

# 基于 ASTERDEM 数据的湖北省地形起伏度及其与人口和经济的 关系研究

蔡道明<sup>1</sup>, 李 柏<sup>2</sup>, 许文盛<sup>1</sup>, 张平仓<sup>1</sup>, 惠 波<sup>3</sup>

(1. 长江科学院 水土保持研究所, 湖北 武汉 430010; 2. 中国水利水电科学研究院  
泥沙研究所, 北京 100048; 3. 黄河水利委员会 绥德水土保持科学试验站, 陕西 绥德 718000)

**摘 要:** [目的] 探讨湖北省地形起伏度及其与人口和经济的定量关系, 为制定合理的人口经济政策、引导人口经济合理布局和治理生态环境等方面提供科学依据。[方法] 采用邻域分析法、均值变点法等方法, 确定湖北省地形起伏度最佳统计单元, 根据分级标准绘制湖北省地形起伏度分级图, 并分析地形起伏度对研究区人口和经济分布的影响。[结果] 湖北省地势整体上以平原、丘陵为主, 平原地貌类型主要分布在江汉平原, 丘陵主要分布在黄冈北部、咸宁、黄石南部、鄂西北和鄂西南大部, 两者占湖北省面积的 70%。随着地形起伏度的增加, 县域人口密度和经济密度逐渐降低, 呈显著负相关, 而且县域地形起伏度越小, 人口密度和经济密度在垂直方向越分散。[结论] 地形起伏度与县域人口密度和经济密度有负相关性, 对区域人口和经济分布有一定的影响。

**关键词:** 地形起伏度; 湖北省; 人口; 经济

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-288X(2017)05-0231-04

**中图分类号:** K909

**文献参数:** 蔡道明, 李柏, 许文盛, 等. 基于 ASTERDEM 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. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 05. 038; Cai Daoming, Li Bai, Xu Wensheng, et al. Relief degree of land surface in Hubei Province studied based on ASTERDEM data and its correlations with population density and economic development[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2017, 37(5): 231-234. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2017. 05. 038

## Relief Degree of Land Surface in Hubei Province Studied Based on ASTERDEM Data and Its Correlations with Population Density and Economic Development

CAI Daoming<sup>1</sup>, LI Bai<sup>2</sup>, XU Wensheng<sup>1</sup>, ZHANG Pingcang<sup>1</sup>, HUI Bo<sup>3</sup>

(1. Department of Soil and Water Conservation, Changjiang River Scientific Research

Institute, Wuhan, Hubei 430010, China; 2. Department of Sedimentation, China Institute of Water

Resources and Hydropower Research, Beijing 100048, China; 3. Suide Soil and Water Conservation

Scientific Experimental Station, Water Conservancy Committee of Yellow River, Suide, Shaanxi 718000, China)

**Abstract:** [Objective] To investigate the relief degree of land surface in Hubei Province and illustrate its quantitative correlations with population and economy, in order to provide scientific grounds for the formulation of reasonable policy of population and economy, and the guidance of reasonable distribution of population and economy, as well as the governance of ecological environment. [Methods] The best statistical units for relief degree in Hubei Province were determined using neighborhood analysis, mean change point analysis. The relief degree classification map of Hubei Province was drawn according to the given classification criteria and the influence of relief degree on the distributions of population and economy were analyzed in the investigated region. [Results] The landform generally constituted by plains and hills in Hubei Province. Plains mainly distributed in Jianghan Plain, and the hills mainly distributed in Northern Huanggang,

收稿日期: 2017-08-18

修回日期: 2017-09-05

资助项目: 国家自然科学基金青年项目“坡面径流中水沙影响重金属离子输移的规律研究”(51209014); 中国科学院科技服务网络计划(STS 计划)项目(KFJ-EW-STS-087)

第一作者: 蔡道明(1983—), 男(汉族), 湖北省石首市人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事资源与环境及水土保持等方面的研究。E-mail: cdm1528@126.com。

通讯作者: 许文盛(1983—), 男(汉族), 安徽省金寨县人, 博士研究生, 高级工程师, 主要从事土壤侵蚀与环境泥沙等方面的研究。E-mail: wenshengxu521@aliyun.com。

Xianning, Southern Huangshi, Northern Exi and most parts of Southern Exi. These two landforms cover 70% of the total area of Hubei Province. With the increase of the relief degree of land surface, county population density and economic density was both gradually decreased. The smaller the relief degree of counties was, the more vertically scattered of population density and economic density. [Conclusion] There was a negative correlation between the relief degree and population density and economic density, and the relief degree of land surface has strong negative impacts on the distributions of population and economy.

**Keywords:** relief degree of land surface; Hubei Province; population; economic

地形起伏度(relief)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,是描述一个区域地形特征的宏观性指标,反映宏观区域地表起伏特征,是地貌类型划分的重要定量指标之一<sup>[1-3]</sup>。随着经济社会的发展,地形起伏度的使用范围不断延伸拓展,在区域地貌类型划分、地质灾害评价、产业布局分析、人口经济分布影响、生态环境以及水土流失定量评价等领域得到广泛应用。冯玉祥等<sup>[4]</sup>将地形起伏度作为划分地貌形态的重要参考指标,通过制订地貌形态划分标准,编制区域地貌分类图。刘新华等<sup>[5]</sup>、冉红等<sup>[6]</sup>、黎武等<sup>[7]</sup>利用地形起伏度对各研究区水土流失状况进行评价。王庆安等<sup>[8]</sup>、毕晓玲等<sup>[9]</sup>、郭芳芳等<sup>[10]</sup>通过分析地形起伏度与区域滑坡灾害的相关性,探讨区域滑坡灾害发生的规律,并对滑坡灾害进行评价。以 ASTER GDEM, SRTM3, GMTED 2010 等全球高程数据为基础,分析区域地形起伏度的分布规律,探索其与经济、人口的相关性研究也逐渐兴盛起来,谢晓议等<sup>[11]</sup>、周自翔等<sup>[12]</sup>、封志明等<sup>[13]</sup>、于慧等<sup>[14]</sup>利用该分析思路探讨区域地形起伏度及与当地人口经济的相关性。

目前,地形起伏度研究大多集中在计算模型和提取方法等方面,以县域为单元,从省级层面研究地势起伏度对人口和经济的空间分布的影响及定量关系较少,尚待深入。湖北省地处中国地势第 2 级阶梯向第 3 级阶梯过渡地带,地貌类型复杂多样。本文利用分辨率 30 m 的 ASTER GDEM V2 高程数据,通过邻域分析法和均值变点法,计算地形起伏度的最佳统计单位,提取研究区地形起伏度,在此基础上分析其与人口和经济的定量关系,为湖北省制定合理的人口经济政策、引导人口经济合理布局和治理生态环境等方面提供科学依据。

## 1 研究区概况

湖北省位于长江中游、洞庭湖以北(108°21′42″—116°07′50″E, 29°01′53″—33°6′47″N),北与河南相连,南与江西、湖南为界,西连重庆,东邻安徽,西北与陕西接壤。

该区地势大致为东、西、北 3 面环山,中间低平,略呈向南敞开的马蹄形不完整盆地,有山地、丘陵、台地、平原等多种地形。全省总面积约为  $1.86 \times 10^5$  km<sup>2</sup>,境内湖泊河流密布,5 km 以上的流河有 4 228 条(不包括长江和汉江),其中 100 km 以上的河流 41 条,河网密度 0.32 km/km<sup>2</sup>。湖北地处典型的亚热带季风区内,夏热冬寒,年平均气温 15~17 ℃,年平均降水量 800~1 600 mm,自东北向西南递减。

## 2 数据来源与研究方法

### 2.1 数据来源与处理

本研究采用的 DEM 数据来源于 NASA 网站(<https://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>)的 ASTER GDEM V2(分辨率 30 m),原始坐标系为 GCS\_WGS\_1984,为与矢量数据统一坐标系,采用阿尔伯斯等积圆锥投影方式(WGS\_1984\_Albers)进行重采样,网格大小为 30 m×30 m,利用 1:25 万行政界线图对其进行裁剪获得湖北省 DEM 数据;湖北省辖 1 个副省级市,12 个地级市,3 个省直管市和 1 个林区,下辖 39 个市辖区,24 个县级市,39 个县和 1 个林区,全省共有 103 个县级行政区。2015 年县域人口和经济数据引自《湖北省统计年鉴 2016》和 17 个市州区统计年鉴。

### 2.2 地形起伏度的提取

根据地形起伏度的定义,其计算公式可表达如下:

$$R = H_{\max} - H_{\min} \quad (1)$$

式中: $R$ ——区域内地形起伏度(m); $H_{\max}$ ——区域内高程最大值(m); $H_{\min}$ ——区域内高程最小值(m)。

区域范围选取越小,地形就会相对平坦,地形起伏度值很小。相反,区域范围选取过大,地形相对崎岖,地形起伏度的值也会很大。因此,地形起伏度的提取关键是确定一个使高差达到相对稳定的最佳区域范围。一般情况下,高差随着区域范围面积的增大而增大,其变化率由快变缓的变点就是最佳区域。

地形起伏度采用邻域分析法提取,利用 ArcGIS 软件空间分析(spatial analysis)模块的邻域分析工具(neighborhood statistics),选取矩形分析窗口,计算

不同窗口( $2 \times 2, 3 \times 3, 4 \times 4, \dots, 31 \times 31$ )内的湖北省平均地形起伏度,并将不同窗口面积与其对应的平均起伏度值进行曲线拟合,幂指数曲线拟合效果较好(图1)。从图1可以看出,平均地形起伏度随着窗口面积的增大而增大,增大速度变缓的变点出现在 $5 \sim 20 \text{ hm}^2$ 内,但由陡变缓趋势不明显,人工难以判别。为精确判断地形起伏度由陡变缓的变点,采用均值变点法对其进行分析。

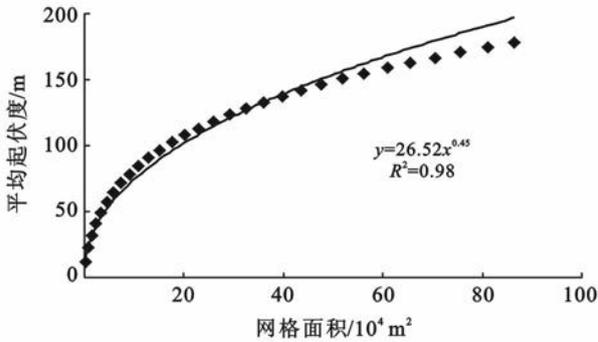


图1 湖北省平均地形起伏度与网格面积对应关系

### 2.3 均值变点法确定最佳统计单元

均值变点法是统计学中对非线性数据的变点分析方法,对于变点唯一的检验最为有效。均值变点法计算思路为首先计算总的均值和方差,然后循环将有序数据分成2组,分别计算各组的均值和方差,最后计算总方差与分组方差之和的差值,变点的存在会使差值先增大后变小。计算方法如下:设 $\{x_i\}, i=1, 2, \dots, n$ 。n为样本数,样本以 $x_i$ 点为界分为2段,分别计算2段的算术平均值及整个样本的均值,并计算统计量:

$$S = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

$$S_i = \sum_{i=1}^{i-1} (x_i - \bar{x}_{i1})^2 + \sum_{i=i}^n (x_i - \bar{x}_{i2})^2 \quad (3)$$

通过上述公式计算 $S - S_i$ 序列数据,得到 $S$ 与 $S_i$ 差值随着 $i$ 变化的曲线,可知 $S$ 与 $S_i$ 的差值在 $i=11$ 时达到最大,这一点就是湖北省平均地形起伏度随网格单元面积增幅由大到小的变点,因此基于ASTER GDEM V2数据的湖北地形起伏度提取的最佳区域范围为 $0.1089 \text{ km}^2$ ,网格单元大小 $11 \times 11$ 。

## 3 结果与分析

### 3.1 湖北省地形起伏度空间分布

根据计算得到的最佳区域范围,按照地形起伏度的计算公式,利用ARCGIS邻域分析工具计算获得湖北省地形起伏度(附图3)。湖北省地形起伏度位于 $0 \sim 891 \text{ m}$ 之间,整体上呈现西高东低,最高值分布在恩施市内。

图2为湖北省地形起伏度累积频率。从图2可知,当地形起伏度达到 $30 \text{ m}$ ,面积累积频率为 $32.6\%$ ;当地形起伏度达到 $70 \text{ m}$ ,面积累积频率为 $53.4\%$ ;地形起伏度超过 $200 \text{ m}$ 的面积累积频率只有 $8.2\%$ ,说明湖北省的地形起伏度以低值为主。县域平均地形起伏度大的区域主要分布在鄂西的神农架林区、兴山、秭归、鹤峰、巴东、竹山、五峰这7个县(区),平均地形起伏度在 $160 \text{ m}$ 以上。神农架林区的平均地形起伏度最大,为 $197 \text{ m}$ ;监利县和云梦县的平均地形起伏度最低为 $14 \text{ m}$ 。

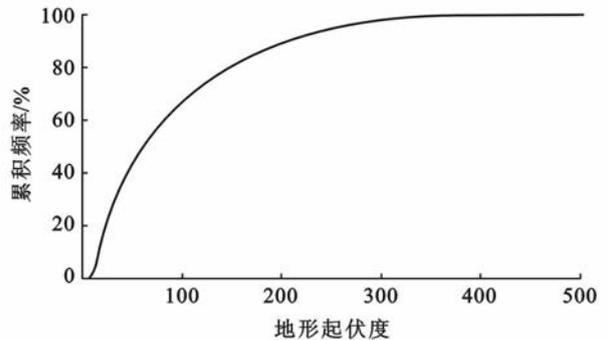


图2 湖北省地形起伏度累积频率

依据中国 $1:100$ 万地貌图制图规范(试行)<sup>[15-16]</sup>中的基本地貌形态划分方案,将地形起伏度划分为平原( $0 \sim 30 \text{ m}$ )、台地( $30 \sim 70 \text{ m}$ )、丘陵( $70 \sim 200 \text{ m}$ )、小起伏山地( $200 \sim 500 \text{ m}$ )、中起伏山地( $500 \sim 1000 \text{ m}$ )5个等级,得到研究区地形起伏度分级图,并对各等级地形起伏度所对应像元个数、面积及面积百分比进行统计,结果见表1和附图4。

表1 湖北省基本地貌形态统计

起伏度分级标准	像元数/ 个	面积/ $\text{km}^2$	面积百 分比/%
平原( $0 \sim 30 \text{ m}$ )	65 641 236	59 077	31.78
台地( $30 \sim 70 \text{ m}$ )	44 370 437	39 933	21.48
丘陵( $70 \sim 200 \text{ m}$ )	79 475 971	71 528	38.47
小起伏山地( $200 \sim 500 \text{ m}$ )	17 049 750	15 344	8.25
中起伏山地( $500 \sim 1000 \text{ m}$ )	36 538	33	0.02

从附图4可以看出,湖北省地形起伏多样,空间上以平原、丘陵为主,地势呈现3面高起、中间低平的不完整盆地,这与湖北省西、北、东3面被武陵山、巫山、大巴山、武当山、桐柏山、大别山、幕阜山等山地环绕相关。起伏度小于 $30 \text{ m}$ 的平原,主要分布在江汉平原,面积约 $5.90 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,占湖北省面积的 $31.78\%$ ;起伏度 $30 \sim 70 \text{ m}$ 的台地,多分布在鄂东北、鄂东南、江汉平原西部和鄂西南部地区,占湖北省面积的 $21.48\%$ ;起伏度 $70 \sim 200 \text{ m}$ 的丘陵,主要分布在黄冈北部、咸宁、黄石南部、鄂西北和鄂西南大部,

占湖北省面积的 38.47%。起伏度 200~500 m 的小起伏山地,主要分布在鄂西地区,占湖北省面积的 8.25%;起伏度 500~1 000 m 的中起伏山地,零星分布于鄂西南等地区,占湖北省面积的 0.02%。

### 3.2 湖北省地形起伏度与人口经济的相关性分析

湖北省 2015 年常住人口 5 851.5 万人,人口密度最大的是江汉区 25 721 人/km<sup>2</sup>,最小的是神农架林区 24 人/km<sup>2</sup>。对比分析湖北省各县域平均地形起伏度与人口密度的内在联系,可知云梦县地形起伏度最小,人口密度却达到 870 人/km<sup>2</sup>,神农架林区地形起伏度最大,但人口密度却只有 24 人/km<sup>2</sup>。以县为单元,制成县域平均地形起伏度与人口密度的散点图,剔除城区、开发区等异常值后进行曲线拟合,指数函数拟合效果最优,拟合曲线: $y=553.67 e^{-0.011x}$ ,湖北省县域平均地形起伏度与人口密度在 0.01 水平下显著相关,相关系数  $R^2$  达 0.79(见图 3)。

整体而言,随着地形起伏度的增加,人口密度逐渐降低,两者呈显著负相关。一般地形起伏度大的区域,海拔较高,交通可达性差,山体滑坡、山洪、泥石流等地质灾害频繁,生存条件相对恶劣,可能影响到人口聚集。通过统计各级起伏度上的人口可知,县域平均地形起伏度  $\leq 30$  m 的区域累计常驻人口数为 2 455.04 万人,占全省人口总量的 41.96%,大部分人口集中分布在平原和台地等地区,地形起伏度对人口分布的影响较为显著。

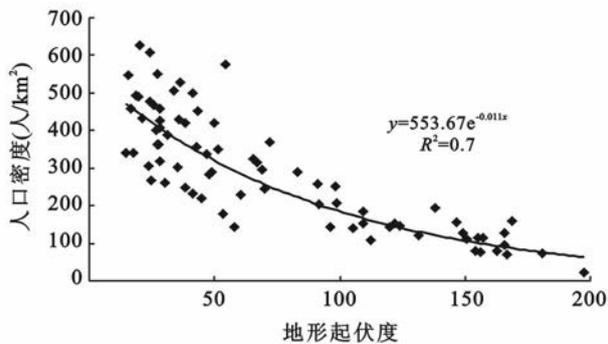


图 3 湖北省县域平均地形起伏度与人口密度的拟合

湖北省 2015 年地区生产总值(GDP)29 550 亿元,人均 GDP 约为 50 500 元/人,但是县域之间差异非常大,人均 GDP 最高的是宜昌市猇亭区,达到 318 102 元/人,最低的是神农架林区,只有 27 279 元/人,后者不足前者的 1/11。

以县为基本单元,将 103 个县级区域以平均地形起伏度为横坐标,县域经济密度为纵坐标,制成县域平均地形起伏度与县域经济密度的散点图,剔除样本异常值后进行曲线拟合,幂函数拟合效果最优,拟合

曲线: $y=45\ 830x^{-0.994}$ ,在 0.01 水平下显著相关,拟合度  $R^2$  为 0.66。由图 4 可知,地形起伏度与县域经济密度呈负相关,县域地形起伏度越小,经济密度在垂直方向越分散。

一般地形起伏度大的区域,可利用土地较少,农业生产和工业活动难以开展,可能影响到经济发展。经统计,地形起伏度  $\leq 30$  m 的县域累计 GDP 数为 13 634 亿元,占全省 GDP 总量的 48.81%,鄂西十堰、宜昌、恩施、襄阳等市(州、区)大部分县域地形起伏度超过 100 m,但经济密度远低于全省平均水平。

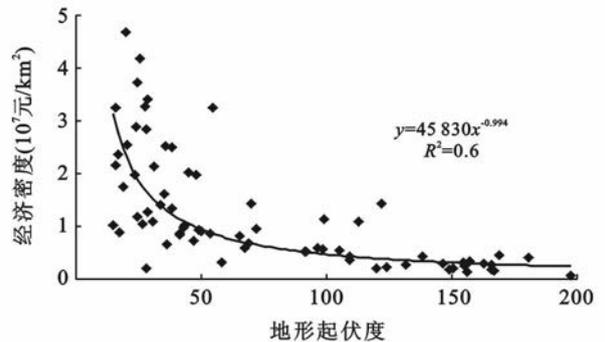


图 4 湖北省县域平均地形起伏度与经济密度的拟合

## 4 结论与讨论

(1) 以 ASTER GDEM V2 为数据源,选取湖北省为研究区域,利用邻域分析法提取湖北省地形起伏度,研究认为湖北省平均地形起伏度与区域范围(网格面积)之间存在幂指数关系。运用均值变点分析法得出湖北省地形起伏度的最佳计算区域范围 0.108 9 km<sup>2</sup>,统计网格大小单元为 11×11。

(2) 湖北省地形整体上以平原、丘陵为主,平原的主要分布在江汉平原,占湖北省面积的 31.78%;台地多分布在鄂东北、鄂东南、江汉平原西部和鄂西东部地区,占湖北省面积的 21.48%;丘陵主要分布在黄冈北部、咸宁、黄石南部、鄂西北和鄂西南大部,占湖北省面积的 38.47%。小起伏山地主要分布在鄂西地区,占湖北省面积的 8.25%;中起伏山地零星分布于鄂西南等地区,占湖北省面积的 0.02%。

(3) 湖北省县域平均地形起伏度与人口密度、人均 GDP 的拟合曲线分别为  $y=553.67 e^{-0.011x}$  和  $y=45\ 830x^{-0.994}$ ,拟合效果较好。随着县域平均地形起伏度的增加,人口密度和人均 GDP 逐渐降低,呈显著负相关,而且县域地形起伏度越小,人口密度和人均 GDP 在垂直方向越分散。全省大部人口集中分布在平原和台地,县域平均地形起伏度  $\leq 30$  m 的累计人口和 GDP 分别占全省总量的 41.96%和 48.81%。

(下转第 240 页)

- 气候关系[J]. 遥感信息, 2016, 31(1): 89-95.
- [9] 宋富强, 邢开雄, 刘阳, 等. 基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价[J]. 生态学报, 2011, 31(2): 354-0363.
- [10] 廖建华, 李丹勋, 王兴奎. 长江上游植被覆盖的时空分异季节变化及其驱动因子研究[J]. 环境科学学报, 2009, 29(5): 1103-1112.
- [11] Pinzon J. Using HHT to successfully uncouple seasonal and interannual components in remotely sensed data [C] // SCI 2002 Conference Proceedings. Orlando, Florida, 2002: 14-18.
- [12] Zhang Yuan, Zhu Zaichun, Liu Zhuo, et al. Seasonal and interannual changes in vegetation activity of tropical forests in Southeast Asia[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2016, 224: 1-10.
- [13] Mao Dehua, Wang Zongming, Luo Ling, et al. Integrating AVHRR and MODIS data to monitor NDVI changes and their relationships with climatic parameters in Northeast China[J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2012, 18: 528-536.
- [14] Weiss J L, Gutzler D S, Coonrod J E A, et al. Seasonal and inter-annual relationships between vegetation and climate in central New Mexico, USA[J]. Journal of Arid Environments, 2004, 57(4): 507-534.
- [15] 王林林, 刘普幸, 王允. 近 14 a 来柴达木盆地 NDVI 时空变化及其影响因素[J]. 生态学杂志, 2015, 34(6): 1713-1722.
- [16] 崔林丽, 史军, 杨引明, 等. 中国东部植被 NDVI 对气温和降水的旬响应特征[J]. 地理学报, 2009, 64(7): 850-860.
- [17] 陈效述, 喻蓉. 1982—1999 年我国东部暖温带植被生长季节的时空变化[J]. 地理学报, 2007, 62(1): 41-51.
- [18] 韦振锋, 任志远, 张翀. 西北地区植被覆盖变化及其与降水和气温的相关性[J]. 水土保持通报, 2014, 34(3): 238-289.
- [19] 金丽娜. 西安近 10 a 植被覆盖变化及其与气候因子的相关性研究[J]. 甘肃科学学报, 2014, 26(3): 23-27.
- [20] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社, 2002: 37-68.
- [21] 王强, 张勃, 戴声佩, 等. 基于 GIMMSAVHRRNDVI 数据的三北防护林工程区植被覆盖动态变化[J]. 资源科学, 2011, 33(8): 1613-1620.
- [22] 贾东于, 文军, 张堂堂, 等. 黄土高原降水对土壤含水量和导热率的影响[J]. 高原气象, 2014, 33(3): 712-720.
- [23] Myneni R B, Keeling C D, Tucker C J, et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981 to 1991[J]. Nature, 1997, 386(6626): 698.

(上接第 234 页)

#### [参 考 文 献]

- [1] 李钜章. 中国地貌形态基本类型数量指标初探[J]. 地理学报, 1982, 37(1): 17-25.
- [2] 李钜章. 中国地貌基本形态划分的探讨[J]. 地理研究, 1987, 6(2): 32-39.
- [3] 李炳元, 潘保田, 韩嘉福. 中国陆地基本地貌类型及其划分指标探讨[J]. 第四纪研究, 2008, 28(4): 536-542.
- [4] 冯玉祥, 邓青春, 向卫, 等. 基于地形起伏度的元谋干热河谷区地貌划分研究[J]. 四川林勘设计, 2016, 38(3): 27-32.
- [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): 57-59.
- [6] 冉红, 黎武, 杨晓, 等. 重庆市地形起伏度的提取及其在水土流失评价中的应用[J]. 安徽农学通报, 2017, 23(9): 92-94.
- [7] 黎武, 贺春明, 杨晓, 等. 地形起伏度在云南省元谋县水土流失评价中的应用[J]. 四川林勘设计, 2016, 38(2): 15-20.
- [8] 王庆安, 毛竹, 张翔, 等. 汶川地震极重灾区地形起伏度特征及其与生态环境受损关联分析[J]. 四川环境, 2009, 28(5): 44-48.
- [9] 毕晓玲, 李小娟, 胡卓玮, 等. 地形起伏度提取及其在区域滑坡灾害评价中的应用: 以四川省为例[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(4): 2413-2416.
- [10] 郭芳芳, 杨农, 孟晖, 等. 地形起伏度和坡度分析在区域滑坡灾害评价中的应用[J]. 中国地质, 2008, 35(1): 131-143.
- [11] 谢晓议, 李月臣, 曾咄. 重庆市地形起伏度及其与人口、经济的相关性研究[J]. 资源开发与市场, 2014, 30(6): 656-659.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] 于慧, 邓伟, 刘邵权. 地形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.
- [15] 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.
- [16] 陈学兄, 常庆瑞, 郭碧云, 等. 基于 SRTM DEM 数据的中国地形起伏度分析研究[J]. 应用基础与工程科学学报, 2013, 21(4): 670-678.