高山峡谷地形,地表切割严重。地形起伏度中水平区包括宝兴县、布拖县在内的 18 个区县,平均海拔在 2 642.4 m,区县面积占横断山区面积的 15.46%。这类区县多属于丘陵地形,虽然也有高山、峡谷,但是切割深度和强度明显低于高水平区,地形落差较小。地形起伏度较低水平区包括宾川县、大理市在内的 32 个区县,平均海拔在 2 118.2 m,区县面积占横断山区面积的 18.73%。地形起伏度低水平区包括楚雄市、华坪县在内的 10 个区县,平均海拔在 1 725.1 m,区县面积占横

断山区面积的 4.53%,这些区县平地较多,经济发展也较为迅速。整体而言,地形起伏度呈现由南向北逐渐升高的趋势,四川省和西藏地区的地形起伏度明显高于云南省,各省之间差异明显。

通过对分级图进行分析,可以发现横断山区地形起伏度与海拔之间关系密切。为弄清二者之间的关系,本文以地形起伏度为 x 轴,平均海拔为 y 轴对其进行回归分析并建立关系式(图 5)。从图中可以看出二者之间存在明显的线性关系, R^2 为 0.988,通过了 $p < 0.001$ 的显著性检验,它们之间的关系可以用公式 $y = 939.533x - 227.832$ 表达,这表示平均海拔随着地形起伏度的增加而增高,地形起伏度越大的区县平均海拔也较高,地形起伏度较小的区县平均海拔也较低。

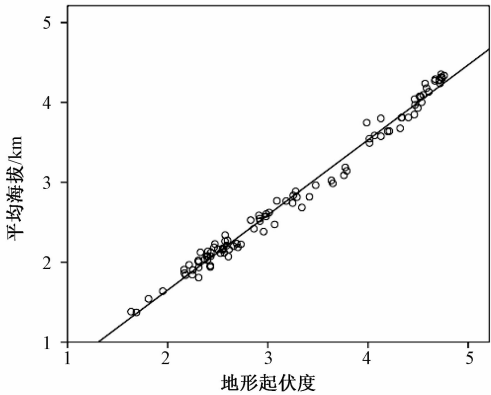


图 5 地形起伏度与平均海拔的关系

Fig. 5 Relationship between relief degree of topography and mean altitude

4.2 地形起伏度空间自相关分析

为进一步分析地形起伏度的全局空间自相关性,本文计算地形起伏度的 Moran's I 值。其 Moran's I 值为 0.897 9,通过了 $p < 0.001$ 的检验,这说明横断山区的地形起伏度在整体上存在集聚或者分散状况。为进一步考察地形起伏度的局部空间异质性,本文绘制了地形起伏度的 LISA 集聚图(图 6)。其中,HH 和 LL 表明具有较高的空间正相关,区域地形起伏度之间具有集聚性和相似性。HL 和 LH 则表示空间负相关,区域地形起伏度之间具有异质性。从图中看到,川西高原、青藏高原以及交汇处的峡谷地带各区县的地形起伏度存在高度相关性(HH),这一区域各县的地形起伏度都较高,约占总区县数目的 27.55%;云南高原中部以及川滇交界处的平坝地区地形起伏度相关性也较高(LL),但是它们是低-低相关,

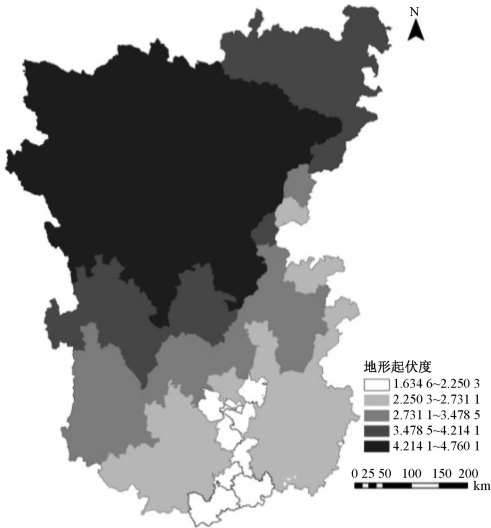


图 4 横断山区地形起伏度分级

Fig. 4 Classification for relief degree of topography in Hengduan mountain area

即这一区域地势均比较平坦,地形变化不大,约占总区县数目的 29.59%;其他区县地形起伏度的相关性不明显,约占总区县数目的 42.86%。总体而言,各省内部地形起伏度差异不大。

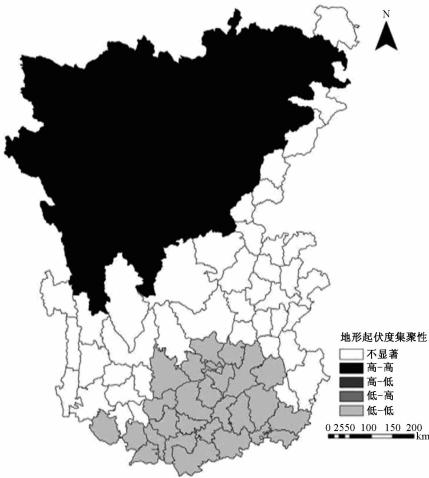


图 6 横断山区地形起伏度的 LISA 集聚图

Fig.6 LISA cluster map of relief degree of topography in Hengduan mountain area

4.3 地形起伏度与人口、经济的关系

横断山区属于中国典型的贫困区,其经济和人口发展受到地形条件的严重制约. 本文从地形起伏度出发,分析其与人口密度、人口结构和经济发展的关系,试图为区域进步提供参考。

4.3.1 地形起伏度与人口密度的关系

剔除样本异常值后,以地形起伏度和人口密度均值为原点,绘制了地形起伏度与人口密度散点图(图 7). 从图中可以看出,98 个区县主要位于 2、4 象限,占横断山区总区县数的 86.73%;第 3 象限的区县数为 13,占比 13.27%;第 1 象限的区县数为 0. 从整体上看,随着地形起伏度的升高,人口密度逐渐降低. 横断山区由于地势崎岖险

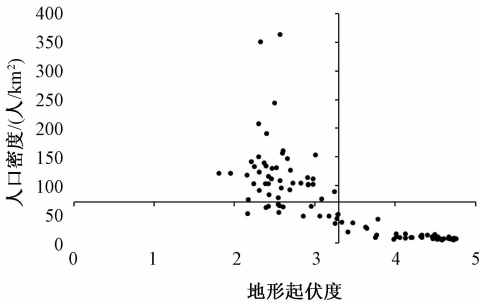


图 7 横断山区地形起伏度与人口密度关系

Fig.7 Relationship between relief degree of topography and population density

峻,陡坡地面积极广,可利用土地少,生产条件差,再加上自然和人为因素的破坏,坡地水土流失普遍,土地资源耗损严重,造成整体人口密度较小. 同时,由于山体的自然阻隔,基本交通设施落后,造成人口移动困难,使平坝地区人口密度远高于高山地区,人口分布不均衡. 并且,从图中不难看出,当地形起伏度达到 3.7 左右的时候,人口密度趋近于一个固定值,即当地形起伏度大于 3.7 以后,随着地形起伏度的升高,人口密度不再发生明显变化. 那么,3.7 可以认为是横断山区人口密度随地形起伏度变化的一个临界值。

4.3.2 地形起伏度与人口结构的关系

本文从年龄结构入手分析横断山区地形起伏度与人口结构关系. 通过对横断山区不同年龄段人口进行统计,发现横断山区 35~39 岁之间的人口所占比重最大,其次为 40~44 岁,然后是 30~34 岁,而且年轻人的比例远高于老年人. 总体而言,横断山区的年龄结构属于成年型,人力资源比较旺盛. 本文选取几个不同年龄段的人口比重,对横断山区地形起伏度与人口年龄的关系进行分析. 从地形起伏度与人口年龄比重矩阵图(图 8)中可以看到,地形起伏度为 2.5 和 4.5 时各年龄段人口比重都较高,处于二者之间和两旁的地形起伏度所对应的人口比重都较低,2.5 和 4.5 可以看作横断山区人口集聚点. 这可能是由于地形起伏度较低地区,气候、环境、经济等各方面条件要好一些,人口基数较大;而在地形起伏度较高地区,人口由于转移困难,会在这个地区一直繁衍生息,形成特色聚落,尤以少数民族聚落居多. 就各年龄段而言,5~9 岁、15~19 岁以及 25~29 岁人口比重随着地形起伏度升高呈现波动上升的趋

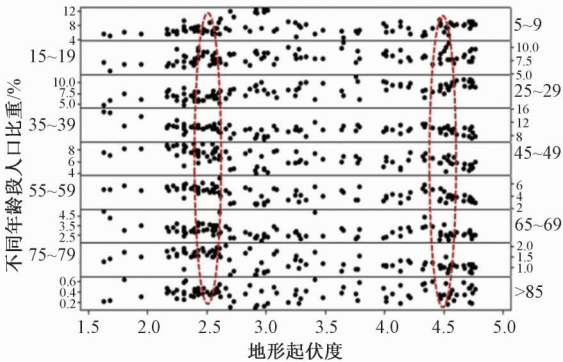


图 8 地形起伏度与人口年龄比重矩阵图

Fig.8 Matrix diagram between relief degree of topography and proportion of population age

势,35~39岁、45~49岁、55~59岁以及65~69岁人口比重随着地形起伏度升高而波动下降,75~79岁和85岁以上人口比重虽然也有所波动但是起伏不大,几乎保持不变.这种人口比重变化与区域自然条件、经济状况以及人类生活习惯、身体状况等有着密切关系.

4.3.3 地形起伏度与经济发展的关系

在对横断山区地形起伏度(dxqfd)的空间分布规律有了一定认识的基础上,选择人均GDP(rjgdp)、三产比重(scbz)和城镇化率(czhl)3个指标表征区域经济发展状况,通过canoco软件对横断山区地形起伏度与经济的关系进行分析.从PCA排序图(图9)中可以看到,PCA排序将98个区县大致划分为3种类型,3种类型的分布差异较大.整体上,第2、3种类型的区县数目较多,达到区县总数的79.6%,这也验证了横断山区经济不发达的事实.其中,第1种类型代表的是人均GDP较高,城镇化率也相对较高但是三产比重却较低的区域.这种类型的区县主要是通过工业化道路,在资源型产业特别是矿产资源的利用下完成了城镇化过程,但是这类城镇产品结构单一、资源依赖性强、产业链延伸不够、产品附加值不高,其中以攀枝花市东区、仁和区为代表.第2种类型代表的是人均GDP较低,但是三产比重较高的区域.这类区县一般自然景观、人文风光都较好,以旅游业为其主要发展方向,但是由于一系列交通、宣传、经营管理模式的原因,实际景观价值与旅游经济价值不匹配,影响了区域经济整体水平,元谋县、越西县表现得最为突出.第3种类型代表的是

地形起伏度高,经济结构和城镇化率都比较低的区域,这类区域由于气候和地形条件的限制,耕地面积狭小,资源开发利用程度不高,并且自然灾害频发,各种社会经济活动都难以展开,造成区域的整体落后,其中以茂县、美姑县为代表.同时,可以看出地形起伏度与人均GDP、三产比重和城镇化率均呈现负相关的关系,即随着地形起伏度的增加,人均GDP、三产比重和城镇化率都逐渐下降.从地形起伏度到其他各轴的垂直距离来看,地形起伏度与三产比重的负相关性最大,其次是城镇化率,最小的是人均GDP.

5 结论和讨论

由于不同地貌类型之间的差异性,其地形起伏度与人口、经济之间的影响类型、作用程度都不一样,而横断山区作为一种自然地貌类型,其地形起伏度与人口和经济之间的关系更加特殊.所以,本文利用ArcGIS中的空间分析模块以横断山区DEM数据为基础,利用均值变点分析方法计算横断山区地势起伏度的最佳统计单元,并定性和定量揭示横断山区地形起伏度与人口、经济的关系.研究结果表明:

1)以窗口分析法为基础,利用均值变点分析方法确定15×15的网格(0.2025 km²)是横断山区DEM计算地势起伏度的最佳统计单元.并且,横断山区的地势起伏度呈现出由北向南逐渐降低的空间格局,省域之间差异明显,各省内部差异较小,存在较明显的空间相关性.因此,在推进主体功能区战略时应根据区域地形起伏度差异因地制宜,实行差别化功能定位,促进区域协调发展.

2)整体上看,横断山区人口密度随地形起伏度的升高而降低.在其内部,当地形起伏度到达3.7之前,人口密度随着地形起伏度的升高而降低;在地形起伏度超过3.7以后,人口密度保持均值水平.3.7是横断山区人口密度随地形起伏度变化的临界值.同时,横断山区的中青年人口比重较大,年龄结构属于成年型,人力资源比较旺盛,发展潜力巨大.应充分利用横断山区充足的劳动力,加大人力资本投入,不断完善激励机制,促进区域经济发展.

3)通过PCA排序分析将98个区县大致划分为3种类型:以攀枝花市东区为典型的区县代表的是经济发达但是产业层次较低的第1种类型;

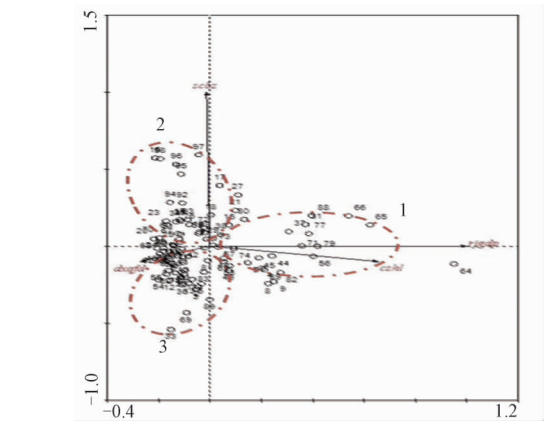


图9 横断山区地形起伏度与经济发展的PCA排序
Fig.9 PCA sorting between relief degree of topography and economic development in Hengduan mountain area

以元谋县为典型的区县代表的是产业层次较高但是经济却发达的第 2 种类型;以茂县为典型的区县代表的是地形起伏较大,经济较差,产业层次也不高的第 3 种类型. 不同类型之间界限清楚. 因此,应根据各区县地形起伏度与人口、经济、社会关系,促进人口合理分布,优化产业结构,实现城镇化稳步推进.

4)在工业化、城镇化的影响下,人地关系呈现出动态变化的过程,区域人口和经济的影响因素也变得更加多元,而本文仅从地形起伏度这一角度进行了相关性分析,略显简单. 同时,应充分考虑因素之间的联接性和拓扑关系,将它们之间的联系落实于空间,故可以通过地理加权回归建模(GWR)来综合分析各要素的影响.

参考文献

- [1] A·N·斯皮里顿诺夫. 地貌制图学[M]. 北京:地质出版社,1956:81-84.
- [2] Pachauri A K, Gupta P V, Chander R. Landslide zoning in a part of the garhwal Himalayas[J]. Environmental Geology, 1998,36(3):325-334.
- [3] Saha A K, Gupta R P, Sarkar I, et al. An approach for GIS-based statistical landslide susceptibility zonation: with a case study in the Himalayas[J]. Landslides,2005,2(1):61-69.
- [4] Kodagali V. Influence of regional and local topography on the distribution of polymetallic nodules in central Indian Ocean Basin[J]. Geo-Marine Letters, 1988, 8(3): 173-178.
- [5] 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[J]. 水土保持通报,2001,21(1):57-62.
- [6] Summerfield M A. Geomorphology and global tectonics[M]. Berlin: Wiley,2000.
- [7] 涂汉明,刘振东. 中国地势起伏度研究[J]. 测绘学报,1991,20(4):311-319.
- [8] Niu W Y, Harris W M. China: the forecast of its environmental situation in the 21st century[J]. Journal of Environmental Management, 1996, 47(5): 101-114.
- [9] Feng Z M, Tang Y, Yang Y Z, et al. Relief degree of land surface and its influence on population distribution in China[J]. Journal of Geographical Sciences,2008,2(18):237-246.
- [10] Yu H, Luo Y, Liu S Q, et al. The influences of topographic relief on spatial distribution of mountain settlements in Three Gorges Area China[J]. Environmental Earth Sciences, 2015,74(5):4335-4344.
- [11] Ufimtsev G F. Planation of the relief of terrestrial surface[J]. Geography and Natural Resources,2009,30(1):14-20.
- [12] Kühni A, Pfiffner O A. The relief of the Swiss Alps and adjacent areas and its relation to lithology and structure: topographic analysis from a 250 m DEM[J]. Geomorphology, 2001, 41(4):285-307.
- [13] 杨多贵,陈劲峰,王海燕. 云南省可持续发展能力研究与评价[J]. 地理学与国土研究,2001,17(3):1-6.
- [14] 徐燕. 初论我国生态环境质量评价研究进展[J]. 干旱区地理,2003,26(2):41-47.
- [15] 李志祥,田明中,武法东. 河北坝上地区生态环境评价[J]. 地理与地理信息科学,2005,2(21):91-93.
- [16] 齐清文,何大明,邹秀萍. 云南沿边境地带生态环境 3s 监测、评价与调控研究[J]. 地理科学进展,2005,2(24):1-12.
- [17] 邓伟,方一平,唐伟. 我国山区城镇化的战略影响及其发展导向[J]. 中国科学院院刊,2013,28(1):66-73.
- [18] 杨勤业,郑度. 横断山区综合自然区划纲要[J]. 山地研究,1989,10(1):56-63.
- [19] 姚永慧,张百平,韩芳. 基于 Modis 地表温度的横断山区气温估算及其时空规分析[J]. 地理学报,2011,66(7):917-927.
- [20] 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.
- [21] 唐飞,陈曦,程维明,等. 基于 DEM 的准噶尔盆地及其西北山区地势起伏度的研究[J]. 干旱区地理,2006,29(3):388-392.
- [22] 王岩,刘少峰. 基于 DEM 的青海贵德地区地势起伏度的研究[J]. 地质通报,2008,27(12):2117-2121.
- [23] 项静恬,史久恩. 非线性系统中数据处理的统计方法[M]. 北京:科学出版社,1997.
- [24] 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.
- [25] 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,2007,62(10):1073-1082.
- [26] 陈志明. 论中国地貌图的研制原则、内容与方法:以 1:4 000 000 全国地貌图为例[J]. 地理学报,1993,48(2):105-113.
- [27] 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. 中华人民共和国 1:100 万数字地貌制图规范[G]. 北京:科学出版社,2005.