

坡度与水平分辨率关系的初步研究

刘红艳¹, 杨勤科^{2,3}, 牛亮², 王春梅³, 李俊¹

(1. 西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨陵 712100; 2. 西北大学 城市与环境学院, 西安 710069; 3. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

摘要:结合数字地形分析和常规统计方法,研究了县南沟流域 DEM 水平分辨率与坡度值的关系。研究表明:随着水平分辨率的降低,流域平均坡度值下降;地形特征点坡度呈现出随机性;沟沿线坡度随分辨率降低呈衰减趋势,分水线和流水线坡度相对缓慢降低。负地形坡度衰减速度大于正地形。

关键词:数字高程模型;地形分析;分辨率;地形特征点

中图分类号:S157.1;TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2010)04-0034-04

Relationships between DEM-derived Slope and Horizontal Resolution

LIU Hong-yan¹, YANG Qin-ke^{2,3}, NIU Liang², WANG Chun-mei³, LI Jun¹

(1. College of Resources and Environment, Northwestern A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. College of Urban and Environmental Science, Northwest University, Xi'an 710069, China; 3. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences And Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Taking Xiannangou watershed as the test area, this paper studied the relationships between DEM-derived slope and horizontal resolution by using terrain analysis and statistical method. The main conclusions are as follows: with DEM resolution decreasing, mean slope decreases; slope at single point shows uncertainty; slope at edgeline decreases sharply, slope at borderline and streamline decreases slowly. Slope at negative terrain decreases more sharply than positive terrain.

Key words: DEM; terrain analysis; resolution; topographic feature point

坡度是地形的基本特征,是流域水文、土壤侵蚀的主要影响因素,也是众多水文和侵蚀模型的参数^[1-3]。利用 DEM 提取坡度是进行流域和区域尺度的水文和土壤侵蚀研究的基础^[4-6]。已有一系列研究表明,从 DEM 中提取地形特征依赖于水平分辨率,基于 DEM 提取的坡度受到分辨率的强烈影响。Chang 和 Tsai 通过生成 8~80 m 分辨率 DEM 分析了 DEM 分辨率对坡度的影响^[7]。Wolock 对 50 个地区 100~1 000 m 分辨率 DEM 提取的坡度进行分析,结果表明:1 000 m 分辨率上提取的坡度值比 100 m 分辨率 DEM 上提取的坡度值小^[8]。国内学者汤国安等、郝振纯也做了相关研究,探讨坡度与分辨率关系^[9-10];杨昕研究了局部样点的坡度与分辨率的关系^[11]。已有对尺度效应的研究,较多重视了流域或者区域平均坡度与水平分辨率的关系,对于地形特征点、地形特征线以及正负地形坡度变化注意不够。

本文以陕西省县南沟流域为研究区,基于 1:1 万地形图数据利用 Anudem 软件生成多种分辨率的 DEM 数据,以 Arc/Info 软件为工具,提取出地形特征点、地形特征线和正负地形,然后对其上的坡度信息与分辨率关系进行探讨,以期对粗分辨率坡度变换提供理论支持。

1 材料与方法

1.1 研究区域与基础数据

研究区位于陕西省县南沟流域,研究区经纬度为 109°11'15"—109°22'30"E, 36°42'30"—36°47'30"N。流域总面积约 44 km²,平均海拔高度为 1 220 m,最低海拔 1 012 m,最高海拔 1 432 m。属于典型的黄土丘陵沟壑地貌类型,侵蚀切割严重,沟谷系统非常发育。

基础数据为县南沟流域 1:1 万数字地形图,等高距为 5 m。包括等高线数据、高程点数据和河流数

收稿日期:2010-04-24

资助项目:国家重点基础研究发展计划(973)项目(2007CB407203);国家自然科学基金项目(40971173)

作者简介:刘红艳(1985—),女,硕士生,从事 GIS 空间分析及应用研究。E-mail: hylu_85@126.com

通信作者:杨勤科(1962—),男,教授,从事区域水土流失评价及 GIS 地形分析研究。E-mail: qkyang@126.com

据。为了保证 DEM 精度,需要对基础数据进行编辑和修改,包括检查等高线高程错误、等高点错误;水系错误修改;双线河变为单线河等。

1.2 DEM 的建立

以 1:1 万数字地形图为基础,在 Anudem 软件支持下,建立多种分辨率、具有相同空间定位基础的 DEM。Anudem 软件生成 DEM 需要率定的关键参数包括迭代次数、第二糙度系数和分辨率等,在前期研究基础上^[12],迭代次数设置为 40;第二糙度系数设置为 0.7,分别生成 5,10,15,20,25,30,35,40,45,50,55,60,65,70,75,80,85,90,95,100,105,110,115,120,125,130,135,140,145,150,155,160,165,170,175,180,185,190,195,200 m 分辨率的 DEM。

1.3 地形特征及信息提取

本文采用 Arc/Info 中 Slope 函数进行提取。分别对上述分辨率的 DEM 提取坡度,得到相应分辨率的坡度表面。

1.3.1 地形特征点坡度信息提取 依据等高线数据



图 1 县南沟流域沟沿线

1.4 分析方法与指标

借鉴已有尺度效应研究,通过以下方法进行数据分析。

(1)数字地形分析。基于数字高程模型(DEM)进行坡度属性计算和地形特征提取。

(2)统计特征分析。包括统计制图、统计特征值计算和运用回归分析方法分析流域平均坡度与水平分辨率之间的关系。

坡度变率:参照土地利用空间变化速率(时间域),将单位分辨率变化引起的坡度变化的绝对值定义为坡度变率(空间域),用以定量分析坡度随分辨率变化。

$$S_v = \left| \frac{S_r - S_{r'}}{r' - r} \right| \quad (1)$$

式中: S_v ——坡度变率($^{\circ}/m$); S_r, r' ——比较粗分辨率 r' 和较高分辨率 r 对应的坡度, S_v 值越大,说明坡度随分辨率变化越剧烈。

(3)频率和累积频率分布分析。通过在 Matlab

抽样提取出山顶点、山谷点和鞍部点 3 种地形特征点。通过 Arc/Info 的 Sample 命令得出其在各分辨率坡度表面的信息。

1.3.2 地形特征线坡度信息提取 沟沿线是黄土丘陵沟壑区重要的地形特征线,分水线和流水线对于地形地貌研究 also 具有重要意义。在全流域提取出所有分水线、流水线和沟沿线,其中分水线和流水线利用 Arc/Info 水文分析模块自动提取;沟沿线依据等高线数据手工勾绘(图 1)。利用 Arc/Info 中 Arcpoint 命令和 Sample 命令,以其上的坐标点为基础,提取其在各分辨率坡度表面的坡度值信息。

1.3.3 正负地形坡度信息提取 在黄土丘陵沟壑区,正负地形以沟沿线为分界线。沟沿线以上为正地形,主要为梁峁坡面和塬面,地形相对平缓;沟沿线以下为负地形,以沟谷地为主,地形相对较陡。在全流域,依据沟沿线数据提取出正、负地形(图 2),通过 Arc/Info 中 Zonalstats 命令提取正负地形在各分辨率坡度表面的统计特征值。

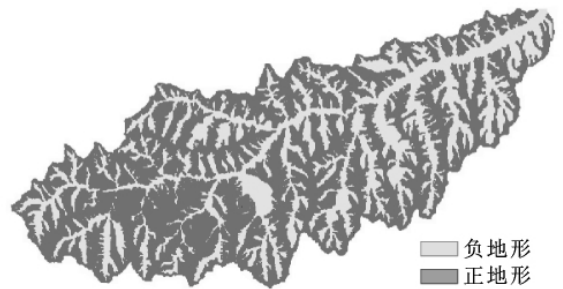


图 2 县南沟流域正负地形

中编写程序,绘制不同分辨率的坡度频率曲线和累积频率曲线。

(4)变异特征分析。变异系数(C_v)的大小反映了坡度的变异程度,采用标准差与平均值之比进行计算。通常认为变异系数 $C_v \leq 0.1$ 时为弱变异性; $0.1 < C_v < 1.0$ 时为中等变异性; $C_v \geq 1.0$ 时为强变异性。

2 结果与分析

2.1 流域坡度

县南沟流域平均坡度与分辨率统计表明(图 3),随着分辨率的降低,平均坡度呈下降趋势。对分辨率与平均坡度进行回归分析,得到二者呈对数关系(式 2)。

$$Y = -6.5794 \ln X + 42.876 \quad R^2 = 0.9749 \quad (2)$$

式中: Y ——地面平均坡度($^{\circ}$); X ——DEM 分辨率(m)。

县南沟流域平均坡度变率与分辨率统计表明(图

4),随着分辨率的降低,平均坡度变率呈减小趋势。从 5~10 m 分辨率,平均坡度变率最大,为 0.35°/m。从 195~200 m 分辨率,平均坡度变率为 0.04°/m。对分辨率与平均坡度变率进行回归分析,得到二者的回归模型。

$$Y=-0.1012\ln X+0.5567 \quad R^2=0.9557 \quad (3)$$

式中:Y——地面平均坡度变率(°/m);X——DEM 分辨率(m)。

选取 5,10,25,50,100,200 m 分辨率 DEM 提取的坡度进行频率曲线和累积频率曲线分析(图 5、图

6)。结果表明:随着分辨率的降低,坡度频率曲线的峰值不断向左移动,即坡度的众数减小、众数对应的坡度频率增加;坡度累积频率曲线向左上方移动,说明随着分辨率的降低,DEM 上提取的缓坡面积不断增加,陡坡面积不断减少,流域坡度整体上呈降低趋势。

如表 1 所示,随着分辨率的降低,坡度平均值、标准差呈现递减趋势,坡度的最小值增加、坡度的最大值减小。这说明粗分辨率 DEM 上表达的地形差异缩小。变异系数均在 0.4 左右,坡度空间变异属于中等变异。

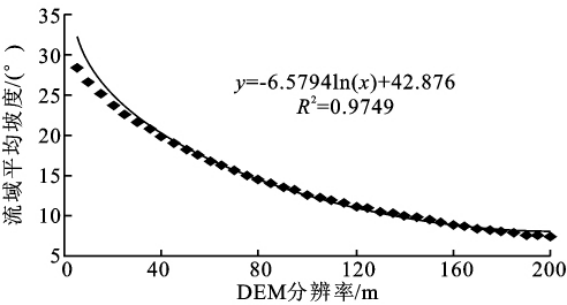


图 3 流域平均坡度与分辨率关系

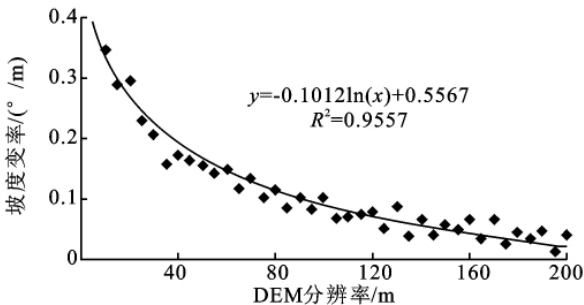


图 4 流域平均坡度变率与分辨率关系

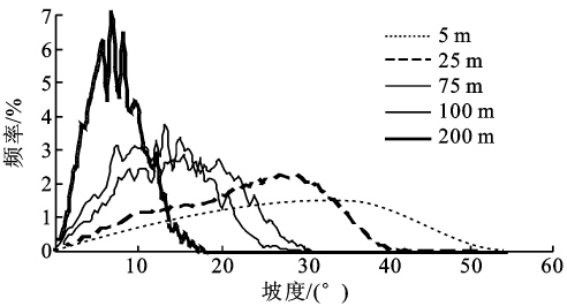


图 5 县南沟流域坡度频率曲线

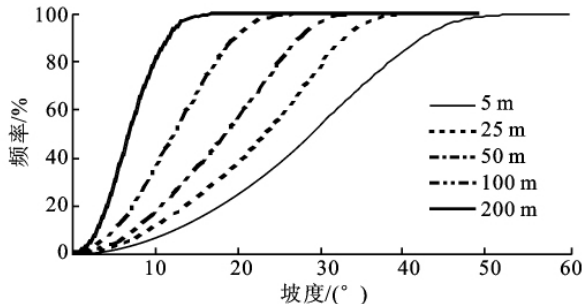


图 6 县南沟流域坡度累积频率曲线

表 1 不同分辨率 DEM 提取坡度的统计值 (°)

项目	分辨率									
	5 m	10 m	25 m	50 m	75 m	100 m	125 m	150 m	175 m	200 m
平均值	28.38	26.65	22.57	18.29	15.08	12.65	10.94	9.49	8.28	7.40
最小值	0.00	0.00	0.02	0.14	0.18	0.24	0.18	0.10	0.38	0.20
最大值	68.57	58.23	45.17	36.66	30.89	30.61	25.56	25.17	20.05	17.73
标准差	11.23	10.15	8.82	7.44	6.36	5.51	4.74	4.19	3.60	3.24
变异系数	0.40	0.38	0.39	0.41	0.42	0.44	0.43	0.44	0.43	0.44

2.2 地形特征点坡度

选取部分山顶点、山谷点和鞍部点坡度与分辨率关系(图 7)进行分析,山顶点坡度与鞍部点坡度随分辨率变化表现出较大的随机性;山谷点坡度随分辨率变化随机性相对小一些,山谷点坡度随分辨率降低呈现出降低的趋势,这是因为山谷点周围地形复杂,坡度较陡。总的趋势是,地形特征点初始坡度值越高,随分辨率变化随机性越小,衰减越快。

2.3 地形特征线坡度

沟沿线、分水线、流水线坡度与分辨率关系(图

8)说明:沟沿线坡度随着水平分辨率降低呈现衰减状,在 100 m 以内,几乎是线性衰减;流水线和分水线坡度相对缓慢下降。三者的坡度衰减速度表现为:沟沿线 > 分水线 > 流水线。

2.4 正负地形坡度

正负地形坡度与分辨率关系曲线(图 9)说明:随着水平分辨率的降低,正负地形坡度均呈降低趋势,其中负地形坡度衰减大于正地形。这种变化的原因是,正地形坡度相对平缓(平均 25°),而沟谷地坡度相对较陡(平均 35°)。

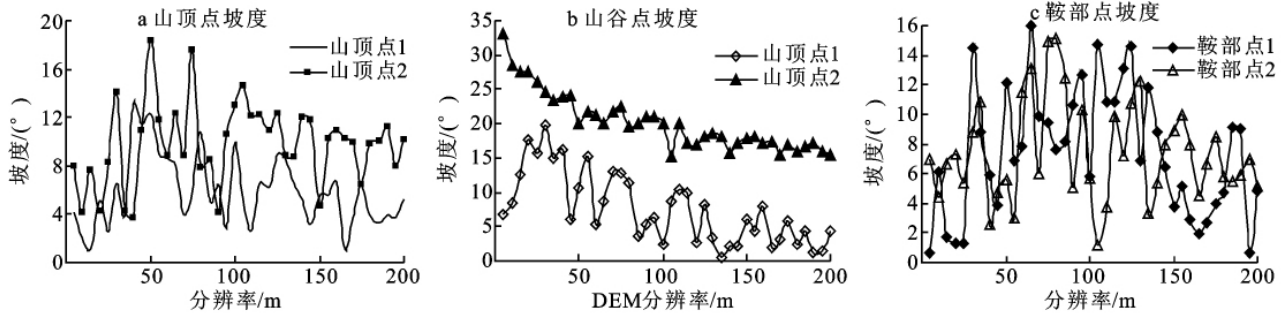


图7 地形特征点坡度与分辨率关系

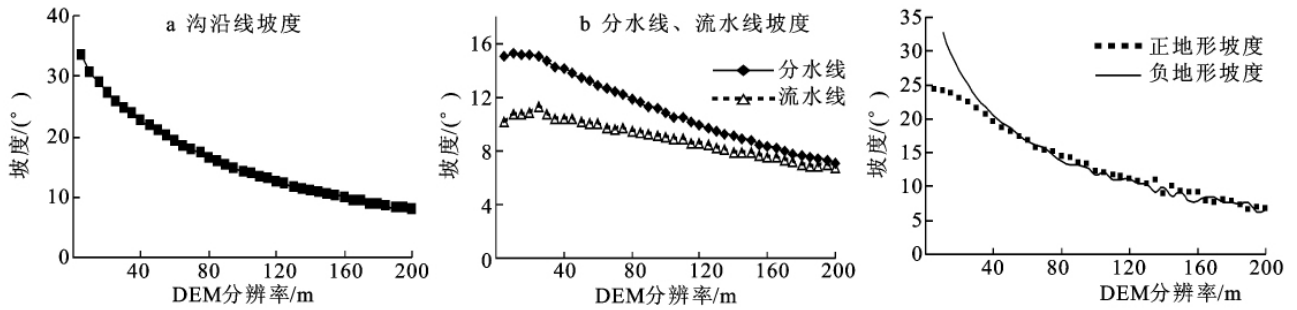


图8 地形特征线坡度与分辨率关系

图9 正负地形坡度与分辨率关系

3 结论与讨论

通过深入探讨县南沟流域坡度尺度效应的空间格局特征,得出以下结论。

(1)5~200 m 分辨率范围内,流域平均坡度和平均坡度变率均随着水平分辨率的降低而减小,DEM 上提取的缓坡地面积不断增加,陡坡地面积不断减少。

(2)地形特征点坡度随着水平分辨率的降低呈现出随机性。

(3)沟沿线坡度随分辨率降低呈衰减趋势,分水线和流水线坡度相对缓慢降低。负地形坡度衰减比正地形快。

在黄土丘陵沟壑区平均坡度和分辨率关系上,汤国安研究表明,DEM 分辨率在 75 m 范围内,与坡度呈线性函数关系^[9]。两者的差别主要是分析的分辨率范围不同所致。此外,将地统计学等方法应用于 DEM 研究值得进一步探索。

参考文献:

- [1] Moore I D, Grayson R B, Ladson A R. Digital terrain modelling. A review of hydrological, geomorphological, and biological applications[J]. Hydrological Processes, 1991, 5(1): 3-30.
- [2] 刘昌明,李道峰,田英,等. 基于 DEM 的分布式水文模型在大尺度流域应用研究[J]. 地理科学进展, 2003, 22(5): 437-445.
- [3] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall-Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning. Agricultural Handbook No. 537[M]. Washington DC: US Department of Agriculture, 1978: 58.
- [4] Lacroix M P, Martz L W, Kite G W, et al. Using digital terrain analysis modeling techniques for the parameterization of a hydrologic model[J]. Environmental Modelling & Software, 2002, 17: 127-136.
- [5] Armstrong R N, Martz L W. Topographic parameterization in continental hydrology: a study in scale[J]. Hydrological Processes, 2003, 17: 3763-3781.
- [6] 杨勤科,赵牡丹,刘咏梅,等. DEM 与区域土壤侵蚀地形因子研究[J]. 地理信息世界, 2009, 7(1): 25-31.
- [7] Chang K, Tsai B. The effect of DEM resolution on slope and aspect mapping[J]. Cartography and Geographic Information Science, 1991, 18(1): 69-77.
- [8] Wolock D M, McCabe G J. Differences in topographic characteristics computed from 100-m and 1000-m resolution digital elevation model data [J]. Hydrological processes, 2000, 14(6): 987-1002.
- [9] 汤国安,赵牡丹,李天文,等. DEM 提取黄土高原地面坡度的不确定性[J]. 地理学报, 2003, 58(6): 824-830.
- [10] 郝振纯,池震星. 空间分辨率与取样方式对 DEM 流域特征提取的影响[J]. 冰川冻土, 2004, 26(5): 610-616.
- [11] 杨昕. 基于 DEM 地形指数的尺度效应与尺度转换[D]. 南京: 南京师范大学, 2007.
- [12] 张彩霞,杨勤科,段建军. 高分辨率数字高程模型构建方法[J]. 水利学报, 2006, 37(8): 1009-1014.