

基于 DEM 的巴山地区地貌区划研究

姜雨璇, 查小春

(陕西师范大学 地理科学与旅游学院, 西安 710119)

摘 要:地貌区划是对地貌形成过程和区域分异特征的综合反映,划分巴山地区的地貌区划,对探究巴山地区地貌格局以及地貌差异具有重要意义。利用 ArcGIS 10.2 软件,基于分辨率为 30 m 的 ASTER GDEM V3 数据,提取了巴山地区的坡度、坡向、平面曲率、剖面曲率、海拔高度、地势起伏度、地表切割深度、地表粗糙度和高程变异系数等地形因子,并通过相关系数矩阵确定最佳地形因子,在此基础上对巴山地区地貌类型和地貌区划进行划分。结果表明:(1)巴山地区地貌区划的最佳地形因子为海拔高度和地势起伏度;(2)巴山地区的地貌类型依据海拔高度划分为低海拔、中海拔,依据地势起伏度划分为平原、台地、丘陵、小起伏山地、中起伏山地;(3)巴山地区的地貌区划划分为 2 个地貌区、5 个地貌亚区和 18 个地貌小区。区划结果符合巴山的地貌空间分布以及地貌格局差异,能有效地体现巴山地区的地貌特征,对巴山生态环境建设具有指导意义。

关键词:巴山; 地形因子; 地势起伏度; 地貌区划

中图分类号:K903

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2022)01-0127-06

Study on Geomorphological Regionalization of Bashan Based on DEM

JIANG Yuxuan, ZHA Xiaochun

(School of Geography and Tourism, Shaanxi Normal University, Xi'an 710119, China)

Abstract: Geomorphological regionalization is the comprehensive reflection of geomorphological formation process and regional differentiation. The study of geomorphological regionalization in Bashan is of great significance to the study of geomorphological pattern and geomorphological differences in Bashan. Based on 30 metres resolution ASTER GDEM V3 data, terrain factors, such as slope, aspect, plane curvature, profile curvature, elevation, relief amplitude, surface cutting depth, surface roughness and variance coefficient of elevation were extracted by using ArcGIS 10.2 software, then the optimal topographical factors were determined by combination of correlation coefficient. The geomorphological types and regionalization of the study area were analyzed. The results showed that: (1) the best topographical factors in geomorphological regionalization of Bashan were elevation and relief amplitude; (2) the geomorphological types of the Bashan area were divided into low-altitude and medium-altitude according to the elevation, and divided into plains, terraces, hills, small undulating mountains, and medium undulating mountains according to the relief amplitude; (3) Bashan was divided into 2 geomorphological regions, 5 geomorphological sub-regions and 18 geomorphological small-regions. These results revealed the geomorphological spatial distribution and the differences of the geomorphological pattern of Bashan, which was of guiding significance to the ecological environment construction in this area.

Keywords: Bashan; terrain factors; relief amplitude; geomorphological regionalization

地貌区划是在空间上按照地貌形态、成因等的相似性和差异性,将不同的地貌类型按照一定的原则和指标,划分为若干不同等级的地貌区域,它可以帮助

人们从整体上了解一个区域的地形地貌特征,从宏观上来把握各种地貌类型的组合规律,并理解其演化的过程。我国地貌区划的研究工作开始于 20 世纪 30

收稿日期:2021-03-17

修回日期:2021-04-13

资助项目:国家科技基础资源调查专项“中国南北过渡带综合科学考察”(2017FY100905)

第一作者:姜雨璇(1997—),女,河南南阳人,硕士,主要从事资源开发与环境演变研究。E-mail:1026378516@qq.com

通信作者:查小春(1972—),男,陕西汉中,教授,博士生导师,主要从事资源开发与环境演变研究。E-mail:zhaxch@snnu.edu.cn

年代,李四光^[1]在其著作《中国地质学》(英文版)中对中国地貌进行了精辟的论述,认为构造与地貌紧密相连,并将中国及其邻域分为四大地貌阶梯;然后沈玉昌等^[2]对中国地貌分类、区划与制图进行回顾,总结了李四光、任美镔、许逸超、周廷儒等在分区原则和命名等方面的差异。随着地理信息技术、遥感技术等的高速发展,获取高精度的地貌信息为地貌区划提供了便利的技术与方法,使得地貌区的研究更精确,分辨率也不断提高^[3]。对于地貌信息中基本形态的划分,多采用宏观地形因子如高程来掌握总体地貌轮廓^[4],但仅仅依据某一种地形因子不够全面地表达地形地貌特征,因此多指标组合分类法^[5]在地貌分类、地貌区划方面得到广泛应用,提取的地形因子^[6-8]有地势起伏度、地表粗糙度、高程变异系数、坡度、光照晕渲图及平均高程等,并利用离散分析、相关性分析选取最佳因子组合,以对地貌进行定量化分析^[9]。随着地形地貌相关研究的日益深化,小比例尺、大范围的制图精度已经不能满足当前科研工作需求,学者也在尝试采用各种方法探测空间分异性来实现精细化地形分类^[10-12]。而且针对不同区域和不同需求,我国地貌学家提出多种地貌区划方案,例如在全国尺度,李炳元等^[13]提出二级区划方案,将我国划分为 6 个一级地貌大区、38 个二级地貌区;陈志明等^[14]完成了三级地貌区划,分别为区域、区和亚区;程维明等^[15]基于中国地貌提出了五级分区的原则和命名方法。

位于我国陕西、四川、湖北三省交界的巴山地区,地势起伏大、地貌类型复杂,自古就有“蜀道之难,难于上青天”的说法。20 世纪 80 年代,甘枝茂等^[16]对秦巴山区地质地貌类型做了初步划分;此外,齐矗华等^[17]对太白山及其邻近地区冰川地貌的形成发育过程以及特征进行描述,刘俊杰等^[18]根据地形起伏度和坡度进行秦巴山地山体效应定量化研究,张珊等^[19]基于地貌特征线提取技术分析秦巴山区不同山势地貌的割切密度系数,Liu 等^[20]基于地貌区划对陕西省景观生态风险时空演变进行研究。但是目前系统地划分巴山地区的地貌区划还未见报道。因此,本文基于 DEM 数据,提取地形因子对巴山地区地貌进行分类,其研究结果不但可以深化该地区的地貌研究,提供定量化的地貌研究资料,还在巴山地区土地利用规划、水土流失、地质灾害等方面有重要意义。

1 研究区域和数据源

1.1 研究区概况

巴山地区位于东经 105°50′29″—112°11′26″,北纬 30°45′1″—33°15′38″,北以汉江为界,与秦岭相望,

南连长江,西侧毗邻嘉陵江水系,东北、东南和西南分别与南阳盆地、江汉平原和成都平原相接。巴山地区山体多呈西北—东南走向,西段米仓山的主峰光雾山海拔为 2 507 m,中段大巴山(狭义)境内的化龙山海拔为 2 917 m,东段大神农架主峰神农顶为华中第一峰,海拔为 3 053 m,其分支武当山位于湖北省西北角。在地质上,巴山属复背斜结构,山脊多以坚硬的结晶石灰岩构成,经上升剥蚀后浑厚雄伟,山脉多以石灰岩、变质岩、砂岩、白云岩为主,局部地区有花岗岩分布。在年平均降水量方面,米仓山东部在 1 200 mm 以下、神农架林区为 1 400 mm 左右、其余地区为 1 000~1 200 mm,万源、巫溪一带是巴山暴雨区的中心,河流切割强烈。巴山地区地貌类型以中低山为主,安康盆地发育有丘陵盆地地貌,全区地貌成因有流水作用、喀斯特作用,喀斯特地貌多以峰丛、溶洞为主。巴山还是我国北亚热带气候和中亚热带气候的分界线,其北面的汉中盆地为北亚热带气候,南面的四川盆地为中亚热带气候,它是四川盆地北部的天然屏障,削弱了冬半年北方冷空气南侵,对四川冬暖春旱气候的形成影响重大。

1.2 数据来源

DEM 作为地形表面的一种直观数字表达,是进行地貌类型划分的重要依据,同时也是地貌定量化研究所必不可少的资料。本研究采用的基础数据为 ASTER GDEM V3(在 V2 的基础上有所改进,主要减少了高程值空白区域、水域数值异常),下载自 NASA EARTH DATA (<http://earthdata.nasa.gov/>),对数据进行镶嵌融合、投影转换和裁剪,得到巴山地区 DEM 数据,数据采样的格网大小为 30 m 分辨率。

2 研究方法

2.1 地形因子的选取

地形因子是用来表达实际地形的各种特征,包括宏观地形因子和微观地形因子。宏观地形因子主要表达地形总体的特征,所描述的空间区域范围较大,从宏观上反映地面的起伏特征或空间变异,如地势起伏度、海拔高度、高程变异系数、地表切割深度等。而微观地形因子表达地貌的细节特点,用各种地表形态描述参数来表达地表形态的一种或多种特征,如坡度、坡向、坡长、坡度变率等。本文依据巴山地区的地貌空间特征变化,选取坡度、坡向、平面曲率、剖面曲率、海拔高度、地势起伏度、地表切割深度、地表粗糙度和高程变异系数 9 个地形因子,并依据巴山地区的 DEM 数据,分别予以提取。

2.2 最佳分析窗口的确定

最佳分析窗口是提取宏观地形因子(如地势起伏度、地表切割深度、高程变异系数等)的关键。随着分析窗口大小的变化,网格面积与其对应的地形因子二者之间,可以拟合成一条符合对数变化规律的曲线,并在曲线上存在唯一的、由陡变缓的点,即变点,这一点就是最佳分析窗口。陈学兄等^[21]对提取变点的方法进行对比分析,表明均值变点分析法以及累积和算法是相对有效的方法,而且均值变点法与实际更相符,因此本文选用均值变点法确定宏观地形因子的最佳分析窗口,其计算步骤为^[22-23]:

(1) 以网格的面积为样本数列 $\{X_i\}$,其中 $i=2,3,4,\cdots,N$,以 i 为分界点,将样本 X_i 分成两段: X_1,X_2,\cdots,X_{i-1} 和 X_i,X_{i+1},\cdots,X_N

计算每段样本的算术平均值 $\overline{X}_{i1},\overline{X}_{i2}$ 以及统计量 S_i 。

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

式中: S_i 为以 i 为分界点的两段样本的离差平方和之和; N 为总的样本个数。

(2) 计算统计量:

$$\overline{X} = \sum_{t=1}^N \frac{X_t}{N} \text{ 和 } S = \sum_{t=1}^N (X_t - \overline{X})^2 \quad (2)$$

式中: \overline{X} 为全部样本的算术平均值; N 为总的样本个数; S 为总的离差平方和。

(3) 变点的存在会使得 S 和 S_i 的差距增大,以序列号 i 为横坐标 X 轴, $S-S_i$ 为纵坐标 Y 轴,利用Excel将得到的数据用散点图表示,其中图上最上方一点即为变点,是二者差距最大的点。

3 结果与分析

3.1 巴山地区最佳地形因子的确定和提取

3.1.1 最佳地形因子的确定 最佳地形因子是通过较少的因子组合来充分表达地貌特征与分布规律,最大程度地减少冗余数据,以提高分类精度以及分析地貌类型的效率^[24]。因此,对巴山地区提取的坡度、坡向、平面曲率、剖面曲率、海拔高度、地势起伏度、地表切割深度、地表粗糙度和高程变异系数 9 个地形因子,通过 ArcGIS 空间分析工具得到地形因子间相关系数表(表 1)。

表 1 巴山地区各地形因子间相关系数

因子	坡度	坡向	平面曲率	剖面曲率	海拔高度	地势起伏度	地表切割深度	地表粗糙度	高程变异系数
坡度	1.00								
坡向	0.03	1.00							
平面曲率	0.01	0.00	1.00						
剖面曲率	-0.01	-0.00	-0.64	1.00					
海拔高度	0.27	0.02	0.02	-0.04	1.00				
地势起伏度	0.56	0.02	-0.00	-0.00	0.42	1.00			
地表切割深度	0.52	0.02	0.00	-0.03	0.47	0.93	1.00		
地表粗糙度	0.91	0.01	0.01	-0.00	0.22	0.51	0.47	1.00	
高程变异系数	-0.24	-0.01	0.00	0.02	-0.99	-0.39	-0.44	-0.19	1.00

依据表 1 可知,坡向、平面曲率、剖面曲率与其他的地形因子相关性极弱,相关系数大多在 0.02 左右,表明这 3 个地形因子与其他地形因子相比,对巴山地区的地貌特征差异表达不明显,应予以剔除。同时表 1 表明,海拔高度与高程变异系数、地势起伏度与地表切割深度、坡度与地表粗糙度三对地形因子的相关系数最大,分别为-0.99,0.93,0.91,表明它们之间的相关性较强,为减少数据冗余,需要从这三组地形因子中分别选择一个地形因子来表达巴山地区的地貌特征与分布规律。

表 2 列出了地形因子的最小值、最大值、平均值和标准差,其中平均值反映各个地形因子的集中趋势,标准差衡量因子的离散程度。海拔高度与高程变

异系数均用来表示地形的高低起伏变化,由表 2 可知,海拔高度的标准差为 493.51,大于高程变异系数的标准差 480.76,表明海拔高度的离散性更强,说明海拔高度更能反映巴山地区地形的空间变化;地势起伏度与地表切割深度都可以描述地表单元的切割剥蚀程度,表征区域构造活动强度的差异,但是地势起伏度与地表切割深度的标准差分别为 103.33,55.80,说明地势起伏度的离散性更强,因此选用地势起伏度更有代表性;地表粗糙度和坡度都可以反映地面凹凸不平的程度,地表粗糙度的标准差为 0.14,小于坡度的标准差,说明坡度更能表达研究区地形特点。为此,选取海拔高度、地势起伏度和坡度来表达巴山地区的地貌特征与分布规律。

同时,从表 1 可知,坡度与地势起伏度的相关系数较大,为 0.56。从二者的概念来看,地势起伏度指一个区域最高点与最低点海拔高度的差值,坡度是坡面铅直高度和水平宽度的比值,二者都可以在一定程度上反映地形起伏^[25],说明这两个地形因子表征的地形地貌信息会存在一定程度的重叠现象。由此,为了减少数据冗余,就需要从坡度、地势起伏度中选取一个最能表达巴山地区地貌类型的地形因子。同时从表 2 可见,地势起伏度的标准差为 103.33,远大于坡度的标准差 11.75,说明地势起伏度更能表达巴山地区的地形特点,因此选取地势起伏度而剔除了坡度因子。由此,选取海拔高度与地势起伏度作为最佳地形因子来反映巴山地区地貌类型的分布。

表 2 巴山地区地形因子数据信息

分类因子	最小值	最大值	平均值	标准差
坡度	0.00	80.86	23.84	11.75
海拔高度	12.00	3 108.00	972.14	493.51
地势起伏度	0.00	826.00	232.38	103.33
地表切割深度	0.00	518.97	113.27	55.80
地表粗糙度	1.00	6.27	1.13	0.14
高程变异系数	-2958.25	-22.90	-913.20	480.76

3.1.2 海拔高度的提取与分级 海拔高度是指某地与海平面的高度差,反映地形的高低差异。海拔高度分类是基于高程数据来划分,周成虎等^[26]提出三等六级七层的地貌数值分类方法,将高程分为 4 类:低海拔(<1 000 m),中海拔(1 000~3 500 m),高海拔(3 500~5 000 m),极高海拔(>5 000 m)。由于巴山地区的高程均在 3 500 m 以下,据此将巴山分为低海拔和中海拔两个级别(图 1)。

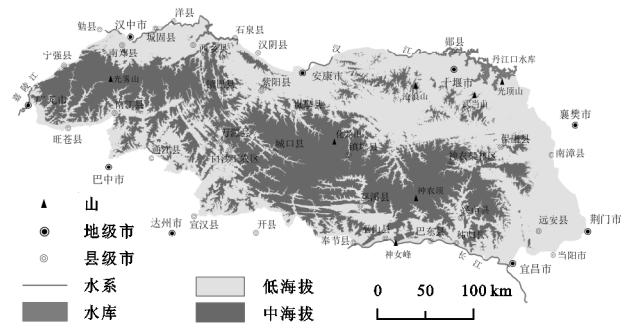


图 1 巴山地区海拔空间分布

由图 1 可知,巴山地区低海拔所占的面积百分比为 57.54%,主要分布在研究区的东北部区域,此处的汉江、丹江流域地区的海拔高度小于 1 000 m。中海拔主要分布在研究区西部的米仓山、南部狭义的大巴山区域,占研究区总面积的 42.46%。

3.1.3 地势起伏度的提取与分级 地势起伏度指的是一个区域内最大与最小高程之差,描述一个范围内地势起伏的变化,常常用于地貌划分。利用 ArcGIS 空间

分析工具中的“邻域分析”计算 DEM 数据网格区域内的地势起伏度。通过改变网格大小得到 2×2 至 49×49 网格单元的地势起伏度,将得到的数据在 Excel 表格中处理,得到网格单元与地势起伏度的关系。

通过 Excel 表格生成网格单元与地势起伏度散点图,拟合出的对数曲线方程为 $y = 76.224\ln x + 2.3288, R^2 = 0.9481$ 。 R^2 越接近 1,说明拟合的对数曲线效果越好,并通过了统计学检验。根据均值变点法,以 $i(i = 2, 3, 4, \cdots, N; N$ 为总的样本个数)为分界点将样本分成两段,两段样本的离差平方和之和为 S_i ,计算出总的离差平方和为 $S = 36.75$,变点的存在会使得 S 和 S_i 的差距增大, $S - S_i$ 的最大值对应的点即为变点,由图 2 可以看出,由陡变缓的点对应 18×18 的窗口大小为 0.29 km^2 ,即为最佳窗口,据此利用该最佳分析窗口来提取巴山地区的地势起伏度因子。

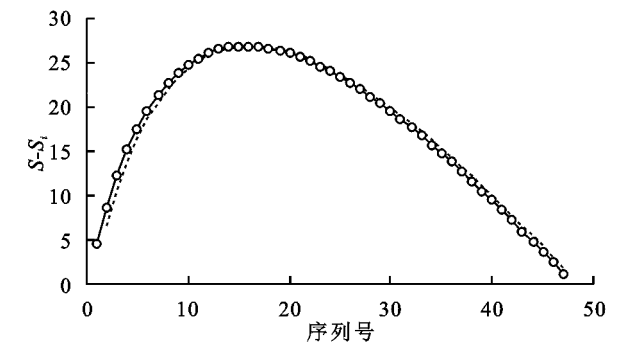


图 2 S 和 S_i 差值的变化曲线

在地貌分区的研究中,地势起伏度等级的划分具有重要意义。依据确定的 18×18 最佳分析窗口作为基于 DEM 的巴山地区地势起伏度的最佳统计单元,据此得到巴山地区的地势起伏度分布(图 3)。参照莫申国^[27]数字地貌格局的划分方法,依据地势起伏度的提取结果,将巴山地区的地貌类型分为平原、台地、丘陵、小起伏山地和中起伏山地。由图 3 巴山地区的地势起伏度地貌类型图可知,小起伏山地在巴山地区地貌类型中占比最大,为 58.41%,丘陵次之,占总面积的 37.70%;光雾山、化龙山、沧浪山、武当山、神农顶和神女峰等山峰主要位于小起伏山地;汉江、丹江口水库附近为丘陵区;平原、台地地貌占比较少,所占研究区的百分比分别为 1.13%,1.50%,主要分布在研究区边缘地带,呈团块状分布;中起伏山地占比少,仅占 1.26%,零散分布在巴山南部地区,空间特征不明显。

3.1.4 巴山地区地貌成因的提取 地貌成因参照中国科学院地理研究所 1:100 万地貌类型图,经过手工矢量化后得到巴山地区的地貌成因分布图(图 4),由图 4 可见,巴山地区地貌按成因分为流水地貌和喀斯特地貌,两种地貌都是集中连片分布,流水地貌占总面积的比例较大,为 68%,主要分布在巴山北部;

喀斯特地貌仅占 32%,巴山东南部分布较多。

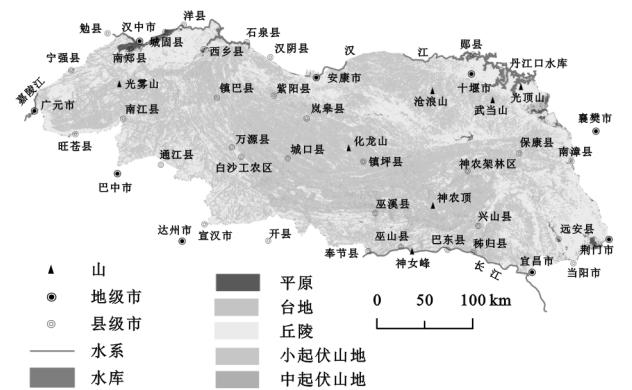


图 3 巴山地区地势起伏度

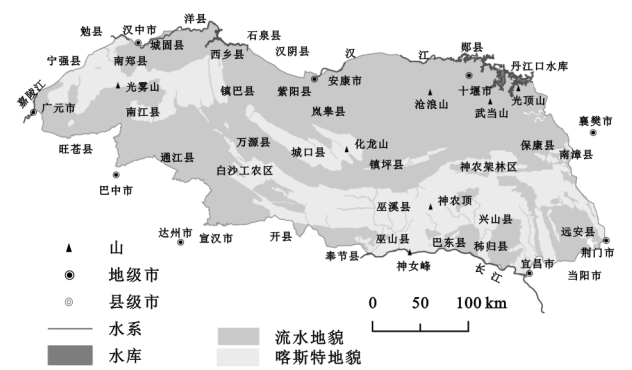


图 4 巴山地区地貌成因分布

3.2 巴山地区地貌区划方案

将最佳地形因子海拔高度、地势起伏度进行叠加,以定性和半定量的方法对由最佳地形因子划分的地貌类型图进行验证及修正,即可获得巴山地区 10 种地貌类型的空间分布,各类型面积及所占的百分比,见表 3。

表 4 巴山地区三级地貌分区编码方式及其举例

区划等级	一级:区	二级:亚区	三级:小区
编码方式	大写罗马数字 I, II, III, …,	大写英文字母 A, B, C, …,	阿拉伯数字 1, 2, 3, …,
分区举例	中低海拔丘陵区	汉中—安康丘陵亚区	汉中丘陵流水地貌小区
编码举例	I	IA	IA1

在不同的区域内,由于内外营力不同而形成了复杂的地貌类型。为了能够使一个区域内的地貌类型代表该区域总体特征,因此产生了地貌区划。依据巴山地区地貌类型的空间分布,将巴山地区划分为 2 个一级地貌区、5 个二级地貌亚区、18 个三级地貌小区(图 5)。

巴山地区的 2 个一级地貌区分别为 I 中低海拔丘陵区 and II 中小起伏山地区。I 中低海拔丘陵区面积占比为 35.10%,汉水、丹江流经该区域,这里水分充足,地势平坦,区域内分布有小起伏河漫滩、低海拔河流低阶地、河谷台地、洪积平原地貌,适宜生产生活。II 中小起伏山地区面积占比为 64.90%,这里山峰较多,起伏度也大于丘陵区,区域内主要分布有流水作用的小起伏中山、流水作用的小起伏低山、喀斯

表 3 巴山地区地貌类型及面积统计表

地貌类型	面积/km ²	百分比/%	地貌类型	面积/km ²	百分比/%
低海拔平原	0.99	0.94	中海拔平原	0.04×10 ⁻¹	3.71×10 ⁻⁵
低海拔台地	1.49	1.42	中海拔台地	0.01	0.01
低海拔丘陵	29.15	27.72	中海拔丘陵	0.10	9.92
小起伏低山	28.48	27.09	小起伏中山	33.27	31.64
中起伏低山	0.40	0.38	中起伏中山	0.93	0.89

分析表 3 可知,巴山地区分布较广的地貌类型主要为小起伏中山、低海拔丘陵和小起伏低山,分别占研究区总面积的 31.64%,27.72%和 27.09%。小起伏中山主要分布在米仓山、大巴山区域;低海拔丘陵分布在汉江、丹江流域以及研究区东部区域;小起伏低山主要分布在研究区北部。中海拔丘陵主要分布在米仓山西部、大巴山东部,所占研究区面积为 9.92%;低海拔台地主要分布在研究区西北部、东部,占研究区总面积的 1.42%;低海拔平原分布在汉江、丹江流域,所占百分比为 0.94%;中起伏中山主要分布在大巴山区域,所占面积百分比为 0.89%;中起伏低山、中海拔台地、中海拔平原面积所占比例较少。

程维明等^[15]在对中国地貌区划命名时采用五级区划命名方案,分为大区—地区—区—亚区—小区。考虑到巴山地区的地貌特点和复杂程度,采用了三级区划命名方案,分为区—亚区—小区。一级区划主要依据宏观地貌特征,即地势起伏度和海拔高度来划分;二级区划结合主要河流进行划分;三级区划参考成因和次要河流进行细分。对各级区划采用地貌形态为主的形态成因原则来命名^[26],编码方式见表 4。

特作用的小起伏中山、喀斯特作用的小起伏中山等。

巴山地区的 5 个二级地貌亚区分别为 IA 汉中—安康丘陵亚区、IB 武当山中低山丘陵亚区、IC 保康中低山丘陵亚区、II A 米仓山中低山山地亚区、II B 大巴山中低山山地亚区。IA 汉中—安康丘陵亚区、IB 武当山中低山丘陵亚区、IC 保康中低山丘陵亚区分别占 I 区面积的 32.23%,42.27%和 25.50%。IA 汉中—安康丘陵亚区、IB 武当山中低山丘陵亚区为丘陵区的主要组成部分,汉中—安康丘陵区北部有汉江流过,使得该地区气候湿润,土壤肥沃。II A 米仓山中低山山地亚区、II B 大巴山中低山山地亚区分别占 II 区面积的 33.78%,66.22%,紫阳县、万源县两个主要的县级市以及后河等河流将 II A 米仓山中低

山山地亚区、ⅡB 大巴山中低山山地亚区划分开。

巴山地区的三级地貌小区共有 18 个,区划边界与程维明等^[15]1:2 000 000《秦岭大巴山地貌区划图》中的分区方案基本一致。IA1 汉中丘陵流水地貌小区、IA2 凤凰山低山流水地貌小区、IA3 坝河—白石河低山流水地貌小区分别占 IA 面积的 34.59%,23.06%,42.35%;IB1 武当山低山流水地貌小区、IB2 丹江口丘陵流水地貌小区分别占 IB 面积的 82.64%,17.36%;IC1 安康低山喀斯特地貌小区、IC2 南漳—远安丘陵流水地貌小区、IC3 四方山低山流水地貌小区分别占 IC 面积的 27.44%,53.02%,19.54%;ⅡA1 宁强丘陵喀斯特地貌小区、ⅡA2 光雾山丘陵喀斯特地貌小区、ⅡA3 镇巴中山喀斯特地貌小区、ⅡA4 广元—旺苍—南江低山流水地貌低山小区、ⅡA5 米仓山中山流水地貌小区分别占ⅡA 面积的 18.31%,9.42%,6.60%,8.60%,57.07%;ⅡB1 大巴山中山喀斯特地貌小区、ⅡB2 神农架中山流水地貌小区、ⅡB3 宣汉—奉节低山流水地貌小区、ⅡB4 巴东中低山喀斯特地貌小区、ⅡB5 兴山丘陵喀斯特地貌小区分别占ⅡB 面积的 43.27%,19.11%,14.59%,12.69%,10.34%。

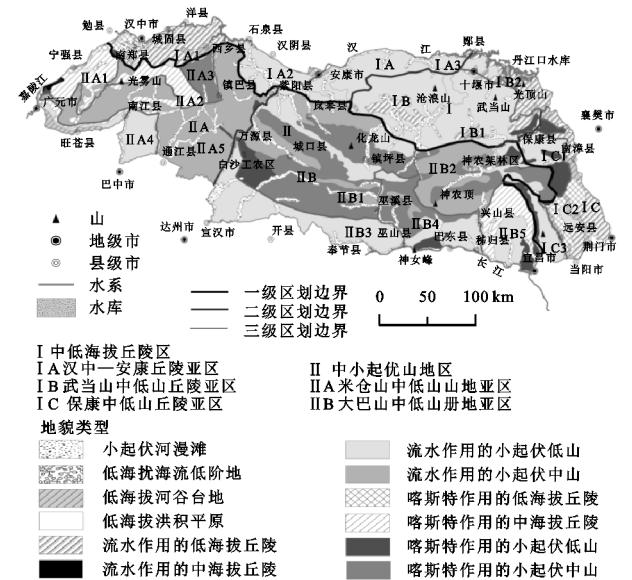


图 5 巴山地区地貌类型区划

4 结论

- (1)巴山地区地貌区划的最佳地形因子为海拔高度和地势起伏度,地势起伏度的最佳分析窗口为 0.29 km²。
- (2)基于最佳地形因子划分得到对应的地貌类型图,依据海拔高度将巴山地貌分为低海拔、中海拔两个级别,依据地势起伏度将巴山地貌分为 5 类,即平原、台地、丘陵、小起伏山地、中起伏山地。
- (3)建立巴山地区地貌分类系统并完成了地貌区划,将巴山地区的地貌类型划分为中低海拔丘陵区和中

小起伏山地区 2 个一级地貌区、汉中—安康丘陵亚区等 5 个二级地貌亚区、汉中丘陵流水地貌小区等 18 个三级地貌小区,区划结果符合巴山地区的地貌分布以及地貌格局差异,对巴山地区生态环境建设具有指导意义。

参考文献:

[1] 李四光.张文佑,编译.中国地质学[M].上海:正风出版社,1953:2-13.

[2] 沈玉昌,苏时雨,尹泽生.中国地貌分类、区划与制图研究工作的回顾与展望[J].地理科学,1982,2(2):97-105.

[3] 杨颖楠,李子夫,刘梦云,等.基于不同分辨率 DEM 的永寿县地形信息差异分析[J].水土保持研究,2018,25(6):131-136.

[4] 章桂芳,陈凯伦,张浩然,等.基于 DEM 的丹霞地貌演化阶段划分[J].中山大学学报:自然科学版,2018,57(2):12-21.

[5] Wang N, Cheng W M, Wang B X, et al. Geomorphological regionalization theory system and division methodology of China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2020,30(6):212-232.

[6] 范建容,张子瑜,李立华.四川省山地类型界定与山区类型划分[J].地理研究,2015,34(1):65-73.

[7] 刘育成,赵廷宁.基于变点分析法提取废弃采石场地形起伏度的方法[J].水土保持研究,2016,23(3):269-273.

[8] Zhang B, Fan Z M, Du Z P, et al. A geomorphological regionalization using the upscaled dem: the Beijing-Tianjin-Hebei Area, China case study[J]. Scientific Reports, 2020,10(1):1336-1345.

[9] 高玄或.地貌形态分类的数量化研究[J].地理科学,2007,27(1):109-114.

[10] 姚梦园,晏实江,吴艳兰.地形对大别山区农村住房空间分布格局的影响[J].浙江大学学报(理学版),2017,44(2):228-234.

[11] MokarramaM, HojatiM. Landformclassificationusing a sub-pixelspatialattractionmodelto increase spatial resolution of digital elevation model (DEM) [J]. The Egyptian Journal of remote Sensing and Spaces Ciencias, 2018,21(1):111-120.

[12] Cheng W M, Zhou C H, Li B Y, et al. Structure and contents of layered classification system of digital geomorphology for China[J]. Journal of Geographical Sciences, 2011,21(5):771-790.

[13] 李炳元,潘保田,程维明,等.中国地貌区划新论[J].地理学报,2013,68(3):291-306.

[14] 陈志明.中国地貌区划图[M].北京:农业出版社,1991:10-13.

[15] 程维明,周成虎,李炳元,等.中国地貌区划理论与分区体系研究[J].地理学报,2019,74(5):839-856.

[16] 甘枝茂,惠振德.中国秦岭大巴山地质地貌图[M].西安:陕西人民出版社,1989.

[9] 张千千,李向全,王效科,等.城市路面降雨径流污染特征及源解析的研究进展[J].生态环境学报,2014,23(2):352-358.

[10] 任玉芬,王效科,韩冰,等.城市不同下垫面的降雨径流污染[J].生态学报,2005,25(12):3225-3230.

[11] 李青云.北京典型村镇降雨径流水文,水质及污染特性的研究[D].北京:北京交通大学,2011.

[12] 赵越.面向河流生境改善的水库调度建模理论与方法研究[D].武汉:华中科技大学,2014.

[13] Mulholland P J. Design and maintenance of residential streets[J]. Pakistan Journal of Agricultural Sciences, 1983, 48(1):55-58.

[14] Bouraoui F, Dillaha T A. ANSWERS-2000;Runoff and sediment transport model[J]. Journal of Environmental Engineering, 1996,122(6):493-502.

[15] Soonthornnonda P, Christensen E R, Liu Y, et al. A washoff model for stormwater pollutants[J]. Science of the Total Environment, 2008,402(2/3):248-256.

[16] 张超.基于改进型 SWMM 和单位投资环境效益的截流倍数优选[D].武汉:武汉理工大学,2013.

[17] 任俊雯,梁小光,陶涛,等.基于运动波方程的地面集水时间计算及参数研究[J].中国给水排水,2019,35(1):118-122.

[18] 袁宏林,熊壮,张路明,等.降雨特征与地表径流和雨水管内径流污染物变化特征[J].安全与环境学报,2018(4):1593-1597.

[19] 马英.城市降雨径流面源污染输移规律模拟及初始冲刷效应研究[D].广州:华南理工大学,2012.

[20] 汪楚乔,陈柔君,吴磊,等.典型村落不同下垫面降雨径流污染物积累与冲刷规律[J].净水技术,2018,37(4):21-27.

[21] 李俊奇,戚海军,宫永伟,等.降雨特征和下垫面特征对径流污染的影响分析[J].环境科学与技术,2015,38(9):47-52.

[22] 李畅.南宁市初期雨水径流污染特征研究[D].南宁:广西大学,2016.

[23] 彭亮.武汉市白沙洲大道雨水径流水质特征及污染物指标相关性分析[D].武汉:武汉科技大学,2013.

[24] 张杰,王洪禧,刘俊良.雨水污染物相关性研究[J].河北建筑工程学院学报,2006,24(1):23-25.

[25] 车伍,张伟,李俊奇.城市初期雨水和初期冲刷问题剖析[J].中国给水排水,2011,27(14):9-14.

[26] 廖雷.城市初期径流雨水水量与截留池容积计算方法的研究[D].长沙:湖南大学,2015.

[27] 车伍,刘燕,欧岚,等.城市雨水径流面污染负荷的计算模型[J].中国给水排水,2004,20(7):56-58.



(上接第 132 页)

[17] 齐矗华,甘枝茂,惠振德,等.太白山及其邻近地区冰川地貌的基本特征[J].陕西师大学报:自然科学版,1985(4):53-70.

[18] 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.

[19] 张珊,查小春,刘恺云.基于地貌区划的秦巴山区地性线密度系数空间分布特征[J].陕西师范大学学报:自然科学版,2020,48(1):32-39.

[20] Liu D, Chen H, Zhang H, et al. Spatiotemporal evolution of landscape ecological risk based on geomorphological regionalization during 1980—2017: A case study of Shaanxi Province, China[J]. Sustainability, 2020, 12(3):941-956.

[21] 陈学兄,常庆瑞,毕如田,等.地形起伏度最佳统计单元算法的比较研究[J].水土保持研究,2018,25(1):52-56.

[22] 舒天竹,王晓红.基于 3S 技术的地形起伏度与区域土壤侵蚀的相关性研究[J].水土保持研究,2017,24(4):127-132.

[23] 王丽娜,丁文广,许丹阳.基于 DEM 的甘肃省地貌形态特征分类[J].水土保持通报,2019,39(1):258-263.

[24] 齐威,刘爱利,张雯.中国地形三大阶梯面向对象的定量划分[J].遥感信息,2017,32(2):43-48.

[25] 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.

[26] 周成虎,程维明,钱金凯,等.中国陆地 1:100 万数字地貌分类体系研究[J].地球信息科学学报,2009,11(6):707-724.

[27] 莫申国.基于 DEM 的秦岭数字地貌格局研究[J].华东师范大学学报:自然科学版,2008(2):8-14.