

# 地形因子与 DEM 分辨率关系的初步研究 ——以蒙阴县为例<sup>\*</sup>

王 峰<sup>1</sup>, 王春梅<sup>2</sup>

(1. 山东省国土测绘院, 济南 250013; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:**以蒙阴县为研究区探讨坡度、坡长、坡向、汇水面积随 DEM 分辨率的变化。基于 1:5 万地形图利用 ANUDEM 建立多种分辨率的 DEM, 分辨率水平包括 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 750, 1000 m, 基于上述 DEM 提取坡度、坡长、坡向、汇水面积, 探讨其随分辨率的变化规律。结果表明:随分辨率降低, 平均坡度呈对数函数衰减, 坡度向低坡度范围集中, 平均坡长增大且在高分辨率范围内较剧烈, 坡长向较长坡长范围集中, 分辨率 200 m 以坡向统计信息受分辨率降低的影响小于 10%, 随 DEM 分辨率降低平均汇水面积呈线性增大, 且不同汇水面积等级所占面积的变化规律不同。

**关键词:**DEM 分辨率; 坡度; 坡向; 坡长; 汇水面积

**中图分类号:**P962; TP79

**文献标识码:**A

**文章编号:**1005-3409(2009)04-0225-05

## Research for the Influences of DEM Resolution on Topographical Factors —A Case Study of Mengyin County

WANG Feng<sup>1</sup>, WANG Chun-mei<sup>2</sup>

(1. Surveying and Mapping Institute of Shandong Province, Ji 'nan 250013, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** The influence of DEM resolution on four topographical factors including slope, slope length, aspect and catchment area was analyzed by taking the county of Mengyin as research area. Topographical factors mentioned above were derived from DEMs with resolution of 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 750, 1 000 m based on the digital map (1:50 000) by ANUDEM. The result showed that with DEM resolution reduction the average of slope decreased following logarithmic function, slope tended to be lower, slope length tended to be longer and the accretion of slope length is faster in higher resolution range, the impact of DEM resolution within 200 m on aspect is lower than 10%, the average catchment area become larger following linear function and the changes of area for different range of catchment area are different.

**Key words:** DEM resolution; slope; slope length; aspect; catchment area

近年来地理尺度问题引起了水文学、生态学和土壤侵蚀等研究领域的普遍关注<sup>[1-3]</sup>。作为尺度问题研究的一部分, 数字地形分析中的尺度问题具有比较广泛的内容<sup>[4-5]</sup>, 该文主要讨论基于数字高程模型(Digital Elevation Model, DEM)提取的地形因子与水平分辨率(下文中提到的分辨率特指水平分辨率)的关系。随着 DEM 分辨率的变化, 地形因子是如何变化的, 这一问题得到国内外很多学者的关注。

汤国安等以绘制地面波谱曲线的方法在黄土高原对坡度随分辨率的变化进行了研究, 结果表明:随着 DEM 栅格的增大, 陡坡区域所占的面积减少, 缓坡地的面积相对增加, 并注意到地形相对破碎的地区对 DEM 分辨率更为敏感<sup>[6]</sup>; David 等不仅注意到坡度信息随分辨率的变化, 更进行了用 1 000 m 的 DEM 估算具有 100 m DEM 的坡度的研究<sup>[7]</sup>; 陈楠等在黄土高原选择典型地貌类型区基于不同分辨率

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-03-31

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)项目(2007CB407203)

作者简介: 王峰(1975-), 男, 山东日照人, 工程师, 从事 GIS 研究与开发。E-mail: wf\_sdgis@sina.com

通信作者: 王春梅(1983-), 女, 山东临邑人, 博士生, 主要从事基于 GIS 的区域水土流失评价研究。E-mail: wangchunmei07@mails.gu-cas.ac.cn

DEM 提取坡度、坡向信息并进行了探讨<sup>[8-9]</sup>;杨昕针对地形湿度指数的提取也对坡度尺度效应和坡度变换进行了比较系统的研究<sup>[10]</sup>;沈晶玉、史明昌以北京延庆县八达岭小流域为研究区进行了 DEM 分辨率对坡度、坡向、剖面曲率和平面曲率的影响研究<sup>[11]</sup>。杨勤科等对中低分辨率坡度的衰减、坡度变换方法和 DEM 的综合进行了探讨<sup>[12-16]</sup>。目前存在的主要问题是,已有地形因子与 DEM 分辨率的关系研究主要集中于黄土高原地区,在其他地貌类型区此方面的研究很少;同时已有对地形因子与 DEM 分辨率的关系研究中,一般利用数字地形图构建 TIN,再内插得到不同栅格的规则格网 DEM<sup>[17]</sup>,这种 DEM 对地形形态表达方法并不十分理想<sup>[18-20]</sup>。采用较为先进的 Hutchinson 插值算法生成 DEM,以位于北方土石山区的山东省蒙阴县为研究区,基于 1:5 万地形图数据利用 ANUDEM 生成多种分辨率 DEM 数据,利用 Arcgis 9.1 生成坡度、坡长、坡向、集水面积,运用频率分析、累积频率分析、回归分析、距离分析多种方法对以上 4 个地形因子随 DEM 分辨率的变化规律进行研究,以更全面、深入、科学地理解地形因子随 DEM 分辨率的变化这一科学问题。

## 1 研究区简介

研究区蒙阴县位于山东省中南部,隶属于临沂市,属典型的北方土石山区,地跨东经 117°45' - 118°15'、北纬 35°27' - 36°02' 之间。全县总面积 1 601.6 km<sup>2</sup>,其中山地丘陵占 94%,地形南北高,中间低,自西北向东南倾斜,最高海拔 1 108.3 m (桃墟镇布袋峪村西天蒙顶),最低海拔 120 m (垛庄镇西师古庄),南北长 84.75 km,东西宽 52.1 km,地处沂蒙山区腹地,因位于山东省第二高峰蒙山之阴而得名。

## 2 研究方法

### 2.1 基础数据及数据处理

研究基础数据为蒙阴县 1:50 000 地形图,由山东省地理信息中心提供,高斯-克吕格投影,1980 年西安坐标系平面直角坐标,1985 年国家高程基准,等高距为 10 m。

DEM 建立:DEM 以数字地形图为基础,采用了国外比较流行的 Hutchinson 插值算法(Hutchinson)和相应的专业软件 ANUDEM,建立了多种分辨率的 DEM,分辨率水平包括 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300, 400, 500, 750, 1 000 m。这种 DEM 为水文地貌关系正确的 DEM (Hydrologically Correct DEM, Hc-DEM)<sup>[21-23]</sup>。

### 2.2 地形因子提取

考虑到在流域水文、区域土壤侵蚀等研究中,坡度、坡长、坡向、汇水面积是 4 个基本的地形因子<sup>[17,24]</sup>,在实际中的应用也最多,因此就 DEM 分辨率对以上 4 个地形因子的影响进行探讨。各因子提取方法为:(1)坡度。通过 Arc/Info Grid 模块 Slope 函数基于不同分辨率 DEM 提取坡度;(2)坡长。采用非累计流量的直接计算法,在 ArcGIS 9.1 中编写 AML 程序提取<sup>[25-27]</sup>;(3)坡向。通过 Arc/Info Grid 模块 Aspect 函数提取;(4)汇水面积。首先通过 Arc/Info Grid 模块下 Fill 函数对 DEM 进行填注,基于填注后的 DEM 通过 Flowdirection 函数计算流向,基于流向数据通过 Arc/Info Grid 模块下 Flowaccumulation 函数计算汇流量,最后通过式(1)计算汇水面积。

$$A = C \cdot S / 1000000 \quad (1)$$

式中:A——汇水面积(km<sup>2</sup>);C——汇流量(栅格数);S——单个栅格面积(m<sup>2</sup>)

### 2.3 分析方法与指标

综合运用频率分析、累积频率分析、回归分析、距离分析对以上 4 个地形因子与 DEM 分辨率的关系进行分析,各地形因子的分析方法为:(1)对坡度进行平均坡度与分辨率关系的回归分析,参照土地利用变化速率(时间域)分析平均坡度衰减速度(空间域)随分辨率的变化(杨昕也采用了这种方法<sup>[10]</sup>),并对不同分辨率坡度的累积频率进行分析;(2)对坡长进行平均坡长和平均坡长衰减速度与分辨率关系的回归分析,分别建立函数关系,并划分 5 个坡长等级,对比分析各分辨率水平下坡长等级的面积百分比;(3)构造距离指数,对各分辨率水平坡向数据与 10 m 分辨率坡向数据相比坡向信息的损失率进行评价;(4)分析随 DEM 分辨率的降低平均汇水面积及不同汇水面积等级的变化情况。

## 3 结果与分析

### 3.1 坡度与 DEM 分辨率的关系分析

3.1.1 平均坡度与 DEM 分辨率关系 随着分辨率降低,平均坡度呈明显的对数递减趋势。当分辨率降低到 1 000 m 时平均坡度衰减至 2°左右(图 1)。平均坡度衰减速度也呈现对数变化趋势(图 2)。分辨率从 10~30 m 范围内,平均坡度衰减速度最大,为 0.06°/m,分辨率从 30~50 m 范围内,平均坡度的衰减速度为 0.05°/m,分辨率 50 m 以下,平均坡度的衰减持续变缓,可见分辨率为 10~50 m 之间变化时平均坡度的衰减最为剧烈。当分辨率低于 200 m,DEM 分辨率降低 100 m 时平均坡度衰减已不到 1°。

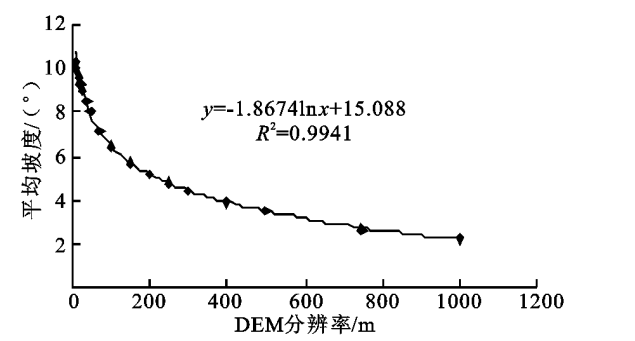


图 1 平均坡度与 DEM 分辨率的关系

3.1.2 不同分辨率坡度累积频率分析 选取 10、25、50、100、500、1 000 m 五个不同分辨率 DEM 提取的坡度进行累积频率分析(图 3)。在分辨率逐渐降低的过程中,坡度的累积频率曲线向左上方移动,分辨率为 1 000 m 时坡度的衰减已使整个研究区坡

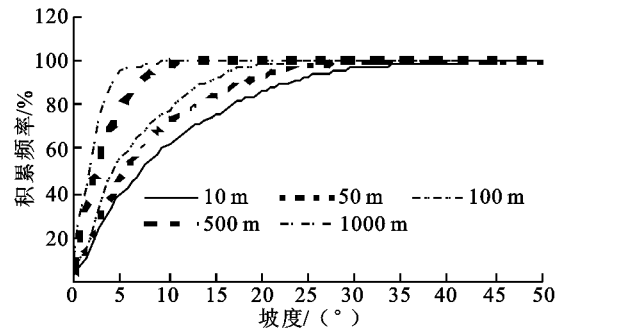


图 3 不同分辨率坡度累积频率曲线

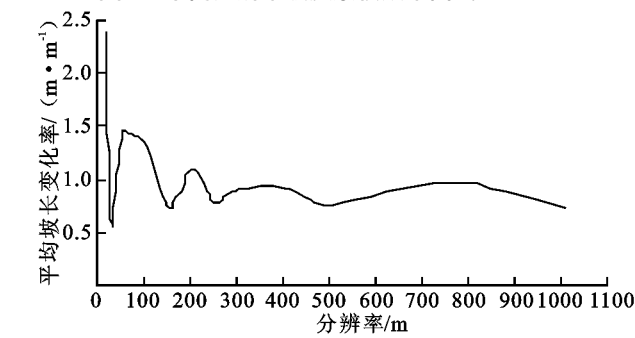


图 5 平均坡长变化率与 DEM 分辨率的关系

3.2 坡长与 DEM 分辨率的关系分析

3.2.1 平均坡长与分辨率的关系 随分辨率的降低,平均坡长总体呈线性增大趋势。分辨率为 10 m,研究区内提取的平均坡长为 71.1 m,分辨率降低至 100 m,平均坡长增大至 189.4 m,分辨率继续降低至 1 000 m 平均坡长增大至 966.3 m(图 4),坡长的增大速率随分辨率的降低总体先抖动后逐渐平稳(图 5),分辨率在 10~15 m 变化时坡长的增大速率最大,为 2.4 m/m,分辨率在 200 m 以下,坡长的增大速率趋于稳定。平均坡长随分辨率的这一变化规律表明,在研究区内,分辨率为 10~15 m 时坡长的变化最为敏感,但总体上随分辨率降低平均坡长较为稳定地线性增大,最终稳定增大速率为 0.9 m/m。

3.2.2 不同分辨率坡长等级分析 划分 5 个坡长

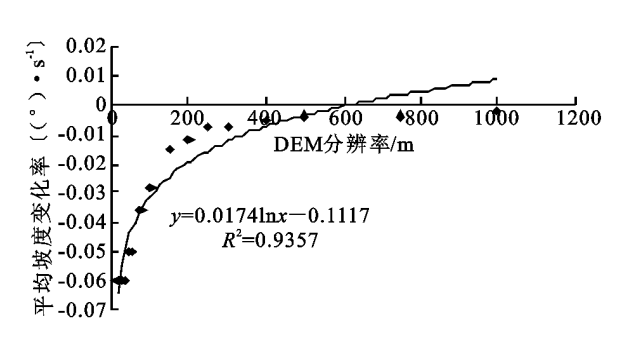


图 2 平均坡度变化率与 DEM 分辨率的关系

度全部在 10°以下,而分辨率为 10 m 时 10°以下面积仅为研究区总面积的 60%左右。坡度累积频率曲线向左上方移动的现象说明随分辨率降低陡坡区域所占的面积减少,缓坡地的面积相对增加,由低分辨率提取的坡度值存在很明显的衰减。

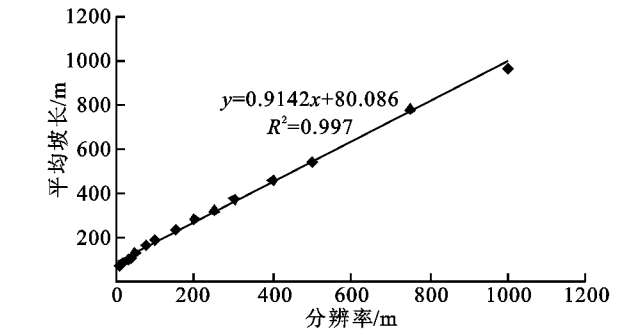


图 4 平均坡长随分辨率的变化

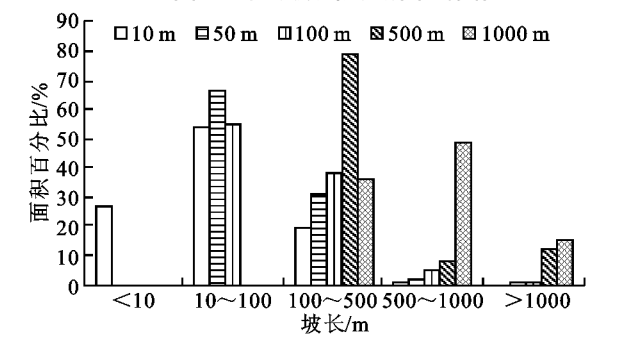


图 6 不同分辨率水平各坡长等级面积比例

等级: < 10, 10~100, 100~500, 500~1 000, > 1 000 m。统计分辨率为 10、50、100、500、1 000 m 各坡长等级所占面积百分比(图 6)。分辨率为 10 m,坡长主要分布在 10~500 m,其中 54%为 10~100 m,26%小于 10 m,19%在 100~500 m;分辨率为 50 m,坡长主要分布在 10~500 m,其中 67%在 10~100 m,31%在 100~500 m;分辨率为 100 m,坡长主要分布在 10~1 000 m,其中 56%在 10~100 m,39%在 100~500 m;分辨率为 500 m,坡长分布在 100 m 以上,其中小于 500 m 的面积占 80%;分辨率降低至 1 000 m,坡长分布在 100 m 以上,其中 48%在 500~1 000 m,36%在 100~500 m,16%在 1 000 m 以上。随分辨率的降低坡长逐渐集中于长坡长范围,这表示分辨率降低计算的坡长值会偏大

而导致坡长值的严重失真。

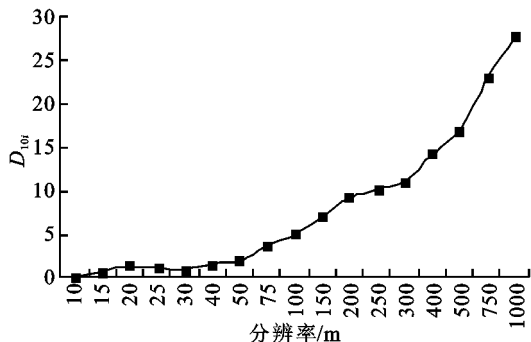


图7 不同分辨率坡向信息与 10 m 分辨率坡向信息的距离

### 3.3 坡向与 DEM 分辨率的关系分析

利用 SPSS 软件距离分析工具计算各分辨率坡向数据与 10 m 分辨率坡向数据的距离指数  $D_{10i}$ ，以便定量表征分辨率对坡向的影响，值计算方法采用绝对值距离法(式 2)。

$$D_{10i} = \frac{p}{a=1} |S_{10a} - S_{ia}| \quad (2)$$

式中： $D_{10i}$ ——分辨率为  $i$  的坡向数据与 10 m 分辨率坡向数据之间的距离指数； $p$ ——有  $p$  个坡向，这

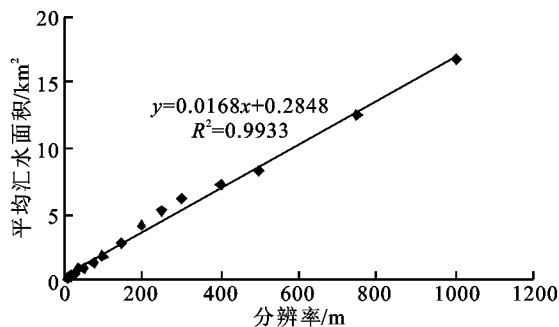


图8 平均汇水面积随 DEM 分辨率变化趋势

3.4.2 不同汇水面积等级面积比例与 DEM 分辨率的关系 划分 6 个汇水面积等级：小于 0.01，0.01~0.1，0.1~1，1~10，10~100，>100 km<sup>2</sup>。分别计算各个汇水面积等级在分辨率由 10~1 000 m 的面积百分比(图 9)。汇水面积小于 0.01 km<sup>2</sup> 的部分所占面积在 DEM 分辨率从 10 m 降低至 150 m 的过程中减小，在 DEM 分辨率从 150 m 降低至 1 000 m 的过程中又有所增大；汇水面积在 0.01~10 km<sup>2</sup> 的部分所占的面积比例呈现波动现象，即在某个分辨率水平出现面积比例较大的峰值随后面积比例下降之后又出现一个峰值，汇水面积为 0.01~0.1 km<sup>2</sup> 的面积比例在分辨率为 75，150，400 m 时出现峰值，峰值后呈降低趋势，汇水面积在 0.1~1 km<sup>2</sup> 的面积比例在 250，500 m 处呈现峰值随后降低，汇水面积在 1~10 km<sup>2</sup> 的部分所占面积比例在 300，750 m 出现峰值随后降低。汇水面积在 10~100 km<sup>2</sup> 的部分所占面积比例随分辨率降低基本呈增大趋势，只是在分辨率为 400 m 处出现一个低

里  $p$  取值为 9，分别为：平地、北、东北、东、东南、南、西南、西和西北； $S_{10a}$ ——10 m 分辨率坡向数据在第  $a$  个坡向上的面积百分比； $S_{ia}$ ——分辨率为  $i$  的坡向数据在第  $a$  个坡向上的面积百分比； $D_{10i}$ ——不同分辨率各坡向所占面积百分比与 10 m 分辨率各坡向所占面积百分比差值绝对值的和，可定量表征坡向信息的损失率。 $D_{10i}$  值越大，表示分辨率为  $i$  的坡向信息与分辨率为 10 m 的坡向信息之间的距离越大，坡向信息的损失率越高。随分辨率降低，提取的坡向数据与高分辨率坡向间的距离指数增大，坡向信息失真也就越大，分辨率为 200 m 以上，坡向信息损失率在 10% 以内，分辨率降低至 1 000 m，坡向统计信息损失率达到 28% (图 7)。

### 3.4 汇水面积与 DEM 分辨率的关系分析

#### 3.4.1 平均汇水面积与 DEM 分辨率的关系

DEM 分辨率为 10 m，平均汇水面积为 0.2 km<sup>2</sup>，DEM 分辨率降低至 1 000 m，平均汇水面积增大到 16.8 km<sup>2</sup>，随分辨率的降低，平均汇水面积呈线性增大，DEM 分辨率降低 1 m，平均汇水面积约增大 0.017 km<sup>2</sup> (图 8)。

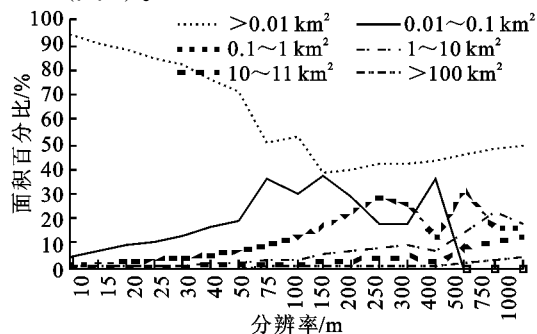


图9 各汇水面积等级面积百分比随 DEM 分辨率的变化趋势值。汇水面积在 100 km<sup>2</sup> 以上的部分所占面积比例随 DEM 分辨率降低持续增大。由此可见，随分辨率的降低，不同汇水面积等级所占面积百分比的变化规律是不现的，较小汇水面积(小于 0.01 km<sup>2</sup>)所占的面积百分比先下降后有所上升，较大汇水面积(大于 10 km<sup>2</sup>)所占的面积百分比持续上升，而中间部分呈现一定的波动性并最终呈下降趋势。

## 4 结论与讨论

通过对蒙阴县不同分辨率 DEM 进行地形分析，以坡度、坡长、坡向、汇水面积为研究对象，探讨 DEM 分辨率对地形信息的影响，得出以下结论：

(1) 随 DEM 分辨率降低平均坡度呈对数函数降低趋势，分辨率从 10 m 降低到 1 000 m，平均坡度的衰减速率呈对数函数减小。在研究区内，平均坡度的尺度上限为 200 m，分辨率在 50 m 内平均坡度随分辨率的变化最为敏感；随分辨率降低，陡坡区域所占的面积减少，缓坡地的面积相对增加，这在坡

度累积频率曲线上表现为累积频率向左上方移动。

(2) 平均坡长随分辨率降低呈线性增大,但在高分辨率范围呈现较强波动,最后稳定于 0.9 m/m 的增大速率,随分辨率增大,较长坡长范围所占面积显著增大。

(3) 分辨在 200 m 以上坡向统计信息受分辨率的影响较小,其信息损失率在 10 % 以内。

(4) 随分辨率的降低平均汇水面积呈线性增大趋势,且不同汇水面积等级所占面积比例的变化规律不同。

由于数据原因未能在全国范围各地貌类型区,如东北漫岗丘陵区、四川盆地、南方丘陵区、黄土高原等选取样区进行分析与对比。在以后的研究中,运用相同的数据处理方法和分析方法进行不同地貌类型区之间 DEM 对地形因子影响的系统比较是很必要的。

David 等在讨论 DEM 分辨率对地形指数的影响时将 DEM 分辨率的影响分为两个方面:采样间隔(terrain - discretization)和地形平滑作用(terrain - smoothing)<sup>[7]</sup>,本文中探讨的 DEM 分辨率对地形因子的影响是二者的综合效应,将采样间隔和地形平滑作用分离开,研究单个作用对地形因子的影响,对于更科学地认识 DEM 分辨率对地形因子的影响具有很大的促进作用。

#### 参考文献:

- [1] 蔡博峰,于嵘.景观生态学中的尺度分析方法[J].生态学报,2008,28(5):2279-2286.
- [2] 刘建梅,裴铁璠.水文尺度转换研究进展[J].应用生态学报,2003,14(12):2305-2310.
- [3] 王飞,李锐,杨勤科,等.水土流失研究中尺度效应及其机理分析[J].水土保持学报,2003,17(2):167-180.
- [4] 刘学军,卢仁政,任志峰.论 DEM 地形分析中的尺度问题[J].地理研究,2007,26(3):433-442.
- [5] 汤国安,刘学军,房亮.DEM 及数字地形分析中尺度问题研究综述[J].武汉大学学报:信息科学版,2006,31(12):1059-1066.
- [6] 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.
- [7] David M W, McCabe G J. Differences in topographic characteristics computed from 100 m and 1000 m resolution digital elevation model data [J]. hydrological processes,2000,14:987-1002.
- [8] 陈楠,王钦敏,汤国安.黄土高原坡向信息量变化与 DEM 分辨率的关系[J].高技术通讯,18(5):525-530.
- [9] 陈楠,王钦敏,汤国安.黄土高原 DEM 分辨率对提取坡度精度的影响[J].华侨大学学报:自然科学版,2006,27(3):321-324.
- [10] 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.
- [11] 沈晶玉,史明昌.DEM 网格尺寸对地形因子影响研究:以北京市延庆县八达岭小流域为例[J].水土保持研究,2006,13(5):66-69.
- [12] Yang Q K, Jupp D, Li R, et al. Re-scaling lower resolution slope by histogram matching [C]// Zhou Q, Lees B G, Tang G A. Advances in Digital Terrain Analysis (Lecture Notes in Geoinformation and Cartography), 2008:193-210.
- [13] 杨勤科, Jupp D, 郭伟玲,等.基于滤波方法的 DEM 尺度变换方法研究[J].水土保持通报,2008,28(6):58-62.
- [14] 杨勤科,贾大韦,李锐.基于 DEM 的坡度研究:现状与展望[J].水土保持通报,2007,27(1):146-150.
- [15] 杨勤科,李锐,梁伟.区域水土流失地形因子的地图学分析[J].水土保持研究,2006,13(1):56-58,59.
- [16] 于浩,杨勤科,张晓萍,等.基于小波多尺度分析的 DEM 数据综合研究[J].测绘科学,2008,33(3):93-95.
- [17] 李志林,朱庆.数字高程模型[M].武汉:武汉测绘科技大学出版社,2000.
- [18] Yang Q K, McVicar T R, VanNiel T G, et al. Improving a digital elevation model by reducing source data errors and optimising interpolation algorithm parameters: an example in the Loess Plateau, China. [J]. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation (JAG), 2007,9(3):235-246.
- [19] 杨勤科, McVicar Tim R, Tom,等. ANUDEM 和 TIN 两种建立 DEM 方法的对比研究[J].水土保持通报,2009,26(6):84-88.
- [20] 周买春,黎子浩, Jayawardena A W. 数值地形图的生成及其水文地貌特征评价[J].水利学报,2002(2):71-74.
- [21] 杨勤科, McVicar Tim R, 李领涛. ANUDEM - 专业化数字高程模型插值算法及其特点[J].干旱地区农业研究,2006,24(3):36-41.
- [22] 杨勤科, McVicar Tim R, VanNiel Tom G,等.用 ANUDEM 建立水文地貌关系正确 DEM 的方法研究[J].测绘科学,2006,31(6):155-157.
- [23] 杨勤科,师维娟, McVicar Tim R,等.水文地貌关系正确 DEM 的建立方法[J].中国水土保持科学,2007,5(4):1-6.
- [24] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, et al. Predicting rainfall erosion by Water: A Guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) [Z]. USA, 1997:703.
- [25] Remortel V, Hamilton R M, Hickey R A. Estimating the LS Factor for RUSLE through Iterative Slope-Length Processing of Digital Elevation Data within ArcInfo Grid[J]. Cartography, 2001,30(1):27-35.
- [26] 曹龙熏,符素华.基于 DEM 的坡长计算方法比较分析[J].水土保持通报,2007,27(5):58-62.
- [27] 周启鸣,刘学军.数字地形分析[M].北京:科学出版社,2006.