

引用格式:刘俊杰,秦奋,赵芳,等.秦巴山地山体基面高度的提取及分布[J].地球信息科学学报,2018,20(10):1457-1466. [Liu J J, Qin F, Zhao F, et al. Extraction and distribution of mountain base elevation in the Qinling-Daba Mountains[J]. Journal of Geo-information Science, 2018,20(10):1457-1466.] DOI:10.12082/dqxxkx.2018.180227

秦巴山地山体基面高度的提取及分布

刘俊杰¹, 秦 奋¹, 赵 芳^{1*}, 曹艳萍¹

1. 河南大学环境与规划学院, 开封 475004

Extraction and Distribution of Mountain Base Elevation in the Qinling-Daba Mountains

LIU Junjie, QIN Fen¹, ZHAO Fang^{*}, CAO Yanping

College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475004, China

Abstract: As the North-South boundary of China and the watershed between Yellow River and Yangtze River, the Qinling-Daba Mountains are characterized with complicated and transitional variations in mountain altitudinal belts. For a longtime, latitude, longitude and mountain mass effect (MEE) have been considered to affect the vertical distribution of montane vegetation or altitudinal belts. The two former factors reflect the zonality of the geological distribution of vegetation and have receiving much attention, but MEE, an important factor for montane vegetation variation, is often overlooked because of the lack of effective quantitative methods for it in the Qinling-Daba Mountains. Quantification of MEE contributes to understanding azonal factors and the transitional characteristics between warm-temperate and north subtropical zone in China. Mountain base elevation (MBE), as a topographic factor, related to MEE closely, and recognition and quantification of it is indispensable for quantifying MEE. This study aims at quantifying MBE based on STRM-1 data with 30m resolution in the Qinling-Daba Mountains. We used two methods (based on mountain characteristics and based on drainage basin division) to determine mountain base subareas and then used relief amplitude, the average altitude in each subareas and slope to calculate the MBE. The results show that: (1) There are 93 subareas based on mountain characteristics method and 209 subareas based on drainage basin division method in the Qinling-Daba Mountains. The two MBEs have similar values and distributions and reflect the characteristics of the terrain of the study areas. (2) From east to west, MBE presents a gradual upward trend. (3) Along latitudinal direction, MBE presents a tendency of increasing from the Hanjiang Valley to the Qinling ridge and the Daba ridge. (4) The MBEs vary greatly in different exposures, from 1000m to 1809m in the southern flank of the Qinling, but only 850~1300 m in the northern flank. The MBE extracting methods will provide important technical support for the quantitative research of MEE in the Qinling-Daba Mountains.

Key words: mountain mass effect; mountain base elevation; Qinling-Daba Mountains; DEM; digital extraction

***Corresponding author:** ZHAO Fang, E-mail: zhaofang84@163.com

收稿日期:2018-05-07;修回日期:2018-07-21.

基金项目:国家自然科学基金项目(41601091);中国南北过渡带综合科学考察项目(2017FY100900)。[**Foundation items:** National Natural Science Foundation of China, No.41601091; Integrated Scientific Investigation of the North-South Transitional Zone of China.]

作者简介:刘俊杰(1995-),女,河南周口人,硕士生,主要从事山地GIS、山地地理研究。E-mail: junjieliu555@163.com

*通讯作者:赵 芳(1984-),女,河南三门峡人,讲师,主要从事山地地理、山地生态环境研究。E-mail: zhaofang84@163.com

摘要:秦巴山地是中国的南北分界线,也是黄河和长江的分水岭,其山体效应的定量化影响秦巴山地山体垂直带的分布格局、非地带性因素的作用强度和机理,以及中国暖温带和北亚热带的具体位置的确定。山体基面高度是影响山体效应最重要和关键的地形因子,其定量化和数字化提取是秦巴山地山体效应定量化研究的重要内容。本研究针对秦巴山地山体效应的定量化研究,使用30 m分辨率的STRM-1数据,分别基于山体特征线和流域分区2种方法提取了秦巴山地的山体基面高度分区,并根据地形起伏度和坡度,确定基面范围,计算了山体基面高度值。结果表明:①基于山体特征线的方法将秦巴山地分为93个基面高度分区,基于流域分区的方法将秦巴山地分为209个基面高度分区,根据2种分区结果提取的基面高度值相差不大且均体现了秦巴山地地势的特点;②秦巴山地山体基面高度从东向西呈阶梯状递增的趋势;③从南到北,秦巴山地的东段和中段均呈先增高后降低的趋势,即从大巴山向北至汉江谷地降低,再向北至秦岭升高;④山地的不同侧翼的山体基面高度不同,秦岭南坡的基面高度(1000~1809 m)明显高于北坡(850~1300 m)。秦巴山地山体基面高度与其植被带分布上限联系密切,实现山体基面高度的数字化提取,为山体效应的定量化研究提供了重要的技术支持。

关键词:山体效应;山体基面高度;秦巴山地;DEM;数字化提取

1 引言

秦岭-大巴山(秦巴山地)是我国中部重要的山脉,也是我国的南北分界线,受纬度位置、距海远近、山体结构、地表物质和人类活动等因素的综合作用,形成了复杂多样且具有过渡性质的山地垂直带谱。除从南向北地带性植被由常绿阔叶林带逐步过渡为落叶阔叶林带外,不同规模山体的山地垂直带的结构、类型以及界限高度分布存在明显的差异^[1],这与山体效应密切相关^[2-3]。秦巴山地的山体效应的定量化研究,关系到秦巴山地山体垂直带界限的高度的确定、垂直带分异因素尤其是非地带性因素的作用强度及作用机理的分析,甚至影响中国暖温带和北亚热带的具体界限的确定。

山体基面高度是山系/高原不同部分的起始海拔,是描述山体结构和特征的非地带性因子^[4]。山体基面高度与山体效应密切相关,是山体效应产生的关键地形因子^[5-6]。一般来说,山体基面高度越高,同海拔地表温度越高,与温度有关的植被分布的上限就越高,山体效应越大^[7]。例如,安第斯山中部的Nevado Sajama,山体基面高度高达4200 m^[4],形成世界最高的林线(4800~5000 m)^[8];相比之下,乞力马扎罗山。尽管位于赤道地区且山体绝对高度高达5898 m,由于为锥形火山,基面高度较低(700~900 m),山体效应较小,林线分布高度仅为3500~3600 m^[9]。因此山体基面高度常作为山体效应的代用因子,分析其对欧亚大陆林线分布高度、青藏高原及周边地区雪线分布高度以及北半球林线高度分布的影响^[10-12]。

山体基面高度能从机理上解释山体效应。山体基面高度越高,山坡的斜面可接受越多的太阳辐射,地面有效辐射以及感热加热越强,近地面的气温越高^[13-14];山体基面高度越高,越靠近山体中央,气候越干燥,降水越少,土壤湿度减少,地面蒸腾量

有限,降低了由地面向大气传导的潜热通量,变相地加剧了高海拔地表的加热效应^[15]。山体基面高度在很大程度上反映了地形对温度的影响,山体基面高度的分区实际上就是对地形气候区的划分,其中山体基面高度则表征了每个地形气候区的起始温度,山体基面高度的定量化有助于建立高精度的地表温度模型。

在传统的山地垂直带研究中,山体基面高度表示基带(水平地带)的起始高度^[5,16],以往学者提出的“植被的垂直带性从属于水平地带性”理论^[17-18]实际上反映了山体基带对山地垂直带的控制作用。但是传统的山体基带以及山体基面高度多采用人工判读方式获取,效率低下,且没有形成科学的标准,具有较大的主观性,其山体基面的位置和高度与山体实际结构存在一定的差异。随着现代对地观测技术、GIS技术发展和山体基面高度标准化工作的开展,山体基面高度提取由传统的手工提取转变为自动提取并应用在台湾^[19]、阿尔卑斯山和安第斯山等^[4]山体效应影响的研究。本文利用DEM数据,对秦巴山地的山体基面高度进行数字化、定量化提取,并分析秦巴山地山体基面高度的空间格局,初步展示了秦巴山地山体效应的分布格局,以期对未来秦巴山地垂直带空间格局的研究和温度场的研究提供支持。

2 数据与方法

2.1 研究区概况与数据源

秦巴山地,经纬度范围:30°~36° N, 101°~114° E,以秦岭山脉和大巴山脉为主体,中隔汉水谷地,跨越陕西、甘肃、四川、重庆、湖北、河南6省市,从甘肃的迭部向东延伸到湖北的神农架,东西长1000余km,面积约30万km²,涵盖陕西秦岭山脉、东秦岭伏牛山区、西秦岭甘南和川西北地区和大巴山段(图1)。秦

巴山地,位于北亚热带向暖温带的过渡区,是中国重要的地理和生态过渡带,其中大巴山绵延于陕、川、鄂边境,为汉中、四川两盆地的界山。秦岭是长江和黄河的分水岭,是我国南北地理和气候的天然界限^[20-21]。

山体基面高度在垂直自然带研究中表示山体基带的高度。大型山系和高原的山体基面高度通常具有如下特点^[3]:① 山体基面高度所表示的是其上隆起山体的平均起始海拔,因此不同山体的山体基面高度存在明显差异;② 同一山体的不同侧翼,同一侧翼的不同段的山体基面高度也不同,因此山体基面高度分区一般以山脉走势为界;③ 山体外围向内部海拔高度不断升高,所以山体基面高度也有由外围向内部呈阶梯状增加的趋势。山体基面高度的提取需要基于山地地形数据。

数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)是地表形态的数字化表达,蕴含了丰富的地学应用分析所必须的地形信息^[22],广泛应用于地貌、水文等地学领域^[23]。本研究采用航天飞机雷达地形测绘任务(STRM-1)数据,该数据原始坐标系为地理坐标系,空间分辨率为1"(约30 m),因其相对稳定的精确度而成为最常用的数据源,在地形特征分析及水文分析等方面表现出了明显优势^[24-26]。本研究从美国地质调查局网站(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)下载STRM-DEM数据。采用分块下载方式获取秦巴山

地不同区域的DEM,将得到的原始DEM拼接为一幅完整的DEM数据,秦巴山地DEM分布如图1所示,参考联合国环境规划署世界保护监测中心(UNEP-WCMC, <http://www.unep-wcmc.org/>)对山地的定义,使用ArcGIS软件识别秦巴山地山地与平原的分界线,从而确定山体基面高度分区的外边界。

2.2 研究方法

山体基面高度的提取包括山体基面分区和山体基面高度的计算。山体基面高度的分区如图2所示,包含2种方法:① 基于山体特征线进行基面高度分区,即基于DEM提取秦巴山地的主山脊线,根据主山脊线和山体基面高度外边界叠加得到秦巴山地基面高度分区;② 基于流域分区的方法提取基面高度,即基于DEM和汇流累积量进行流域分区,结合山体基面高度分区的外边界完成秦巴山地基面高度的分区。山体基面高度的计算需利用DEM计算坡度、地形起伏度和各分区的平均海拔,根据各分区的平均地形起伏度分类,设置合适的坡度阈值,结合分区平均海拔确定山体基面的范围,计算山体基面分布区的平均高度即为山体基面高度。

2.2.1 基于地形特征线的山体基面高度分区

基于地形特征线的山体基面高度分区包括提取主山脊线和山体基面高度分区2步。主山脊线的提取方法图3所示。

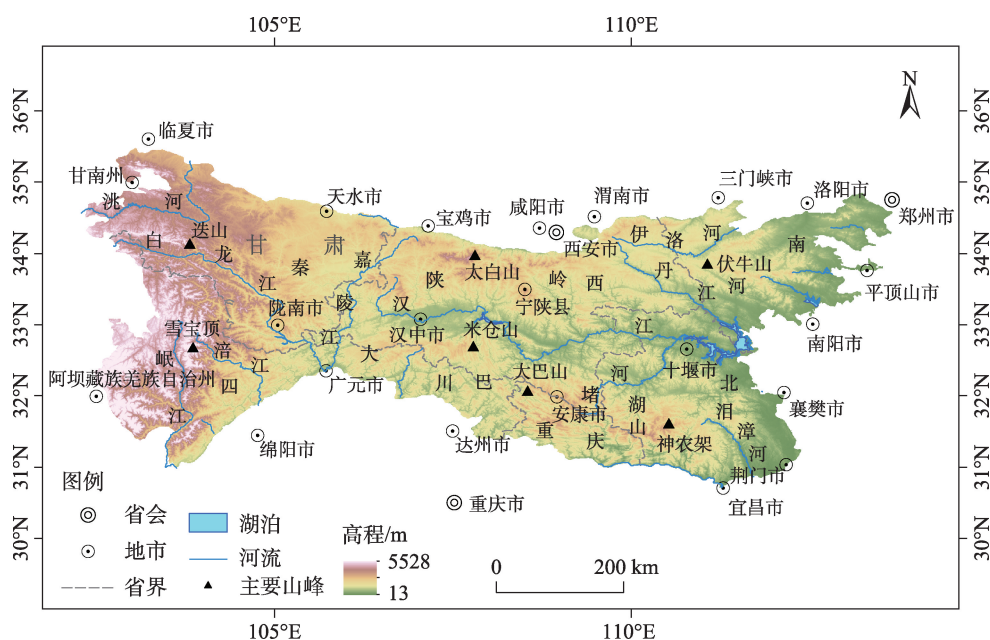


图1 秦岭大巴山区域图

Fig. 1 The distribution of the Qinling-Daba Mountains

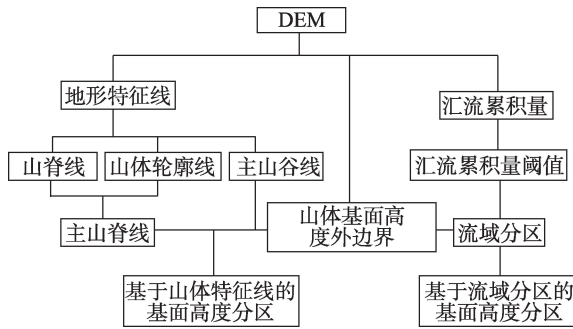


图2 山体基面高度分区方法

Fig. 2 The process of extraction of mountain base subarea in the Qinling-Daba Mountains

首先,结合地形特征分析和水文特征分析方法对山脊线进行识别^[27-28]。基于地形特征分析提取山脊线通过计算地面坡向变率SOA(Slope of Aspect),求取SOA的方法与汤国安等^[22]的方法一致,得到经过误差校正的SOA数据,通过邻域分析求取3×3窗口下DEM的均值MeanDEM,原始DEM与MeanDEM的差值大于零的部分为正地形,小于零为负地形。SOA大于70和正地形求交,得到山脊线的分布区域。基于水文特征分析提取山脊线是通过地表水流径流模型模拟计算每个格网的汇流累积量。根据秦巴山地河网密度随汇流累积量的变化情况(图4),汇流累积量大于700 000的栅格点为河流(山谷线),并使用Strahler分级法对山谷线进行分级^[29],得到主山谷线(图5);汇流累积量为零的点为可能的山脊点。因此,将汇水量等于零且为正地形的栅格点提取出来,即为基于水文特征分析方法提取的山脊线分布位置。然后,将基于地形特征和

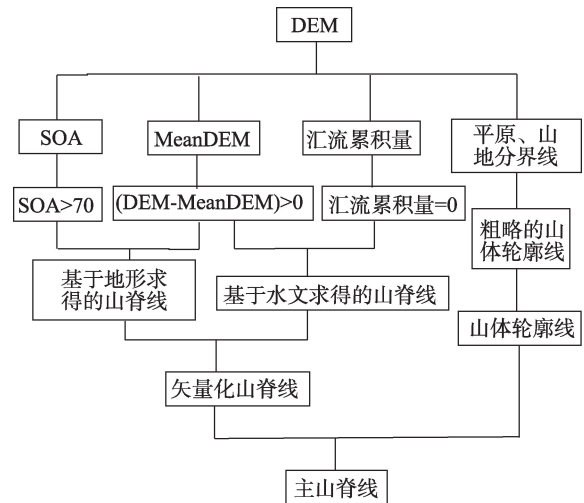


图3 主山脊线提取方法

Fig. 3 The process of extraction of main ridge-line in the Qinling-Daba Mountains

水文特征提取出的山脊线求交并将其山脊线矢量化。参考肖飞、张百平等提出的地貌单元自动提取方法^[30],利用坡度阈值得到山地和平原的分界线,再通过地形倒置、水文淹没分析,结合地形结构线提取算法进行山体轮廓线自动提取,得到粗略的山体轮廓线,将小山体合并到大山体中,得到最终的山体轮廓线。参考山体轮廓线和由原始DEM生成的等值线图、晕渲图以及地貌图删除小山脊线,得到主山脊线(图5)。

最后,基于主山脊线和山体基面高度分区的外边界,将主山谷线作为控制线,采用就近原则连接主山脊线和基面分区外边界线形成封闭分区,得到山体基面分区结果(图6(a))。

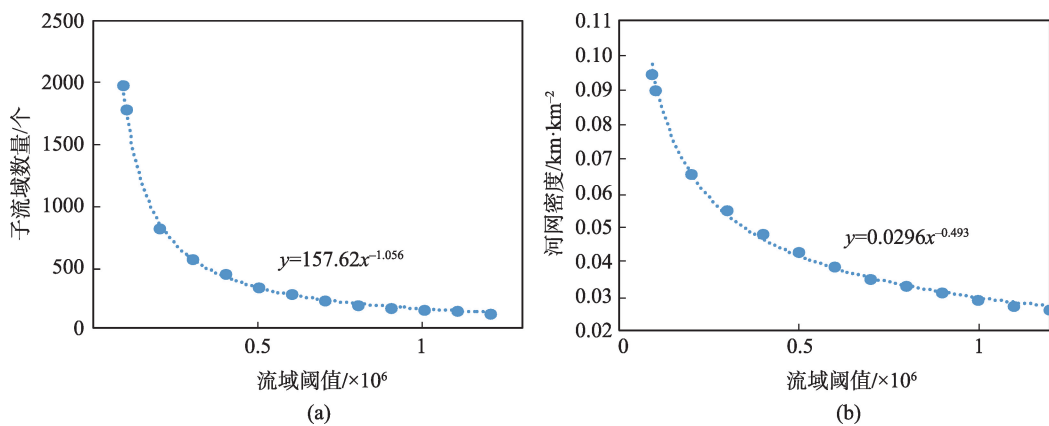


图4 秦巴山地子流域数量和河流密度随汇流累积量阈值变化

Fig. 4 The relationships between confluence threshold and the quantities of sub-basin and river density in the Qinling-Daba Mountains

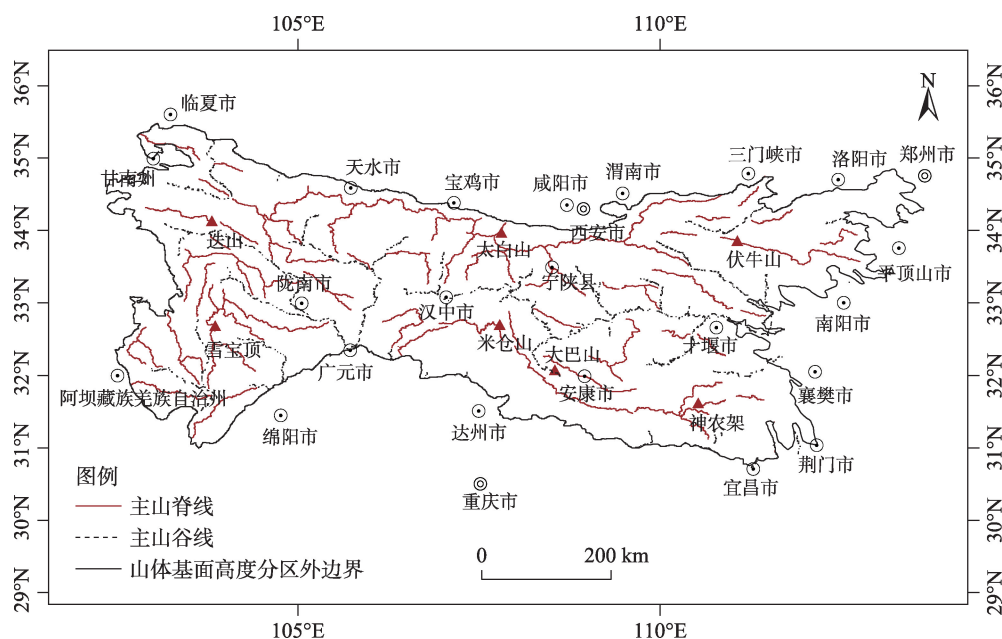


图5 山体特征线提取结果

Fig. 5 The extraction of mountain characteristic lines in the Qinling-Daba Mountains

2.2.2 基于流域分区的山体基面高度分区

地形特征决定了流域的特征,其中山脊线在大多数情况下与流域的边界(即河流的分水岭)重合,而山谷线则为河流的集水线。流域分区不仅能够对水系进行分区,还能够对山体基面高度进行分区。本文使用ArcGIS中的水文分析模块进行流域的数字化提取。首先计算河流汇流累积量,然后确定汇流累积量阈值。流域提取的关键是确定合理的汇流累积量阈值,若该阈值过小,提取结果存在大量的伪河道,若该阈值过大,则会导致实际存在的河道缺失^[31]。“试错法”的流域提取结果精确度较高^[32],其主要是通过设置不同的汇流累积量阈值,根据河网密度(即河道长度与流域面积之比)和子流域数量随汇流累积量阈值的变化情况,找到变化趋于平稳的临界点,该点所对应的汇流累积量阈值能够将坡地河网外的伪河道排除,提取出较为精确的河网分布,且生成的流域分区也与实际地形较为符合。根据秦巴山地河网密度随汇流累积量的变化情况(图4),随着汇流累积量阈值的增大,河网密度与子流域数量均呈降低趋势,当汇流累积量阈值由 0.09×10^6 增至 0.7×10^6 时,子流域数量由1983减少到231个,河网密度由 $0.095 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$ 减少到 $0.035 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$,且当汇流累积量阈值由 0.7×10^6 增至 1.2×10^6 时,子流域数量的减少幅度平稳保持在8~23个之内,河网密度的减少幅度平稳保持在 $0.002 \text{ km} \cdot \text{km}^{-2}$

左右,因此确定秦巴山地的汇流累积量阈值为 0.7×10^6 ,得到其流域分区。

最后,将提取出的流域分区与山体基面高度外边界叠加,并删除分区外边界以外的流域,将边界处小的分区进行合并修改,得到山体基面高度分区(图6(b))。

2.2.3 山体基面高度的计算

山体基面高度的计算包括地形起伏度计算与分类、坡度的计算和坡度阈值的设置、山体基面范围的确定及各分区山体基面高度的计算(图7)。

地形起伏度是指某一确定面积内,最高点与最低点的高差^[33]。本文使用均值变点法计算秦巴山地基面高度分区范围内的地形起伏度最佳统计单元。利用邻域分析工具,依次以 $2 \times 2, 3 \times 3, 4 \times 4, \dots, 46 \times 46$ 的统计窗口计算地形起伏度平均值,使用统计学方法检验地形起伏度平均值随统计窗口的变化中存在的一个由陡变缓的变点的具体值^[34]。最终得到秦巴山地的最佳统计窗口为 18×18 ,其所对应的最佳统计单元为 291.6 km^2 。根据 18×18 的最佳统计窗口进行邻域分析,得到秦巴山地的地形起伏度。根据秦巴山地地形起伏度分布特征,结合数字地貌制图规范^[35],将秦巴山地分为大起伏度山地($>1000 \text{ m}$)、中起伏度山地($500 \sim 1000 \text{ m}$)及较平缓起伏度山地($<500 \text{ m}$)3类。

利用ArcGIS的坡度分析工具基于计算秦巴山

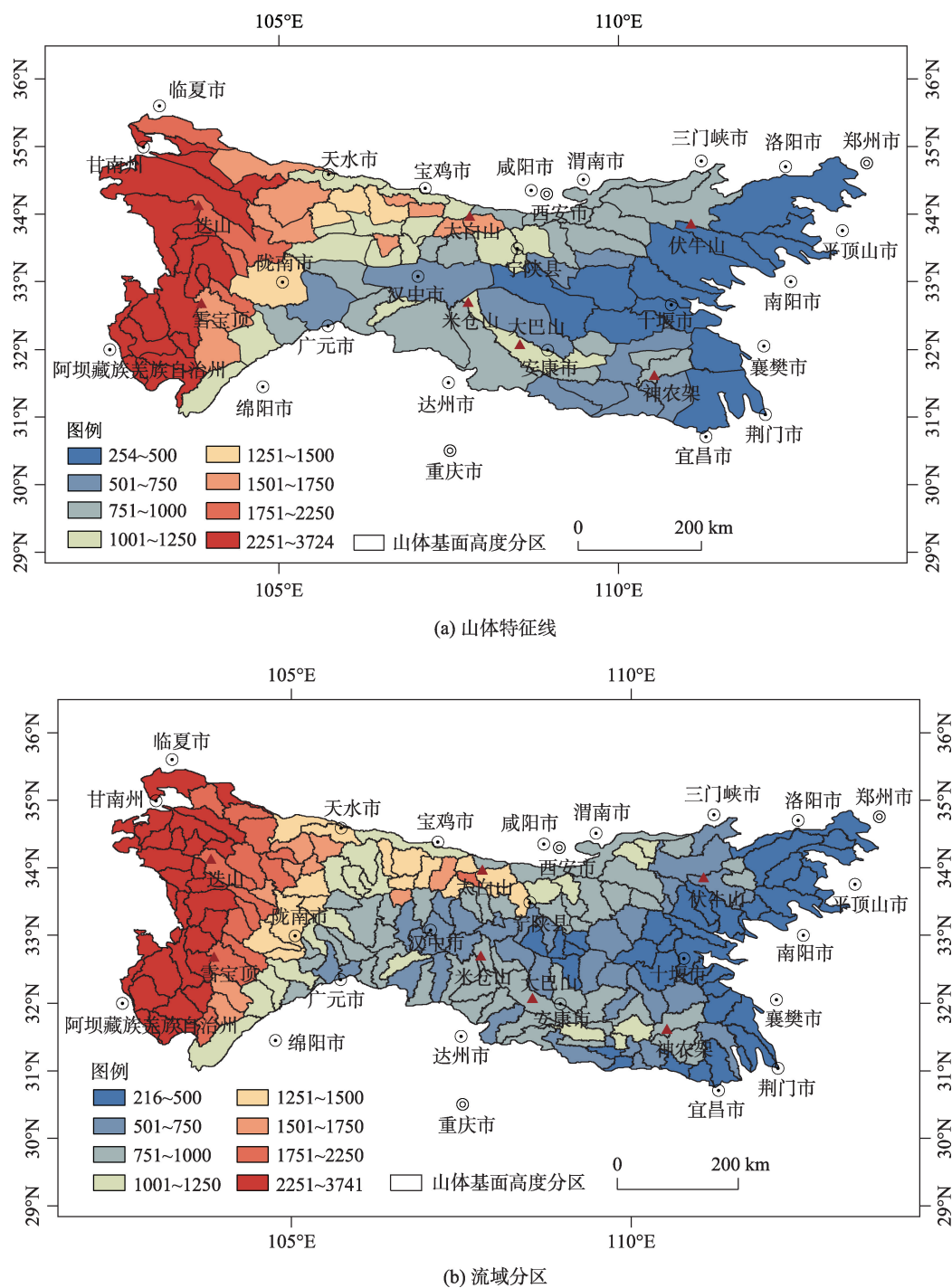


图6 基于山体特征线与流域分区的山体基面高度提取结果
Fig. 6 The quantification results of mountain base elevation based on mountain characteristics and drainage basin division in the Qinling-Daba Mountains

地的坡度,参考山体基面高度先前的相关研究^[36],并根据秦巴山地地形起伏度的分类,将较平缓起伏度山地的坡度阈值设为7°,中起伏度山地的坡度阈值设为15°,大起伏度山地的坡度阈值设为25°。计算各分区的平均海拔,低于该区相对应的坡度阈值及平均海拔的区域即为该区山体基面的分布范围,计算出

该范围的平均海拔高度,即为该区的山体基面高度。

3 结果与分析

3.1 秦巴山地山体基面高度分区结果

基于山体特征线的方法进行基面高度分区将

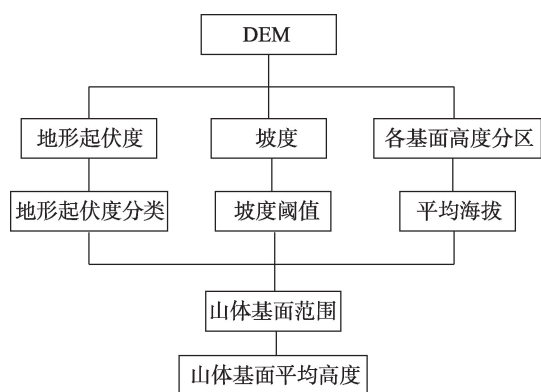


图7 山体基面高度提取方法

Fig. 7 The process of extraction of mountain base elevation in the Qinling-Daba Mountains

秦巴山地分为93个区(图6(a)),其中东秦岭伏牛山及其周边分为6个区,秦岭中段太白山及其周边分为13个区,大巴山东部神农架周边分为8个区,中段米仓山分为5个区,秦巴山地西部(105°E)以西分为17个区。基于流域分区的方法进行基面高度分区,秦巴山地共分为231个子流域,与山体基面高度分区外边界叠加,删除边界外的流域分区,并对边界处小的分区进行合并修改,得到209个山体基面高度分区(图6(b))。其中,东秦岭伏牛山及其周边分为9个区,秦岭中段太白山及其周边分为17个区,大巴山东部神农架周边分为13个区,中段米仓山分为9个区,秦巴山地西部(105°E)以西分为23个区。

基于山体特征线的方法将地形因子提取与水文分析相结合,能够将山脊线的几何特征和物理特性结合起来,但由于山体结构的复杂性,提取过程中需要进行小山脊线的手动删除,在进行山体基面

分区时需要手动连接,因此受主观因素影响较大。基于流域分区的基面分区方法,只需找到合理的流域阈值,就可以依靠数字化方法自动提取,受主观影响小,但是分区过多。对比2种方法得到的分区结果发现,基于山体特征线的方法的分区在地势起伏变化大的地区分区更为密集,如在秦岭主峰太白山、秦巴山地西部以及大巴山地区。基于流域分区方法得到的分区结果则比较平均,但也表现出在地势起伏大的地区分区更小,更加密集的现象。

3.2 秦巴山地山体基面高度提取结果

秦巴山地基面高度范围为216~3724 m,东部(110°E以东)基面高度范围为216~1000 m,中段(陕西秦岭和大巴山)范围为800~1800 m,秦巴山地西部基面高度为1250~3741 m。

选取33.96°N, 32.67°N, 107.03°E和110.53°E 4条线做山体基面高度变化曲线,其中33.96°N, 32.67°N代表东-西方向的山体基面高度变化情况,且33.96°N经过迭山(34.12°N, 103.80°E)、太白山(33.97°N, 107.81°E)、伏牛山(33.95°N, 111.06°E)所在分区,32.67°N经过雪宝顶(32.69°N, 103.85°E)、米仓山(32.69°N, 107.77°E)、十堰市(32.66°N, 110.77°E)所在分区;107.03°E与110.53°E代表南北方向变化情况,且分别经过汉中市(33.07°N, 107.03°E)与神农架(31.61°N, 110.53°E)。通过对比可以发现,2种基面高度分区方法所提取的基面高度结果相似,均符合山体基面高度的特点。

(1)秦巴山地从东向西基面高度整体上呈阶梯状升高的趋势(图8)。伏牛山-太白山-迭山一线,山体基面高度从伏牛山北坡,南坡的300~500 m,到

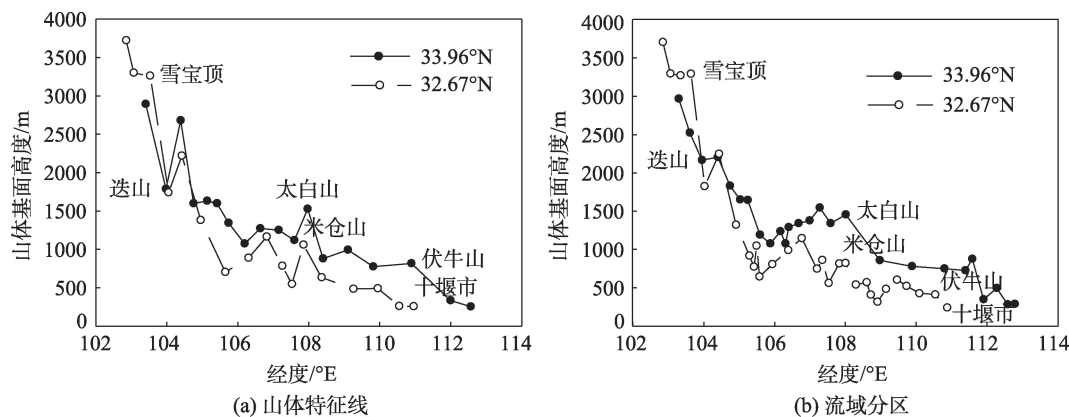


图8 基于山体特征线和基于流域分区的山体基面高度(西-东)变化情况

Fig. 8 The distribution of mountain base elevation based on mountain characteristics and drainage basin division from west to east in the Qinling-Daba Mountains

太白山南坡升高到1524 m和1454 m,北坡升高到1118 m和960 m,再向西到西秦岭甘肃迭山升高到1789 m和2165 m;雪宝顶-米仓山-十堰市一线,山体基面高度从十堰市的258 m和237 m,到中段米仓山北坡,南坡升高到1000~1250 m;再向西到川西北雪宝顶提高到约3200 m。

(2)从南向北,秦巴山地中部和东部基面高度均呈现了先降低后升高的趋势(图9)。东部

(110.53°E一线)神农架基面高度为869 m和873 m,向北到十堰市周边,降低至258 m和237 m,再向北到伏牛山西部升高为600~850 m;中部(107.03°E一线)南部米仓山地区基面高度为700~800 m,向北到汉江谷地下降至545 m和547 m,再向北至太白山南坡,升高至1524 m和1454 m;中部汉江谷地是山体基面高度最低的区域,位于汉江谷地的汉中市基面高度为545 m和528 m。

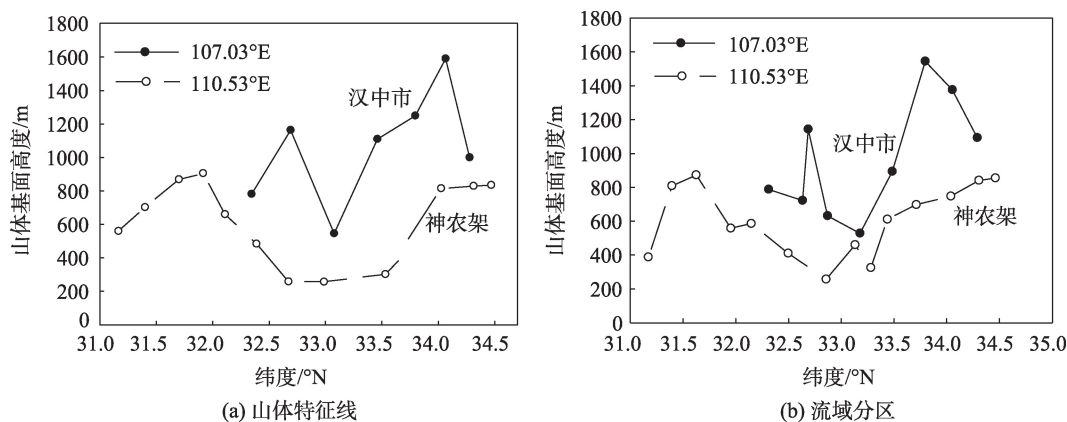


图9 基于山体特征线和基于流域分区的山体基面高度(南-北)变化情况

Fig. 9 The distribution of mountain base elevation based on mountain characteristics and drainage basin division from south to north in the Qinling-Daba Mountains

(3)从不同山脉和山脉的不同侧翼来看,秦岭较大巴山脉更长,山体更大,因此其基面高度也普遍高于大巴山的基面高度;秦岭呈东-西走向,秦岭南坡较平缓,北坡坡面较陡,其南北坡山体基面高度相差较大,所以秦岭南坡的基面高度(1000~1809 m)明显高于北坡(850~1300 m)。

4 结论与讨论

本文基于山体特征线与流域分区2种方法对秦巴山地山体基面高度进行了量化,实现了秦巴山地山体基面高度的数字化提取。相比传统的人工判读方式获取山体基面高度,效率较高,且消除了人工判读的主观性。2种分区方法得到的山体基面高度的分布特征相似且均符合秦巴山地地势的特点:秦巴山地山体基面高度从东向西呈现出明显的阶梯状递增,这与秦巴山地处于青藏高原与我国东部平原的过渡地带,地势呈现西高东低密切相关;从南向北,中东部山体基面高度均呈现了先降低后升高的趋势,这与秦巴山地南部为大巴山脉,中隔

汉水谷地,北部为秦岭山脉有关。

但是山地生态是一个复杂的、多尺度的过程,山体基面高度的提取和量化在大尺度和中尺度符合秦巴山地地势特点,但由于提取山体特征线的过程中需要进行小山脊线的手动删除,在一定程度上忽略了较小的山地坡面的生态过程;在进行山体基面分区时也需要手动连接,受主观因素影响较大,因此基于山体特征线的方法适合在山体特征明显的地区使用。而基于流域分区的方法只需找到合理的流域阈值,可依靠数字化方法自动提取,是对复杂山地进行山体基面高度提取的科学有效的解决方案。但是流域阈值的确定方法仅考虑了地形因素,得到的是一种理想状态下的流域分区,与实际情况存在一定的出入,需进一步考虑地质条件、土地利用等因素的影响。

秦巴山地基面高度,作为山体效应量化的关键因子,与植被分布界限呈现密切相关。秦岭中段太白山基面高度为1524 m和1454 m,是中段山体效应最大的山体,其南部的佛坪自然保护区基面高度为(770 m和867 m),汉中地区为(545 m和528 m),

山体效应导致太白山混交林上限达到 1000 m^[1], 比汉中地区高 120 m^[1]; 桦木林的上限达到 2800 m^[37], 比外围的佛坪自然保护区高 300 m^[37], 比汉中地区高 200 m^[3]。秦巴西部甘南白水江自然保护区山体基面高度为 1378~1496 m, 比大巴山东段相对较低神农架南坡高 676~687 m, 这也导致了前者针阔混交林带分布上限为 2900 m^[38], 比后者高 550 m^[39]。山体效应如何影响秦巴山地垂直带的分布还需要进一步的研究。

秦巴山地山体基面高度与温度分布也呈现了一定的相关关系。根据全球历史气候网(GHCN) 1950–2000 年的站点资料, 位于秦岭山脉东部的南阳盆地(山体基面高度小于 500 m)年均温为 14.7 °C, 基于中国年均气温垂直递减率 0.525 °C/100^[40]进行推算, 自由大气的温度在 2000 m 约为 4.9 °C, 3250 m 约为 -1.7 °C。相比之下, 秦岭主峰太白山南坡(山体基面高度约 1500 m) 2000 m 实测年均温约为 7 °C, 3250 m 为 2.5 °C^[41], 分别比南阳市同海拔自由大气的温度高约 2.1 °C 和 4.2 °C。这种温差实际是秦岭南坡山体效应的重要体现。但是山体基面高度如何塑造秦巴山地的温度分布格局, 为各地形气候区(山体基面高度分区)提供的起始温度对秦巴山地生态格局的影响还需深入的研究。

本文的山体基面高度提取是秦巴山地山体效应研究的初步尝试, 为山体效应定量化研究提供重要的技术支持。尽管山体基面高度是山体效应量化的第一因子, 但不是唯一的因子, 山体效应还与山体高度、离主山脊线和山谷线的距离、以及山体面积等因素有关^[3], 未来还需要建立多地形因子的山体效应定量化模型。另外, 仍需深入研究山体效应的机理, 研究山体效应对秦巴山地植被、土壤和气候格局的影响, 以及在全球气候的背景下, 山体效应在植被对气候变化响应中的作用。

参考文献(References):

- [1] 雷明德. 陕西植被[M]. 北京: 科学出版社, 1999. [Lei M D. Shanxi vegetation[M]. Beijing: Science Press, 1999.]
- [2] Holtmeier F K. Mountain timberlines ecology, patchiness, and dynamics[M]. New York: Springer Verlag, 2009.
- [3] 张百平, 姚永慧. 山体效应研究[M]. 北京: 中国环境出版社, 2015. [Zhang B P, Yao Y H. Study of mountain mass effect[M]. Beijing: China Environment Press, 2015.]
- [4] Zhang B P, Yao Y H. Implications of mass elevation effect for the altitudinal patterns of global ecology[J]. Journal of Geographical Sciences, 2016, 26(7): 871-877.
- [5] 彭补拙. 关于西藏南迦巴瓦峰地区垂直自然带的若干问

- 题[J]. 地理学报, 1986, 41(1): 51-58. [Peng B Z. Some problems of vertical zonation in MT. Namjagbarwa area [J]. Acta Geographica Sinica, 1986, 41(1): 51-58.]
- [6] 于汝元. 大地形与西南高山森林的分布[J]. 林业实用技术, 1988(8): 27-30. [Yu R Y. Large terrain and distribution of southwest alpine forest[J]. Practical Forestry Technology, 1988(8): 27-30.]
- [7] Yao Y H, Xu M, Zhang B P. The implication of mass elevation effect of the Tibetan Plateau for altitudinal belts[J]. Journal of Geographical Sciences, 2015, 25(12): 1411-1422.
- [8] Troll C. The upper timberlines in different climatic zones [J]. Arctic and Alpine Research, 1973, 5(3): A3-A18.
- [9] Bussmann R W. Vegetation zonation and nomenclature of African Mountains: An overview[J]. Lyonia, 2006, 11(1): 41-66.
- [10] 韩芳, 张百平, 谭靖, 等. 山体基面高度对欧亚大陆东南部林线分布的影响——山体效应定量化研究[J]. 地理学报, 2010, 65(7): 781-788. [Han F, Zhang B P, Tan J, et al. The effect of mountain base elevation on the altitude of timberline in the Southeastern Eurasia: A study on the quantification of mass elevation effect[J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 65(7): 781-788.]
- [11] Han F, Zhang B P, Yao Y H, et al. Mass elevation effect and its contribution to the altitude of snowline in the Tibetan Plateau and surrounding areas[J]. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2011, 43(2): 207-212.
- [12] 赵芳, 张百平, 庞宇, 等. 山体效应对北半球林线分布的影响分析[J]. 地理学报, 2012, 67(11): 1556-1564. [Zhao F, Zhang B P, Pang Y, et al. Mass elevation effect and its contribution to the altitude of timberline in the Northern Hemisphere[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67(11): 1556-1564.]
- [13] Barry R G. Mountain weather and climate[M]. New York: Routledge, 1992.
- [14] Yeh T C. Meteorology of Tibetan Plateau[M]. Beijing: Science Press, 1979.
- [15] Molnar P, Emanuel K A. Temperature profiles in radiative-convective equilibrium above surfaces at different heights [J]. Journal of Geophysical Research Atmospheres, 1999, 104(D20): 24265-24271.
- [16] 张百平, 周成虎, 陈述彭. 中国山地垂直带信息图谱的探讨[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 163-171. [Zhang B P, Zhou C H, Chen S P. The Geo-info-spectrum of montane altitudinal belts in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(2): 163-171.]
- [17] 刘华训. 我国山地植被的垂直分布规律[J]. 地理学报, 1981, 36(3): 267-279. [Liu H X. The vertical zonation of mountain vegetation in China[J]. Acta Geographica Sinica, 1981, 36(3): 267-279.]
- [18] 侯学煜. 试论历次中国植被分区方案中所存在的争论性问题(II)[J]. 植物生态学与地植物学丛刊, 1981, 1(1-2): 1-30. [Hou X Y. Discussion on controversial issues in previous vegetation zoning projects in China(II) [J]. Plant Ecology and Geobotany Series, 1981, 1(1-2): 1-30.]
- [19] 张朔, 姚永慧, 庞宇, 等. 山体基面高度的提取方法——以

- 台湾岛为例[J].地球信息科学学报,2012,14(5):562-568. [Zhang S, Yao Y H, Pang Y, et al. Mountain basal elevation extraction in the Taiwan Island[J]. Journal of Geo-information Science, 2012,14(5):562-568.]
- [20] 侯学煜.试论历次中国植被分区方案中所存在的争论性问题(I)[J].植物生态学与地植物学丛刊,1963,1(1-2):1-23. [Hou X Y. Discussion on controversial issues in previous vegetation zoning projects in China(I) [J]. Plant Ecology and Geobotany Series, 1963,1(1-2):1-23.]
- [21] 吴征镒.中国植被.科学出版社[M].北京:科学出版社,1995. [Wu Z Y. Chinese vegetation[M]. Beijing: Science Press, 1995.]
- [22] 汤国安,李发源,刘学军.数字高程模型教程[M].北京:科学出版社,2010. [Tang G A, Li F Y, Liu X J. Digital elevation model tutorial[M]. Beijing: Science Press, 2010.]
- [23] 汤国安.我国数字高程模型与数字地形分析研究进展[J].地理学报,2014,69(9):1305-1325. [Tang G A. Progress of DEM and digital terrain analysis in China[J]. Acta Geographica Sinica, 2014,69(9):1305-1325.]
- [24] 于海洋,罗玲,马慧慧,等.SRTM(1")DEM在流域水文分析中的适用性研究[J].国土资源遥感,2017,29(2):138-143. [Yu H Y, Luo L, Ma H H, et al. Application appraisal in catchment hydrological analysis based on SRTM1 Arc-Second DEM[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017,29(2):138-143.]
- [25] Meng X. SRTM DEM and its application advances[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011,32(14):3875-3896.
- [26] 刘远,周买春,陈芷菁,等.基于不同DEM数据源的数字河网提取对比分析——以韩江流域为例[J].地理科学,2012,32(9):1112-1118. [Liu Y, Zhou M C, Chen Z J, et al. Comparison of drainage network extraction from different DEM data sources: A case study of Hanjiang River Basin[J]. Geographical Science, 2012,32(9):1112-1118.]
- [27] 闫国年,钱亚东,陈钟明.基于栅格数字高程模型提取特征地貌技术研究[J].地理学报,1998,53(6):562-570. [Lv G N, Qian Y D, Chen Z M. Automated extraction of the characteristics of topography from grid digital elevation data[J]. Acta Geographica Sinica, 1998,53(6):562-570.]
- [28] 刘淑琼,邹时林.基于格网DEM的地形特征线提取方法比较[J].测绘与空间地理信息,2015,38(2):85-86. [Liu S Q, Zou S L. The comparison for the extraction method of topographic patterns line based on regular grid DEMs[J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2015,38(2):85-86.]
- [29] 孙崇亮,王卷乐.基于DEM的水系自动提取与分级研究进展[J].地理科学进展,2008,27(1):118-124. [Sun C L, Wang J L. The progress on automatic basin streamline extracting & classifying methods based on DEM[J]. Progress in Geography, 2008,27(1):118-124.]
- [30] 肖飞,张百平,凌峰,等.基于DEM的地貌实体单元自动提取方法[J].地理研究,2008,27(2):459-466. [Xiao F, Zhang B P, Ling F, et al. DEM based auto-extraction of geomorphic units[J]. Geographical Research, 2008,27(2):459-466.]
- [31] 孔凡哲,李莉莉.利用DEM提取河网时集水面积阈值的确定[J].水电能源科学,2005,23(4):65-67. [Kong F Z, Li L L. Determination of river drainage area threshold for extraction of drainage network by DEM[J]. Water Resources and Power, 2005,23(4):65-67.]
- [32] 朱海玲,杨晓晖,张学培,等.基于DEM的密云水库上游流域特征提取与分析[J].中国水土保持科学,2013,11(3):66-72. [Zhu H L, Yang X H, Zhang X P, et al. Extraction and analysis of the watershed features based on the Digital Elevation Model of the Miyun Reservoir[J]. Science of Soil and Water Conservation, 2013,11(3):66-72.]
- [33] 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. [Tu H M, Liu Z D. Study on relief amplitude in China[J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 1991,20(4):311-319.]
- [34] 王让虎,张树文,蒲罗曼,等.基于ASTER GDEM和均值变点分析的中国东北地形起伏度研究[J].干旱区资源与环境,2016,30(6):49-54. [Wang R H, Zhang S W, Pu L M, et al. Analysis on the relief amplitude in Northeast China based on ASTER GDEM and mean change point method[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016,30(6):49-54.]
- [35] 李吉均.中华人民共和国地貌图集[M].北京:科学出版社,2009. [Li J J. Landforms of People's Republic of China[M]. Beijing: Science Press, 2009.]
- [36] 张朔.山体效应主要形成因素及其定量化研究[D].北京:中国科学院大学,2015. [Zhang S. Quantitative study of mass elevation effect based on its main forming-factors[D]. Beijing: The University of Chinese Academy of Sciences, 2015.]
- [37] 岳明,党高弟,辜天琪.佛坪国家级自然保护区植被垂直带谱及其与邻近地区的比较[J].植物科学学报,2000,18(5):375-382. [Yue M, Dang G D, Gu T Q. Vertical zone spectrum of vegetation in Foping National Reserve and the comparison with the adjacent areas[J]. Journal of Wuhan Botanical Research, 2000,18(5):375-382.]
- [38] 孙国钧,冯虎元.白水江自然保护区植被区系特征分析[J].兰州大学学报(自然科学版),1998,34(2):92-97. [Sun G J, Feng H Y. The analysis of flora characteristics Bai-shuijiang Natural Sanctuary in Gansu[J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 1998,34(2):92-97.]
- [39] 方精云,沈泽昊,崔海亭.试论山地的生态特征及山地生态学的研究内容[J].生物多样性,2004,12(1):10-19. [Fang J Y, Shen Z H, Cui H T. Ecological characteristics of mountains and research issues of mountain ecology[J]. Biodiversity Science, 2004,12(1):10-19.]
- [40] 蒋复初,王书兵,傅建利,等.青藏高原与东西两侧大陆的气温差异[J].地质力学学报,2006,12(4):399-405. [Jiang F C, Wang S B, Fu J L, et al. Temperature difference between the Qinghai-Tibet Plateau and its contiguous areas [J]. Journal of Geomechanics, 2006,12(4):399-405.]
- [41] Tang Z, Fang J. Temperature variation along northern and southern slope of Mt. Taibai, China[J]. Agricultural & Forest Meteorology, 2006,139(3):200-207.