

## 区域水土流失地形因子的地图学分析

杨勤科, 李 锐, 梁 伟

(中国科学院水利部水土保持研究所, 陕西 杨陵 712100)

**摘 要:** 地形是影响区域水土流失的主要因子, 基于中小栅格 DEM 提取的坡度是区域水土流失地形因子的主要指标之一。根据地貌学和地图制图学论文分析和对地形图及其 DEM 图形分析表明, 在一定比例尺范围内(1:1 万~1:25 万), 多种比例尺的地形图均能表现区域地形的宏观结构特征; 随着 DEM 分辨率的降低, 在 DEM 上量算得到的坡度不断趋于平缓; 由于制图综合不直接影响高程的数值, 所以中小栅格 DEM 表现地面起伏的能力是存在的, 只是发生了一定的变形而已。

**关键词:** 水土流失; 地图学; 数字地形模型; 坡度

**中图分类号:** S157; TP79

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1005-3409(2006)01-0056-03

## Cartographic Analysis on Terrain Factors for Regional Soil Erosion Modeling

YANG Q in-ke, L I Rui, L IANG Wei

(Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of  
Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

**Abstract:** Slope gradient is one of main factors for regional soil erosion modeling. Based on micro-geomorphology and cartography theory and digital terrain analysis, it shows that macro features of geomorphology could be depicted by topographic maps at multiple scales, but the slope extracted from DEMs become gentler along with the DEM resolution become coarser, but capacity to represent the land relief is kept in some extent because have no direct cartographic generalization to elevation.

**Key words:** soil loss; cartography; DEM; slope gradient

### 1 引 言

由于区域持续发展、水土保持宏观决策的需要, 区域性和宏观性水土流失/土壤侵蚀定量评价与预测研究受到重视<sup>[1,2]</sup>。地形是影响水土流失的主要因素之一。在坡面尺度, 用坡度、坡长和地面糙度等作为水土流失评价预报的地形因子<sup>[3]</sup>。对于区域尺度, 鉴于坡度值随 DEM 数据源比例尺缩小和 DEM 栅格变粗不断趋于平缓, 建议用地形起伏度作为区域水土流失评价的最佳因子<sup>[4,5]</sup>。在国外有研究者力图通过分形方法得到适于区域尺度应用的坡度值<sup>[6]</sup>。但是现有的研究的缺陷之一是缺乏对于指标的地貌学和地图学分析。本文力图根据地貌学、地图制图学理论, 在 GIS 支持下, 地形因子做出进一步研究探讨。

### 2 研究方法

#### 2.1 理论分析

根据水土流失和地理制图学的理论, 在小区和坡面尺度, 影响土壤侵蚀的基本地形因子是坡度和坡长<sup>[3]</sup>。小流域土壤侵蚀可以通过计算每个地块(或栅格单元)侵蚀量并进

而求得流域总侵蚀量<sup>[7]</sup>。然而当分析计算对象是一个区域, 其基本单元不是一个单一的坡面, 而是一组坡面的组合时, 情况有所不同。这里包括了两种情况, 一是不需要进行坡面尺度的计算, 例如宏观决策中, 只要求提供一个平均的(指一组坡面的平均)、或趋势性的数据。二是或当数据资料条件不允许对每个地块进行详细计算, 这可能是因为所要研究的区域过大, 也可能是因为研究区域没有详细数据可供使用。在这种情况下, 我们将无法直接计算得到能反映地表真实起伏的坡度值, 而只能求得一种形态学意义上的坡度。尽管如此, 根据侵蚀地貌学和地图制图学理论, 这种形态学坡度与区域地貌形态及其微观坡度之间具有发生学关系。分析认识这种关系是正确提取和运用区域水土流失地貌因子的理论基础。

#### 2.2 研究区域和数据基础

研究区域选择在水土流失严重的黄土高原地区。这里是我国乃至全世界土壤侵蚀最强烈的地区, 地形对土壤侵蚀具有重要意义。在黄土高原内部, 分别选延河流域(1:10 万)、延河流中部宝塔区和安塞县区域(1:5 万)和位于延安南部的燕沟流域(1:1 万)为典型样区。利用多种比例尺地形图和多种栅格 DEM (1:1 万、1:5 万、1:10 万、1:25 万、1

收稿日期: 2005-10-09

基金项目: 中国科学院知识创新重要方向项目: 黄土高原水土保持的区域环境效应研究(合同号: KZCX3-SW-421)

作者简介: 杨勤科(1962-), 男, 研究员, 主要从事区域水土流失和 GIS 应用研究。

100 万、1:400 万)为数据基础进行分析(图 1,表 1)。

2.3 试验研究方案

本研究中对上述数据进行了如下处理,包括:(1)在典型图幅(图 1)的矢量等高线图上,量取等高线长度和样区面积,求取等高线密度。(2)利用相同的高程分级方案,绘制高

程和坡度分布曲线,结合其图形特征分析不同比例尺地形图/DEM 对于地形的表现能力。(3)利用相同地区(典型图幅)对应的DEM,求取坡度图,计算并比较不同比例尺/分辨率坡度之间关系。

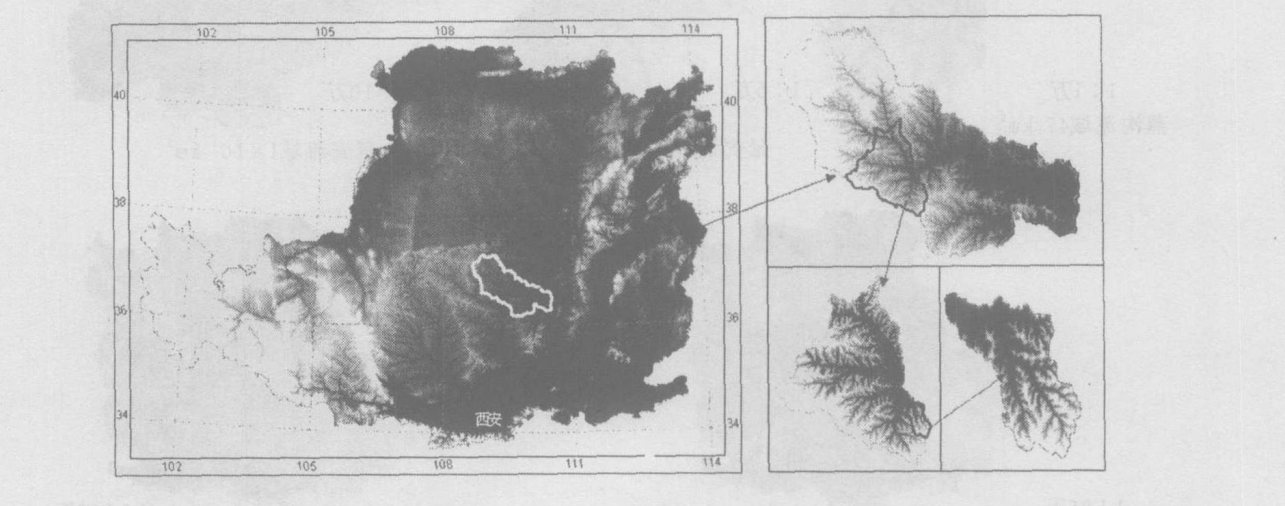


图 1 研究区域示意图

表 1 数据资料基本参数

样区号	比例尺	等高距	样区面积 /km <sup>2</sup>	DEM 格 网大小	样区位置
1	1:10000	10	47.071	5	延安南郊燕沟
2	1:50000	20	254.4887	25	延安地区
3	1:100000	40	8224.67	40	延河流域
4	1:250000	100	20174.34	100	黄土高原典型区

3 结果与分析

(1)不同比例尺地形图对地形的表现:随着比例尺的缩小,等高距增加(10 m 增加到 50 m),等高线密度不断降低。同时,随着比例尺的缩小,制图综合将使比较微观的地形特征被忽略,等高线趋于平滑,因而地形图对地形的细部刻画能力也随之降低(表 2、图 2)。

由于地形制图对于高程的表示值始终以实际测量的高

程值为基础,而没有高程值的夸大或缩小,所以在一定比例尺范围内,多种比例尺地形图及其生成的DEM,均能表现区域地形的宏观结构特征,特别是高程的结构特征。但是当比例尺缩小到一定程度后,将反映更加宏观的地貌特征。在黄土高原地区,比例尺小于 1:25 万后,只能将黄土高原的平原特征表现出来,而内部作为丘陵的特征则不能,或者不能直接得到很好的刻画(图 2、图 3)。

表 2 等高线对地形的表达能力统计

比例尺	等高距 /m	样区面积 /km <sup>2</sup>	等高长度 /m	等高线密度 /(m·km <sup>-2</sup> )
1:10,000	10	47.071	2946526.6	62598.1
1:50,000	20	254.4887	6759469.4	26561.0
1:100,000	40	8224.67	102916943.7	12513.2
1:250,000	100	20174.34	78947458.1	3913.3

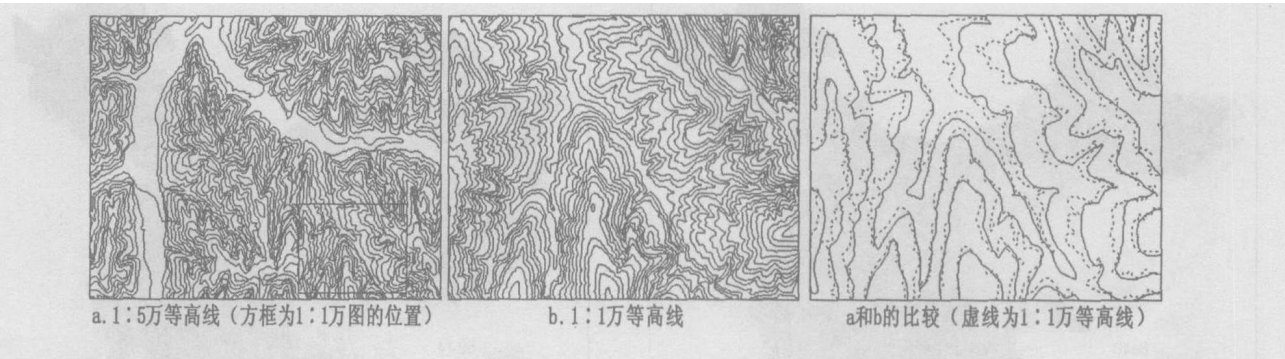


图 2 不同比例尺地形图对地形的表现和刻画

(2)地形图及其DEM 对于地面起伏特征的表现:就形态学而言,一定面积区域的地表起伏状况可以视为是平面距离和高度的关系。所以从一般意义上将对区域地表起伏状况的描述,可以用坡度及其数量组合关系来表示。但是,如上述分析可见,由于水平方向上的制图综合,以及对于微小地貌

形态的忽略,无疑将导致水平-垂直关系的变化。所以随着比例尺的缩小,地形图/DEM 上直接求取的坡度,不断趋于平缓,地形图/DEM 将逐渐不能直接表现地面起伏状况(图 4)<sup>[5]</sup>。

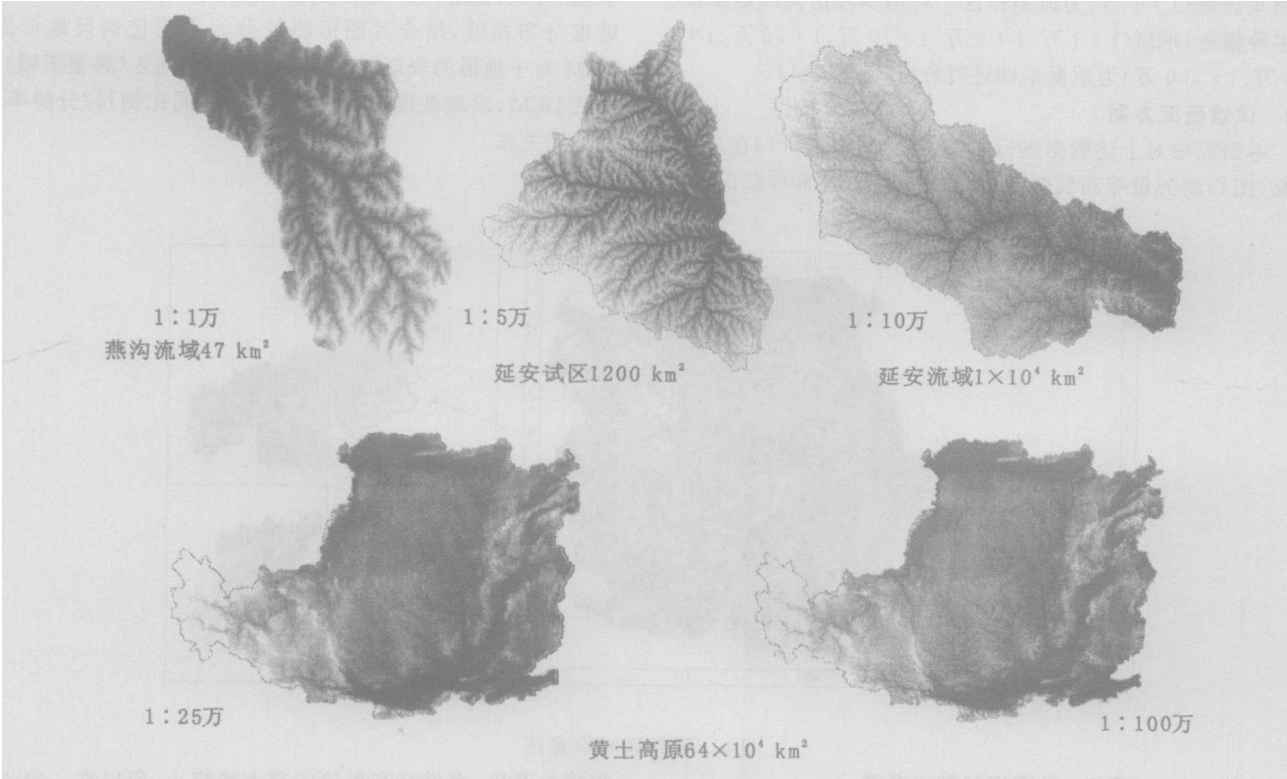


图 3 多种比例尺DEM 的地形宏观特征

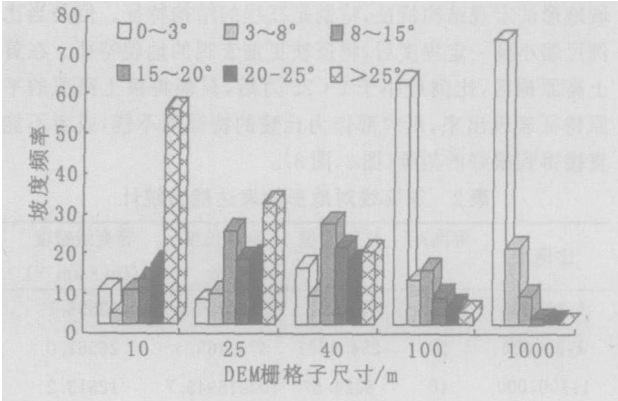


图 4 多种栅格DEM 上量取的坡度变化值

(3) 中小栅格DEM 表现地面起伏的能力: 为了从宏观尺度反映区域地形起伏状况并为区域土壤侵蚀评价和预报提供地貌学参数, 我们曾经建议利用地形起伏度作为指标<sup>[4,5]</sup>。并认为中小比例尺DEM 量取的坡度已经没有地貌学或土壤侵蚀学意义, 所以不能用于土壤侵蚀评价。然而更进一步的研究表明, 坡度只是不能直接表现地面的起伏情况。基于1 000 m 栅格DEM 生成的坡度图, 依然能反映我国地貌的起伏情况(图 5)。国外有关学者的研究表明, 不同比例尺坡度之间存在分形转换关系, 所以可以利用较小比例尺、较低分辨率的DEM 和这种关系, 间接求得与真实坡度比较接近的坡度值<sup>[6]</sup>。由此可以认为, 经过一定的变换和处理, 较粗栅格的DEM 提取具有一定精度的坡度值是可能的。

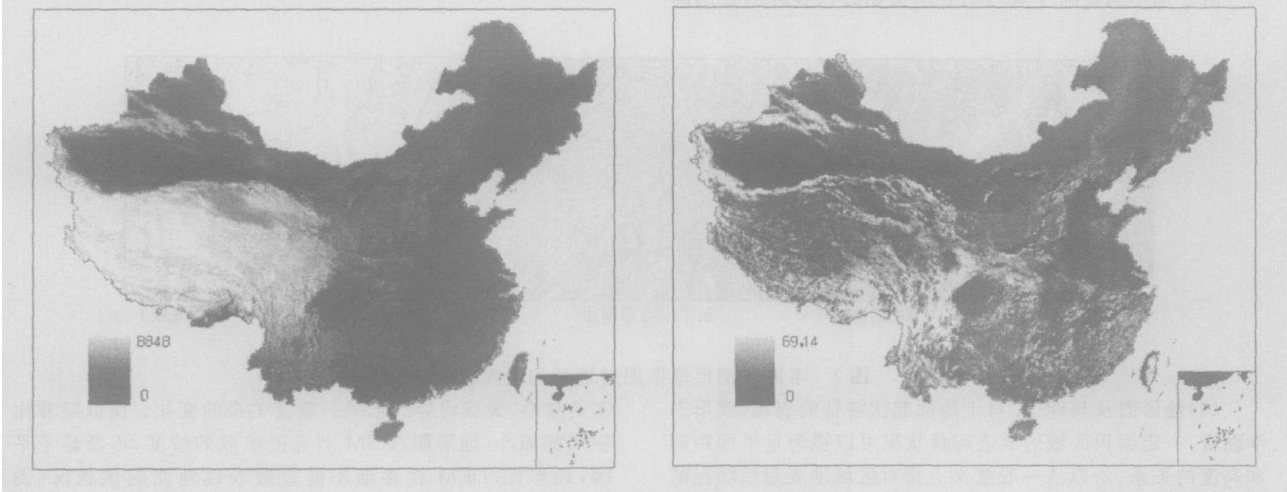


图 5 1 000 mDEM 及其上直接提取的坡度图

调控指标参数,并在此基础上对各种调控参数进行调控,研究植被数量的变化确定植被恢复的最佳目标和危险数值区点。分析得出:调控指标参数在不同范围变化时植被恢复情况各

不相同,在对荒漠植被恢复和重建时,只要调控参数处在适当范围时,荒漠植被完全可以达到最佳目标即可以恢复到50%~66.4%,这为政府及工程实施提供指导和理论方案。

#### 参考文献:

- [1] 樊自立. 新疆土地开发对生态与环境的影响及对策研究[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 89.
- [2] Burrough P A. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data [J]. Nature, 1981, 294: 240- 242.
- [3] Palmer M W. Fractal geometry: a tool for describing spatial patterns of plant communities[J]. Vegetation, 1988, 75: 91- 102.
- [4] May R. Simple mathematical models with very complicated dynamics [J]. Nature, 1976, 261: 30- 35.
- [5] 吴次芳, 陈美球. 陆地生态系统复杂性[J]. 应用生态学报, 2002, 13(6): 753- 756.
- [6] Vicsek T. Fractal Growth Phenomena[J]. World Scientific, 1989, 4: 156- 158.
- [7] Wu J, Q L. Locals From balance of nature to hierarchical patch dynamics: A paradigm shift in ecology[J]. Q. Rev. Biol., 1995, 70: 439- 465.
- [8] 黄润生. 混沌及其应用[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2000: 78- 98.
- [9] Pomeau Y, Manneville P. Intermittent transition to turbulence in dissipative dynamical system [J]. Commune Math. Phys., 1980, 74: 89- 91.
- [10] 任光耀. 荒漠区绿洲发展预测的非线性特征[J]. 干旱区地理, 1991, 12(4): 56- 64.
- [11] Ren G Y, Pan X L, Liu X C. Analysis of the control index of desert vegetation in dynamics and restoring strategy[A]. In: SPIE. EI 4890[C]. Bellingham, WA. USA, 2003: 169- 178.
- [12] Ren G Y, Pan X L, Liu X C. Statistic self-similarity at the border of vegetation patchiness: system behavior of the interior dynamic, which adapts the exterior environment[A]. In: SPIE. EI 4890[C]. Bellingham, WA. USA, 2003: 485- 489.
- [13] 常学礼, 邬建国. 分形模型在生态学研究中的应用[J]. 生态学杂志, 1996, 15(3): 35- 42.
- [14] 王毓东, 任光耀. 连接复分形测度的维数热力学公式[J]. 新疆大学学报, 1994, (1): 55- 59.
- [15] Bohr T, Tel T. Directions in chaos[J]. World Scientific, 1988, 2: 48- 50.
- [16] 黄润荣, 任光耀. 耗散结构与协同学[M]. 贵阳: 贵州人民出版社, 1998: 65.
- [17] 马中. 环境与资源经济学概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1999: 48.
- [18] 任光耀. 干旱系统演化探索[M]. 西安: 陕西科学技术出版社, 1998: 20- 80.
- [19] Turner M G. Landscape ecology: the effect of pattern on process[J]. Ann. Rev. Ecol. Sys., 1989, 20: 171- 179.
- [20] 刘新春, 张远东, 任光耀, 等. 新疆阜康荒漠绿洲景观格局动态及其影响因子分析[J]. 应用生态学报, 2004, 15(7): 1197- 1202.
- [21] Day R H. Irregular growth cycle[J]. American Economic Review, 1982, 72: 122- 127.
- [22] Linsay P S. Period double and chaotic behavior in a driven enhammonic oscillator[J]. Phys. Rev. Lett., 1981, 47: 34- 36.

(上接第58页)

## 4 结论与讨论

基于侵蚀地貌学和地图学理论分析和对数字地形特征分析,得出如下认识。(1)在一定比例尺(1:1万~1:25万)和相应DEM栅格范围内(10~1000m),多种比例尺的地形图(和相应精度的DEM)均能表现区域地形的宏观结构特

征,但由于制图综合的影响地形的细部不能得到有效反映;(2)随着DEM分辨率的降低,在DEM上量算得到的坡度不断趋于平缓,地面的起伏不能得到直接反映;(3)由于制图综合不直接影响高程变化,所以中小栅格DEM表现地面起伏的能力是存在的。分析研究和恢复中小栅格DEM对地形的表现能力,是区域水土流失地形因子研究的重要内容。

#### 参考文献:

- [1] 杨勤科, 李锐, 王占礼. 区域水土流失监测与评价指标体系研究[J]. 水土保持通报, 2000, 20(7): 74- 76.
- [2] Kirkby, M J. From Plot to Continent: Reconciling Fine and Coarse Scale Erosion Models[C]. West Lafayette, 2001: 860- 870.
- [3] Wischmayer, W H, Smith, D D. Predicting rainfall erosion losses A Guide to Conservation Planning[M]. USDA Handbook 1978 No. 537.
- [4] 刘新华, 杨勤科, 李锐. 中国地形起伏度的提取及在水土流失定量评价中应用[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 57- 59.
- [5] 汤国安, 杨勤科, 等. 不同比例尺DEM提取地面坡度的精度研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(1): 53- 56.
- [6] Zhang Xiaoyang, Nick A Drake, John Wainwright, et al. Comparison of slope estimates from low resolution DEMs: Scaling issues and a fractal method for their solution[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1999, 24: 763- 779.
- [7] De Roo, A P J, CG Wesseling, C J Ritsem, a L ISEM: A Single- Event Physically Based Hydrological and Soil Erosion Model for Drainage Basins I: Theory. Input and Output[J]. Hydrological Processes, 1996, 10: 1107- 1118.