

陕西省地形起伏度最佳计算单元研究

陈学兄¹, 张小军², 常庆瑞³

(1. 山西农业大学 资源环境学院, 山西 太谷 030801; 2. 山西农业大学 园艺学院, 山西 太谷 030801; 3. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 确定陕西省地形起伏度最佳计算单元, 分析地形起伏度的空间分布规律, 为地貌类型划分提供基础数据。[方法] 以陕西省 90 m × 90 m 的航天飞机雷达地形测绘使命 (SRTM) 数字高程模型 (DEM) 数据为基础, 首先利用邻域统计分析法 [矩形邻域选取 2×2, 3×3, 4×4, …, 35×35 共 34 个不同大小的邻域窗口, 圆形邻域窗口选取 20 个 (邻域半径 R 为 2~21)] 对陕西省地形起伏度进行提取, 然后统计不同矩形窗口和圆形窗口下的各种地形起伏度类型所占面积比例, 接着运用均值变点分析法计算最佳计算单元, 最后完成陕西省地形起伏度分级图的绘制, 并对地形起伏度特征进行分析。[结果] 不同地形起伏度类型所占面积比例的变化各有不同。按矩形邻域计算的地形起伏度最佳计算单元为 12×12, 对应面积为 898 704 m², 按圆形邻域计算的地形起伏度最佳计算单元为 R=8, 对应面积为 1 254 191.4 m², 这说明在使用邻域分析法提取地形起伏度时, 采用圆形邻域有别于采用矩形邻域。陕西省地形总体较平缓, 主要以小起伏、中起伏为主。[结论] 简单实用的均值变点分析法, 是确定最佳计算单元的一种较为理想的方法。

关键词: 土壤侵蚀; 航天飞机雷达地形测绘使命; 数字高程模型; 地形起伏度; 最佳计算单元; 陕西省

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2016)03-0265-06

中图分类号: P931, S157

文献参数: 陈学兄, 张小军, 常庆瑞. 陕西省地形起伏度最佳计算单元研究[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 265-270. DOI: 10. 13961/j. cnki. stbctb. 2016. 03. 046

A Study on Optimal Statistical Unit for Relief Amplitude of Land Surface in Shaanxi Province

CHEN Xuexiong¹, ZHANG Xiaojun², CHANG Qingrui³

(1. College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China; 2. College of Horticulture, Shanxi Agricultural University, Taigu, Shanxi 030801, China; 3. College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] To determine the optimal statistical unit, analyze the spatial distribution of topographical relief in Shaanxi Province in order to provide basic data for the classification of geomorphic types. [Methods] Based on the 90 m resolution SRTM (shuttle radar topography mission), DEM (digital elevation model data), the relief amplitude of Shaanxi Province was extracted with neighborhood statistics analysis. We selected 34 rectangular neighborhood windows (2×2, 3×3, 4×4, …, 35×35) and 20 circular neighborhood windows (the radius ranged from 2 to 21), and calculated the ratio of relief amplitude at different rectangular windows and circular windows. The optimal calculation unit was calculated by using the mean change-point analysis method. Classification map of relief amplitude in Shaanxi Province was obtained, and the features of relief amplitude were analyzed. [Results] The ratios of different topographic relief types varied greatly. The optimal statistical unit at rectangular neighborhood was 12×12, with an area of 898 704 m², while the optimal statistical unit at circular neighborhood was R=8, with an area of 1 254 191.4 m², indica-

收稿日期: 2015-10-26

修回日期: 2015-12-01

资助项目: 山西农业大学引进人才博士科研启动项目“多尺度 DEM 提取地形起伏度的对比分析: 以山西省为例”(2014YJ02); 国家“863”计划项目(2013AA102401-2)

第一作者: 陈学兄(1986—), 女(汉族), 青海省乐都县人, 博士, 讲师, 主要从事基于 GIS 的水土流失评价研究。E-mail: chenxx0505@126.com。

通讯作者: 常庆瑞(1959—), 男(汉族), 陕西省子洲县人, 硕士, 教授, 博导, 主要从事资源环境与“3S”技术应用研究。E-mail: changqr@nwsuaf.edu.cn。

ting that the circular neighborhood was different from the rectangular neighborhood. Generally, the terrain in Shaanxi Province was relatively flat, and the relief amplitude was mainly at small and medium level. [Conclusion] The mean change-point analysis is an ideal method to determine the optimal statistical unit.

Keywords: soil erosion; shuttle radar topography mission; digital elevation model; relief amplitude; best calculation unit; Shaanxi Province

水土流失是土地退化的主要原因,也是生态环境恶化的重要因素^[1]。陕西省是中国水土流失、沙化等环境问题最严重的地区之一,水土流失面积占全省土地总面积的 66.9%,是制约区域经济发展的重要因素^[2]。水土流失发生和发展的潜在条件主要有气候、土壤、地形、地质、植被等。地形对水土流失的影响包括坡度、坡长、坡向、坡形及地形起伏度等因素的影响^[3],其中地形起伏度又是区域水土流失评价的地形指标^[4]。为此,选用适用于区域尺度的 90 m×90 m SRTM DEM 数据,对陕西地形起伏度进行准确地提取,是开展水土流失定量评价的基础性工作。

地形起伏度(relief amplitude)是指在某一个确定面积内最大高程与最小高程之差^[5]。它是定量描述地貌形态、划分地貌类型的重要指标,是描述一个区域地形特征的宏观性指标,它反映地面的起伏状况和切割程度。近年来,地形起伏度被广泛应用于土壤侵蚀敏感性评价、区域滑坡灾害评价、水土流失定量评价、地质环境质量评价等方面^[4,6-9]。利用数字高程模型(digital elevation model, DEM)为基本数据进行地形起伏度的提取与分析,是获取所需地表信息的快速有效手段^[5]。目前,利用 DEM 对地形起伏度的提取已有一些研究成果^[4,10-15],已有研究发现不同地区、不同地貌类型对应不同的地形起伏度最佳分析区域。鉴于此,本研究利用邻域分析法对陕西省地形起伏度因子进行了提取,为避免主观因素的影响,选用均值变点分析法确定陕西省地形起伏度的最佳计算单元,并对其地形起伏度特征进行了分析,以期为地貌类型划分提供基础数据,也为地形起伏度的进一步研究和应用提供参考。

1 研究区概况

陕西省地处中国西北地区(105°29′—111°15′E, 31°42′—39°35′N),东邻山西、河南省,西连宁夏、甘肃省,南抵四川、重庆、湖北省,北接内蒙古,居于连接中国东、中部地区和西北、西南的重要位置。陕西省地域狭长,地势南北高,中间低,有高原、山地、平原和盆地等多种地形,全省总面积为 2.058×10⁵ km²。研究区横跨 3 个气候带,南北气候差异较大。陕南属北亚热带气候,关中及陕北大部属暖温带气候,陕北

北部长城沿线属中温带气候。年平均降水量 340~1 240 mm,降水南多北少,陕南为湿润区,关中为半湿润区,陕北为半干旱区。

2 材料与方法

2.1 数据来源与处理

本研究的基础数据为:全国数字高程模型(SRTM DEM,90 m 分辨率),数据采样格网大小为 79 m,其数据格式为 ArcGIS 的 Grid 格式,地理坐标系为:WGS_1984_Albers;陕西省矢量边界图,其地理坐标系与 SRTM DEM 数据相同,利用该矢量边界图从全国 DEM 栅格数据上截取出陕西省范围的 DEM 数据。

2.2 研究方法

2.2.1 邻域分析法 地形起伏度的提取利用邻域分析法进行。邻域统计计算过程中的分析窗口有矩形、圆形、环形和扇形共 4 种^[16]。本文选取矩形窗口和圆形窗口,矩形窗口大小为 $n \times n$ 像元($n=2,3,4,\dots,35$),圆形窗口的邻域半径 R 为 2~21。计算过程为(以矩形窗口为例):首先统计 $n \times n$ 窗口内像元的最大值(max)与最小值(min);然后计算出最大值与最小值的差值,该差值即为 $n \times n$ 窗口的地形起伏度值;接着用 $n \times n$ 窗口的地形起伏度栅格数据统计各窗口下的平均起伏度值(表 1)。利用同样的计算步骤对圆形邻域窗口下的陕西省地形起伏度进行计算,结果见表 2。

2.2.2 确定最佳计算单元 地形起伏度研究的关键是确定最佳计算单元^[5],即得出一定面积,能恰到好处地反映地貌体的完整性,并具有一定范围内较强的代表性,即普适性。目前,国内关于这方面的研究也越来越受到关注,且取得了一些研究成果^[4,10-15],如刘新华等^[4]利用 1:100 万 DEM 数据分析中国水土流失地形因子时,确定的地形起伏度的最佳计算单元为 5 km×5 km;高守英等^[10]利用 1:1 万的 DEM 数据分析龙口市冰汶河流域的地貌形态时,使用的最佳计算单元为 2.5 km×2.5 km;唐飞等^[11]利用 1:25 万的 DEM 数据提取新疆克拉玛依地区地形起伏度时,得出准格尔盆地及其西北山区地形起伏度计算的最佳单元为 20×20 的网格大小(即 4 km²);王

玲等^[12]利用 1:25 万 DEM 数据计算得出 8×8 的网格大小(2.56 km²)为新疆地形起伏度计算的最佳单元,并绘制了新疆地形起伏度分级图;王岩等^[13]利用贵德地区 1:5 万地形图等高线数据,分析得到该地区地形起伏度计算的最佳单元为 400 m×400 m,并制作了地形起伏度专题图;曹伟超等^[14]利用 ASTER GDEM 数据,得到了整个西南地区 19 种地貌类型的分布图,同时得出 2.34 km² 为西南地区地形起伏度计算的最佳单元;郎玲玲等^[15]基于 1:25 万和 1:10 万的 DEM 分析了福建省地形起伏度最佳计算单元的大小,得出对于福建地区 1:25 万 DEM 下,4.41 km² 为最佳计算单元,而 1:10 万 DEM 下,0.4 km² 为最佳计算单元。可见不同地区、不同分辨率 DEM、不同

DEM 数据类型,所使用的最佳计算单元大小是有区别的。

3 结果与分析

3.1 邻域面积与地形起伏度关系分析

对不同矩形邻域所对应的面积进行了计算,结果见表 1。从表 1 可知,最大起伏度起初随着邻域面积的增大而迅速增大,但当达到一定的阈值时其增大的趋势逐渐平缓,变化幅度不是很稳定,而平均起伏度在邻域面积达到一定大小时,其变化幅度是很平稳的;同样对不同圆形邻域所对应的面积进行了计算,结果见表 2。圆形邻域窗口下的最大起伏度及平均起伏度的变化趋势与矩形邻域窗口下的比较相似。

表 1 矩形邻域面积与地形起伏度关系

窗口大小	2×2	3×3	4×4	5×5	6×6	7×7	8×8	9×9	10×10
邻域面积/m ²	24 964	56 169	99 856	156 025	224 676	305 809	399 424	505 521	624 100
最大起伏度/m	471	522	583	629	743	798	881	971	1 049
平均起伏度/m	32.53	60.08	83.51	103.82	121.76	137.91	152.64	166.22	178.83
窗口大小	11×11	12×12	13×13	14×14	15×15	16×16	17×17	18×18	19×19
邻域面积/m ²	755 161	898 704	1 054 729	1 223 236	1 404 225	1 597 696	1 803 649	2 022 084	2 253 001
最大起伏度/m	1 120	1 148	1 148	1 170	1 215	1 283	1 346	1 377	1 406
平均起伏度/m	190.62	201.70	212.17	222.10	231.55	240.57	249.21	257.49	265.46
窗口大小	20×20	21×21	22×22	23×23	24×24	25×25	26×26	27×27	28×28
邻域面积/m ²	2 496 400	2 752 281	3 020 644	3 301 489	3 594 816	3 900 625	4 218 916	4 549 689	4 892 944
最大起伏度/m	1 432	1 464	1 495	1 517	1 525	1 541	1 548	1 560	1 566
平均起伏度/m	273.13	280.54	287.69	294.62	301.34	307.85	314.18	320.34	326.33
窗口大小	29×29	30×30	31×31	32×32	33×33	34×34	35×35		
邻域面积/m ²	5 248 681	5 616 900	5 997 601	6 390 784	6 796 449	7 214 596	7 645 225		
最大起伏度/m	1 593	1 632	1 663	1 668	1 685	1 692	1 699		
平均起伏度/m	332.17	337.86	343.41	348.84	354.15	359.34	364.42		

表 2 圆形邻域面积与地形起伏度关系

窗口半径(R)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
邻域面积/m ²	78 387	176 371	313 548	489 919	705 483	960 240	1 254 191	1 587 336	1 959 674	2 371 206
最大起伏度/m	545	671	771	909	1 063	1 102	1 170	1 291	1 362	1 463
平均起伏度/m	78.97	112.98	138.42	165.79	185.12	202.28	220.48	237.37	253.25	265.80
窗口半径(R)	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
邻域面积/m ²	2 821 931	3 311 849	3 840 961	4 409 267	5 016 765	5 663 458	6 349 344	7 074 423	7 838 696	8 642 162
最大起伏度/m	1 517	1 541	1 589	1 632	1 668	1 692	1 704	1 723	1 740	1 742
平均起伏度/m	277.50	291.48	302.94	314.58	324.09	334.36	343.83	353.41	362.75	370.52

3.2 各种类型地形起伏度变化分析

根据中国 1:100 万数字地貌制作规范^[17]可对地形起伏度做如下划分:平原(≤30 m)、台地(30~70 m)、丘陵(70~200 m)、小起伏山地(200~500 m)、中起伏山地(500~1 000 m)、大起伏山地(1 000~2 500 m)、极大起伏山地(>2 500 m)。因研究区域地形起伏度均

小于 2 500 m,所以地形起伏度可划分为平原、台地、丘陵、小起伏山地、中起伏山地及大起伏山地 6 种类型。按此划分标准对陕西省不同矩形窗口和圆形窗口下的地形起伏度进行分级,统计每种地形起伏度类型的面积,并绘制每种地形起伏度类型所占面积百分比随邻域窗口增大的变化曲线图(如图 1 所示)。

从图 1a 可以看出,每个级别所占面积比例的变化各有不同。其中,地形起伏度小于 30 m 的平原地区、30~70 m 之间的台地,其所占面积比例随邻域窗口增大呈逐渐减少的趋势;70~200 m 之间的丘陵地区,所占面积比例随邻域窗口增大呈先增后减的趋势,邻域窗口为 5×5 时,丘陵所占面积比例达到峰值,占全区面积的 56.44%;对于 200~500 m 之间的小起伏山地,所占面积比起初随邻域窗口增大而迅速增大,但当邻域窗口为 12×12 时,增加趋势很平缓,增幅很小;对于 500~1 000 m 之间的中起伏山地,起初所占面积极少,当邻域窗口达到 8×8 之后,随邻域窗口增大呈明显上升趋势;对于地形起伏度大于 1 000 m 的大起伏山地,起初所占面积为 0,当邻域窗口达到 22×22 之后,随邻域窗口增大呈现缓慢增加的趋势。

由图 1b 得知,矩形邻域和圆形邻域两种情况下各种地形起伏度所占面积比例的变化趋势大致相同,

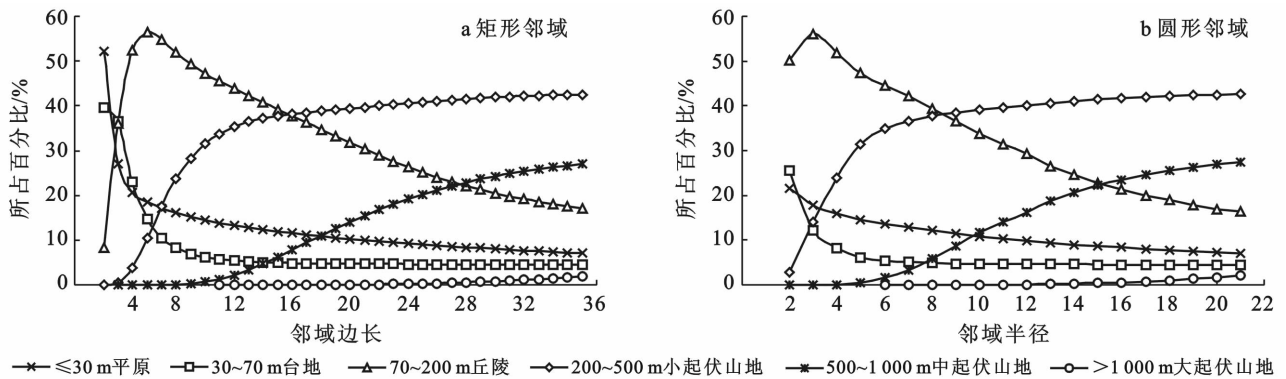


图 1 地形起伏度类型面积百分比的变化曲线

3.3 确定最佳尺度地形起伏度

3.3.1 最佳计算单元确定原则 地形起伏度最佳计算单元需要满足山体完整性和区域普适性原则^[5]。山体完整性原则,即统计区域需能恰当地反映山体的完整性。以山体上的任一点为邻域中心,随着邻域范围的增加,会将更大和更小的山体包括进来,使区域内高程极值范围发生改变,目标栅格点起伏度也随着发生变化。这个高差值一般随着分析窗口的增大而增大,当范围增加到把整个山体都包括时,高差值的增幅变得较小,将地形起伏度增加幅度由大变小的尺度定义为变点,变点所对应的尺度即为最佳计算单元,这一尺度下的地形起伏度,恰到好处地反映了山体的起伏状况,要提取适合一个地区的计算单元,需将满足最大山体山体完整性的计算单元求出,此计算单元一定会满足较小山体的山体完整性原则,从而达到区域普适性的要求。

3.3.2 确定最佳计算单元 确定一个合适的分析区

但也略有差异。地形起伏度介于 70~200 m 之间的丘陵地区,所占面积比例的最高值出现在邻域面积为 0.1764 km^2 ($R=3$) 对应的位置上,较矩形邻域对应的 0.1560 km^2 大,所占面积比例为 55.92%;地形起伏度在 200~500 m 之间的小起伏山地,所占面积比例在邻域面积为 0.96024 km^2 ($R=7$) 时,其增加趋势开始平缓的,比矩形邻域下的 0.8987 km^2 (12×12) 大,所占面积比例为 36.65%;地形起伏度在 500~1 000 m 之间的中起伏山地,起初所占面积也为 0,当 $R=4$ 时,随邻域窗口增大呈明显上升趋势,所对应的邻域面积为 0.31355 km^2 ,较矩形邻域下的 0.399424 km^2 (8×8) 小;圆形邻域下在对应面积为 3.311849 km^2 ($R=13$) 的位置出现地形起伏度大于 1 000 m 的情况,而在矩形邻域下这个面积为 3.02064 km^2 (22×22)。上述结果表明,使用邻域窗口分析法提取地形起伏度时,圆形邻域有别于矩形邻域。

域或分析窗口半径,使得在宏观范围内的起伏度能够准确地反映地面的起伏状况,是地形起伏度提取中的核心步骤和决定区域起伏度信息提取效果与有效性的关键^[15]。起伏度随邻域面积的变化曲线呈逻辑斯蒂克曲线^[12],最佳计算单元的大小确定即在该曲线由陡变缓处。利用 Excel 软件的统计功能对表 1 中的邻域面积与平均起伏度及表 2 中的邻域面积与平均起伏度分别进行对数方程拟合,得出拟合曲线(图 2)。图 2 中 x 轴为邻域面积; y 轴为平均起伏度。由图 2 可见,矩形邻域窗口下的平均起伏度与邻域面积的拟合曲线为 $y=62.002 \ln(x)-64.032$,决定系数 $R^2=0.9829$,而圆形邻域窗口下的平均起伏度与邻域面积的拟合曲线为 $y=64.586 \ln(x)-79.747$,决定系数 $R^2=0.9864$,拟合效果要比矩形邻域的好一些。

一般依靠目视判断来确定拟合曲线上由陡变缓的这一点,但目视判断易受主观因素的影响,所以本研究选用统计学上的均值变点分析法来计算所拟合

的曲线上由陡变缓的这一点,均值变点分析法对恰有 1 个变点的检验最为有效,已被国内学者用于计算地形起伏度最佳单元^[12]。所谓的变点是指模型或输出序列在某未知时刻起了突然变化,该时刻即为系统的变点,均值变点分析的目的在于判断和检验变点的存在位置,并估计出变化的跃度^[12]。

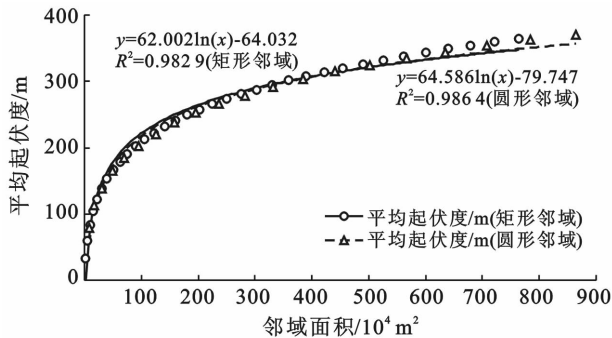


图 2 邻域面积与平均地形起伏度对应关系拟合

在使用均值变点分析法计算变点之前,先要对表 1—2 中的数据分别进行一些处理,以构建一个样本序列,在此以表 1 数据为例说明其计算过程:

(1) 利用公式(1)计算各个分析窗口下单位面积上的地势大小序列 T (单位地势度):

$$T_i = t_i / s_i \quad (i=2, 3, 4, \dots, 35) \quad (1)$$

式中: T_i ——分析窗口下的单位地势度; t_i ——分析窗口下的平均起伏度; s_i ——分析窗口的邻域面积 (m^2); i ——矩形邻域的边长(m)。

(2) 对序列 T 取对数 $\ln(T)$, 得序列 X , $X = \{x_i, i=1, 2, 3, \dots, 34\}$ 。

(3) 在上述处理的基础上,利用公式(2)计算样本序列 X 的算术平均值 \bar{X} , 利用公式(3)和(4) 分别计算样本序列 X 的统计量 S 与 S_i 的值, 计算得出 $S_{\text{矩形}} = 29.48$, S_i 值如表 3 所示。 S_i 值计算过程如下: 首先, 令 $i=2, \dots, N$, 对每个 i 将样本 x_i 分为两段: x_1, x_2, \dots, x_{i-1} 和 x_i, x_{i+1}, \dots, x_N 。 然后计算每段样本的算术平均值 \bar{X}_{i1} 和 \bar{X}_{i2} 及统计量:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (2)$$

$$S = \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{X})^2 \quad (3)$$

$$S_i = \sum_{i=1}^{i-1} (x_i - \bar{X}_{i1})^2 - \sum_{i=i}^N (x_i - \bar{X}_{i2})^2 \quad (4)$$

式中: \bar{X} ——总体样本的算术平均值; N ——总的样本个数; S ——总的离差平方和; S_i ——两段样本的离差平方和之差。使用上述计算过程对表 2 中的数据进行计算, 得出 $S_{\text{圆形}} = 15.94$ 。 S_i 值如表 3 所示。

表 3 均值变点分析的统计结果

序列点号(i)	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S_i (矩形邻域)	24.78	20.62	17.13	14.16	11.59	9.33	7.30	5.46	3.76	2.18	0.68
S_i (圆形邻域)	11.54	8.39	6.01	4.04	2.39	0.93	0.40	1.64	2.83	3.98	5.13
序列点号(i)	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
S_i (矩形邻域)	0.75	2.13	3.46	4.76	6.04	7.30	8.56	9.80	11.05	12.29	13.54
S_i (圆形邻域)	6.26	7.40	8.55	9.72	10.91	12.12	13.37	14.63	—	—	—
序列点号(i)	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
S_i (矩形邻域)	14.79	16.07	17.34	18.63	19.93	21.25	22.58	23.92	25.29	26.67	28.07

利用统计软件做出 S 与 S_i 差值的变化曲线(图 3)。由图 3 可看出矩形邻域分析法在第 11 个点时 S 与 S_i 的差值达到了最大, 而圆形邻域分析法在第 7 点时 S 与 S_i 的差值最大, 这一点就是所要求的点。

由此得出, 基于 $90\text{ m} \times 90\text{ m}$ SRTM DEM 数据的陕西省地形起伏度最佳计算单元大小为 12×12 和 $R=8$ 两个尺度。

3.4 地形起伏度特征分析

附图 12 为最佳计算单元(12×12 和 $R=8$)地形起伏度分级图, 从分级图可清晰的看出陕西地区地形起伏的分布格局。

统计两种邻域计算方法得出的最佳尺度地形起伏度各种类型所对应的像元数及面积百分比(如表 4 所示)。

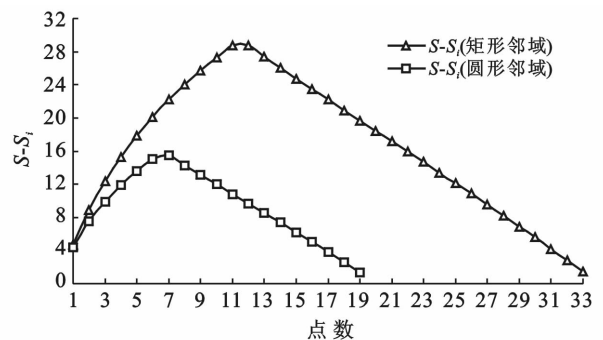


图 3 S 与 S_i 差值的变化曲线

矩形邻域和圆形邻域的多尺度地形起伏度计算方法十分类似, 只是邻域范围的设定方法有所不同, 最佳尺度所对应的面积相差 $0.355\ 487\text{ km}^2$ 。由附图 12 可看出, 平原、丘陵、山地的分界线清晰可见, 陕西

省地形起伏度以小、中起伏为主,微起伏次之;小起伏主要分布在陕北及铜川、咸阳及宝鸡北部一带,汉中、商洛及安康地区分布较少;中起伏主要分布在陕南地区、关中西南地区,在咸阳、延安地区和宝鸡地区北部一带均有分布,但较少;大起伏主要分布在陕南一带。

从表 4 可看出,最佳尺度地形起伏度各种类型所占面积比例十分接近,只是最佳计算单元大小为 12×12 时,其平坦、微起伏及小起伏所占面积比例比

$R=8$ 时大一些,而其他起伏所占面积比例小一些。小起伏山地和中起伏山地的总面积占研究区面积的 $2/3$ 之余,平坦面积占研究区面积的 $1/10$ 之余,而微起伏与大起伏山地所占比例相当,面积比例都较小,极大起伏山地所占比例最小,在矩形邻域下像元仅有 83 个,这说明研究区局部地形起伏度较大,主要以中、小起伏为主,总体上地形较平缓,多为平原、丘陵及小起伏山地。

表 4 各级地形起伏度所对应的像元数及面积百分比

最佳统计单元	项目	0~30 m	30~70 m	70~200 m	200~500 m	500~1 000 m	>1 000 m	总和
		平坦	微起伏	小起伏	中起伏	大起伏	极大起伏	
矩形邻域(12×12)	像元数	4 300 527	1 733 185	14 196 926	12 263 339	1 120 266	83	33 614 326
	面积百分比/%	12.79	5.16	42.23	36.48	3.33	0.000 25	100
圆形邻域($R=8$)	像元数	4 063 847	1 641 772	13 258 255	12 723 333	1 977 646	388	33 665 241
	面积百分比/%	12.07	4.88	39.38	37.79	5.87	0.001 15	100

4 讨论与结论

(1) 利用邻域分析法提取不同矩形窗口和圆形窗口下的地形起伏度,并统计不同矩形窗口和圆形窗口下的每种地形起伏度类型所占面积比例,分析得出不同地形起伏度类型所占面积比例的变化各有不同。

(2) 对邻域面积与平均地形起伏度进行对数方程拟合,从拟合曲线(图 2)得知,拟合效果较好,且圆形邻域面积与其平均起伏度的拟合效果要比矩形邻域的好,这意味着圆形邻域下地形起伏度划分的结果较矩形邻域更接近实际面积,但还需要进一步研究。

(3) 运用均值变点分析法确定了地形起伏度的最佳计算单元,该方法清晰直观、易于分析,对只有 1 个突变点的检验最有效,其结果也较为理想。通过此方法得到陕西地区按矩形邻域窗口计算的地形起伏度最佳尺度为 12×12 ($898\ 704\ \text{m}^2$);按圆形邻域计算的地形起伏度最佳尺度为 $R=8$ ($1\ 254\ 191.4\ \text{m}^2$),圆形邻域有别于矩形邻域。

(4) 利用最佳计算单元输出陕西地形起伏度分级图,通过统计分析,可知陕西地区以小起伏、中起伏为主,二者总面积占研究区面积的 $2/3$ 之余,这说明地形起伏整体较平缓,多为平原、丘陵及小起伏山地。

[参 考 文 献]

[1] 彭珂珊. 水土流失是生态环境恶化的根源[J]. 地质灾害与环境保护, 2001, 12(2): 25-31.

[2] 中华人民共和国水利部. 全国水土流失公告[R]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2002.

[3] 王占礼. 中国土壤侵蚀影响因素及其危害分析[J]. 农业工程学报, 2000, 16(4): 32-36.

[4] 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.

- [5] 涂汉明, 刘振东. 中国地势起伏度最佳统计单元的求证[J]. 湖北大学学报: 自然科学版, 1990, 12(3): 266-271.
- [6] 徐天献, 王玉宽, 傅斌. 汶川地震重灾区土壤侵蚀敏感性评价[J]. 中国水土保持, 2011(1): 39-42.
- [7] 祁元, 刘勇, 杨正华, 等. 基于 GIS 的兰州滑坡与泥石流灾害危险性分析[J]. 冰川冻土, 2012, 34(1): 96-104.
- [8] 马晓微, 杨勤科. 基于 GIS 的中国潜在水土流失评价指标研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(2): 41-44.
- [9] 闫满存, 李华梅, 王光谦. 广东沿海陆地地质环境质量定量评价研究[J]. 工程地质学报, 2000, 8(4): 416-425.
- [10] 高守英, 吴泉源, 安国强. 基于 GIS 的龙口市泳汶河流域地貌形态定量分析[J]. 遥感技术与应用, 2003, 18(2): 87-90.
- [11] 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研究[J]. 干旱区地理, 2006, 29(3): 388-392.
- [12] 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.
- [13] 王岩, 刘少峰. 基于 DEM 的青海贵德地区地形起伏度的研究[J]. 地质通报, 2008, 27(12): 2117-2121.
- [14] 曹伟超, 陶和平, 孔博, 等. 基于 DEM 数据分割的西南地区地貌形态自动识别研究[J]. 中国水土保持, 2011(3): 38-41.
- [15] 郎玲玲, 程维明, 朱启疆, 等. 多尺度 DEM 提取地势起伏度的对比分析: 以福建低山丘陵区为例[J]. 地球信息科学, 2007, 9(6): 1-6.
- [16] 陈述彭, 鲁学军, 周成虎. 地理信息系统导论[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 15-75.
- [17] 中国科学院地理研究所. 中国 1: 1000000 地貌图制图规范(试行)[M]. 北京: 科学出版社, 1987: 33-34.