

# 陕北黄土地貌正负地形坡度组合研究

高毅平, 汤国安, 周毅, 李发源

(南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210046)

[摘要] 以沟沿线为分界线的黄土正负地形, 是黄土地貌的基本特征, 其中正负地形的坡面特征差异在黄土高原呈现一定的空间分异规律. 本文以 5 m 分辨率 DEM 为基本信息源, 以自动提取的陕北黄土高原正负地形为依据, 通过坡谱对比分析, 研究陕北黄土高原不同地貌类型区正负地形的地面坡度组合特征. 研究结果显示, 在陕北黄土高原不同地貌类型区, 其正负地形在所提取的坡谱曲线、坡谱偏度、平均坡度差、坡谱信息熵等一系列指标上有显著的差异. 而且这种差异的空间分异呈现一定的规律性, 在一定程度上反映了地面的破碎程度与发育程度.

[关键词] 黄土高原, 正负地形, 坡度, 数字高程模型

[中图分类号] P941.74 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4616(2009)02-0135-06

## Slope Spectrum of Positive and Negative Terrains of Loess Plateau in Northern Shaanxi Province

Gao Yiping Tang Guoan Zhou Yi Li Fayuan

(Key Laboratory of Virtual Geographic Environment, Nanjing Normal University, Ministry of Education, Nanjing 210046, China)

**Abstract** Divided by the zigzag bench shoulder lines, the loess plateau presents two main kinds of terrains, which are named positive and negative terrains. The slope characteristic differences of positive and negative terrains show specific spatial variation patterns. Taking 5 m grid resolution DEMs as main information source and the extracted positive and negative terrains as basic data, researches are done to reveal the slope spectrum characteristics of positive and negative terrains in different landform type areas. The results show that there exist significant differences between the loess positive and negative terrains of the different landform type areas in the aspect of the slope spectrum curves, skewness, average slope difference and slope spectrum entropy. Moreover, the spatial variation of the significant differences present a specific regularity, which reflect the crushing and development of the land surface to some extent.

**Key words** loess plateau, positive and negative terrains, slope, DEM

以沟沿线为特征分界线的陕北黄土高原正负地形一直以来是众多学者研究的焦点. 正地形包括了梁峁坡面和塬面为主的沟间地, 而负地形为沟坡地与沟底地. 正地形与负地形所处地貌部位及包含坡度组合的不同, 使其土壤侵蚀类型、土地利用方式和生态修复措施存在较大差别.

曹银真曾研究了黄土梁峁坡的坡地特征和土壤侵蚀<sup>[1]</sup>; 刘迪生对正负地形作了地貌学的定义<sup>[2]</sup>; 罗来兴等研究了陕北沟间地与沟谷地的地貌特征<sup>[3]</sup>; 闫国年、朱红春等对基于 DEM 的黄土沟沿线自动提取做了研究<sup>[4-8]</sup>. 但是, 对于黄土高原沟沿线以上正地形以及沟沿线以下负地形的坡面坡度组合关系, 还缺乏深入了解. 我们需要证实: 黄土高原正负地形的坡度组合究竟有多大的差异, 这种差异随着黄土高原不同地貌类型区有哪些变化. 2006 年, 汤国安提出地面坡谱分析的研究思路, 2008 年研究了黄土高原面坡谱特征<sup>[9-10]</sup>, 地面坡谱方法为进行黄土高原正负地形的坡度组合关系对比提供了良好的条件. 该研究结果可望深化对黄土高原地貌形态特征及其空间分布规律的了解, 深化黄土高原的研究, 服务于该地区的生态重建与资源环境建设.

收稿日期: 2009-01-12

基金项目: 国家自然科学基金 (40671148, 40801148)、教育部高等学校博士学科点专项科研基金 (20050319006) 资助项目.

通讯联系人: 汤国安, 教授, 博士生导师, 研究方向: DEM 数字地形分析、GIS 空间分析. E-mail: tangguoan@njnu.edu.cn

# 1 研究基础

坡谱的本质是坡度直方图,直观且定量地描述不同级别坡度的数量分布特征,可以反映地势起伏、地表切割等地貌形态特征.不同地貌类型具有不同坡度组合特征,坡谱也不相同;反之,通过坡谱也可大致判断地表的坡度组合及起伏变化等地貌形态特征.同样,正负地形坡谱也可在一定程度上体现不同地貌类型区之间的差别.然而,要将统计图表型的坡谱应用到地学建模中就必须用一个或一组参数来量化描述.正负地形平均坡度差、坡谱信息熵、坡谱偏度能分别从地形起伏形态、信息量以及坡谱曲线形态角度描述坡谱与实际地形间的特征关系<sup>[9]</sup>.主要坡谱量化指标及其地学含义如表 1 所示(其中  $n$  为分级数,  $P_i$  为每一级别坡度的频率,  $\bar{P}$  为平均频率,  $\sigma$  为标准差).

表 1 坡谱量化指标及其地学含义

Table 1 Indexes and geological significance of slope spectrum

指标	计算方法	地学含义
正负地形平均坡度差	$AveSlope_{\text{正}} - AveSlope_{\text{负}}$	平均坡度差能反映地形起伏变化的剧烈程度
坡谱信息熵	$H = - \sum_{i=1}^n P_i \ln P_i$	信息熵可以反映地表的复杂度
坡谱偏度	$S = \sqrt{\frac{1}{6n}} \sum_{i=1}^n \left( \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma} \right)^3$	坡谱偏度能描述坡度数据分布的不对称性

# 2 实验方法

## 2.1 实验样区

本文选取陕北黄土高原 6 个典型样区与 42 个普通样区作为实验样区. 6 个典型样区分别为神木、绥德、延川、甘泉、宜君、淳化. 它们主要分布在陕北黄土高原第一、第二副区, 分别代表黄土地貌中“黄土低丘—黄土峁—黄土梁—黄土残垣—黄土塬”不同地貌类型. 其余 42 个样区均匀分布在陕北黄土高原各个地貌类型亚区.

## 2.2 实验数据

### (1) DEM 数据

DEM 数据为面积范围为 10 km × 10 km、5m 分辨率的 48 个样区的 DEM 数据(图 1).

### (2) 地貌分区数据

该数据为陕西省北部地区 24 个地貌类型区划图(图 2).

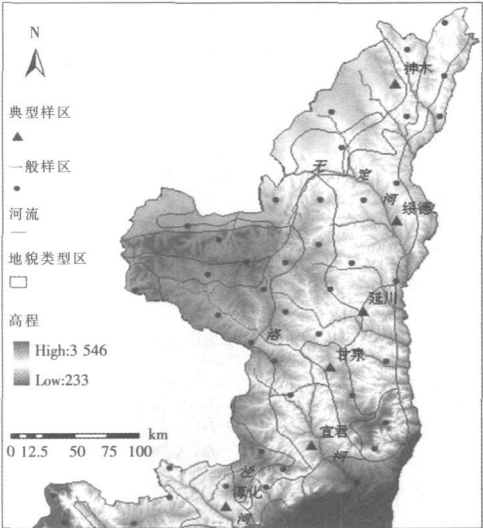


图 1 陕北实验样区分布图

Fig.1 Location of the test areas in Northern Shaanxi Province

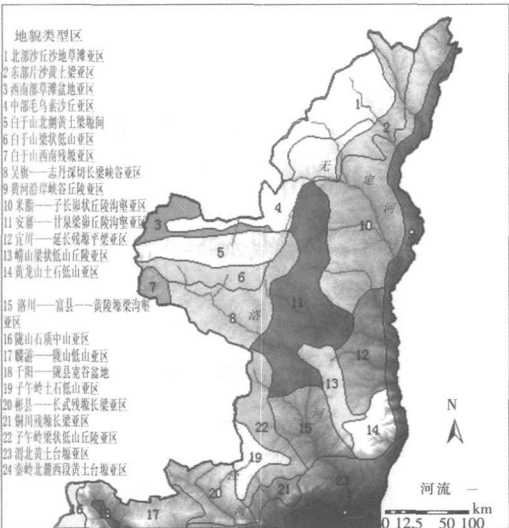


图 2 陕北地貌分区图

Fig.2 Classification of the landforms in Northern Shaanxi Province

2.3 实验流程

图 3 为实验流程图, 其中各个指标的计算方法与地学意义如表 1 所示。

在 ArcGIS 9.1 平台上分别提取 48 个样区正地形和负地形数字高程模型<sup>[7]</sup>的坡度因子。

计算正负地形平均坡度差, 并绘制以坡度分级 (3 度等差分级) 为横坐标, 其对应频率为纵坐标的坡谱曲线。通过坡谱曲线可以判断地表起伏变化等地貌形态特征<sup>[9-10]</sup>。

分别根据 48 个样区各级的坡度因子, 计算得出各样区坡谱信息熵与偏度<sup>[10-12]</sup>。并与上一步骤提取出的正负地形平均坡度差, 分别与地貌类型分区层面复合, 对陕北黄土高原不同地貌类型区进行空间分异特征的研究。

3 实验结果与分析

3.1 正负地形坡谱对比

对比 6 个典型样区正负地形坡谱曲线 (图 4) 得出:

(1) 除宜君样区外, 其它 5 个典型样区正地形坡谱曲线基本上为单峰曲线, 且由北向南随着地貌类型的变化, 其曲线呈现从近指数分布逐渐转变为近正态分布, 而后又呈指数分布的趋势。坡谱曲线的峰值也体现出随地貌类型变化而先右移后左移的规律。神木地区曲线峰值处于 3~9° 区间, 宜君、淳化地区的曲线峰值处于 0~6° 区间, 反映这 3 个区域正地形地势相对平坦。绥德、延川和甘泉 3 个样区的峰值在 24~33° 之间, 显示黄土高原峁状、梁状和梁状丘陵沟壑区即使沟沿线以上的地形仍然相当陡峭。

(2) 负地形坡谱曲线形态基本属于正态分布且形态较为相似 (神木样区除外), 其峰值较低, 峰值都出现在正地形坡谱曲线峰值的右侧。神木、宜君、淳化地区的负地形相对正地形更加陡峭。但是坡谱曲线随样区地貌类型变化而变化的趋势并不明显。

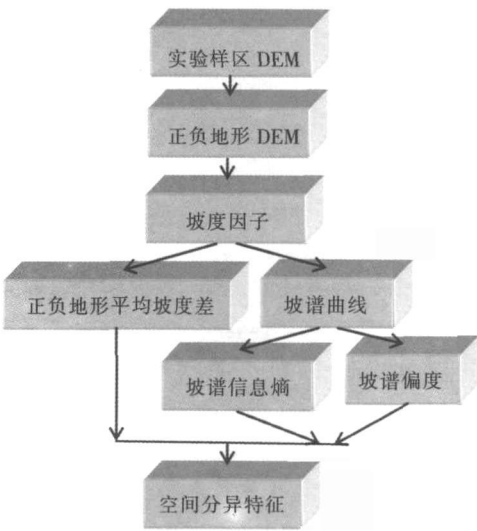


图 3 实验流程图  
Fig.3 Experiment flowchart

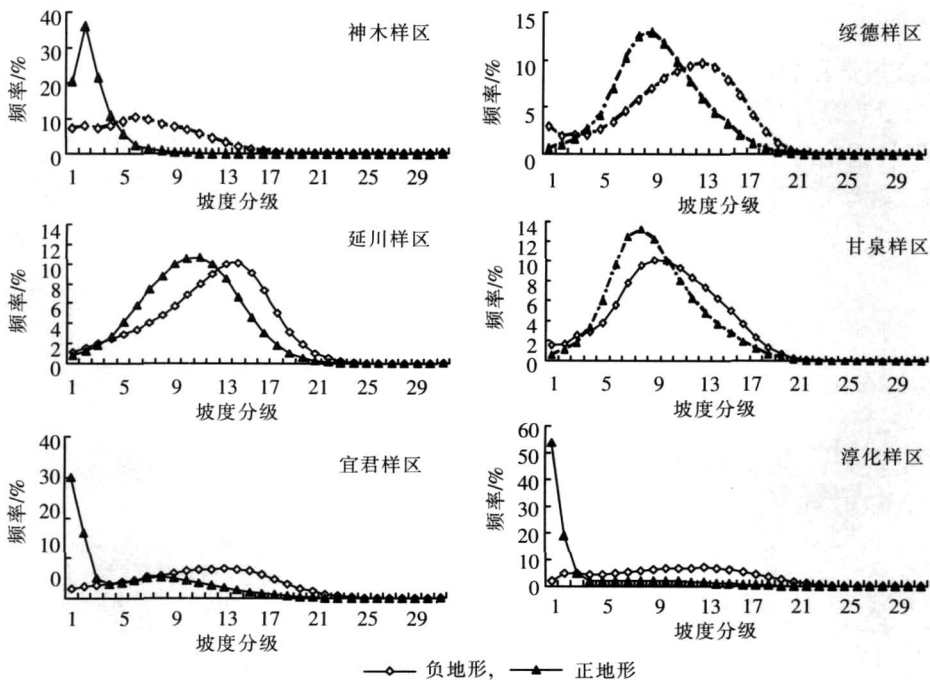


图 4 6 个典型样区正负地形坡谱曲线  
Fig.4 Slope spectrum curves in six typical test areas

3.2 正负地形平均坡度差对比

根据表 2 和图 5 综合分析, 各个地貌类型区的正负地形的平均坡度差表现出如下特点:

表 2 6 个典型样区正负地形平均坡度及平均坡度差  
Table 2 A verage slope of positive and negative terrains  
and their differences in six typical test areas

样区	正地形平均	负地形平均	正负地形平均
	坡度 $^{\circ}$	坡度 $^{\circ}$	坡度差 $^{\circ}$
神木	6.57	18.84	12.27
绥德	27.00	31.70	4.70
延川	28.91	33.79	4.88
甘泉	25.56	28.52	2.95
宜君	14.56	31.53	16.97
淳化	8.07	30.08	22.00

(1) 正负地形坡度差随由北向南地貌类型变化而变化. 黄土高原东北部侵蚀最为严重的黄土梁、峁沟壑地区, 其正负地形平均坡度差值较大, 但未达到最大值; 东南部地区的黄土台塬、残塬以及黄土高原西北部地区正负地形平均坡度值明显大于黄土梁峁沟壑地区; 南部地区的黄土残塬、塬梁地区该值达到最大. 而南部低山区的平均坡度差较低, 至石质和土石山区呈现正地形坡度明显大于负地形的趋势.

(2) 正负地形坡度差值也在一定程度上反映出不同地貌类型沟沿线的明显度. 平均坡度差越高的地区沟沿线越明显, 差值越低的地区沟沿线越模糊. 宜君、淳化等黄土塬梁、残塬地区塬面较为平坦, 但同时地表被诸多大沟深切, 故沟沿线明显度最高; 随着地貌形态进一步发育, 塬面不断被侵蚀分割以绥德为中心的黄土高原梁峁丘陵沟壑区, 沟沿线明显度下降; 而南部低山区沟沿线则几乎消失.

3.3 正负地形坡谱信息熵对比

通过图 6和图 7综合对比分析可见:

(1) 正地形坡谱信息熵随地貌类型区由沙盖黄土低丘、峁状丘陵、梁状丘陵至塬区的逐渐过渡而产生先

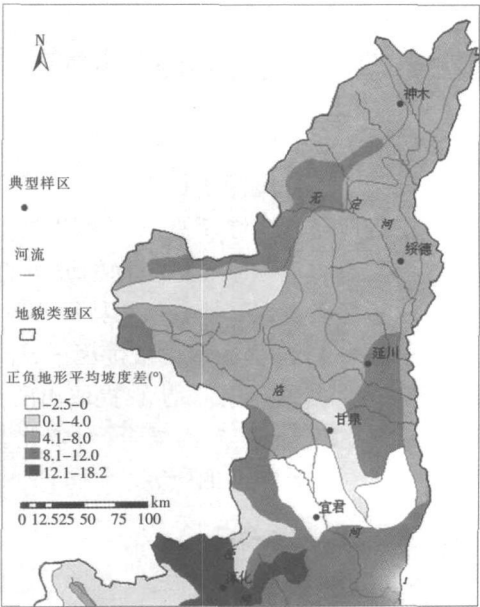


图 5 各地貌类型区正负地形平均坡度差  
Fig.5 Difference of average slope between positive and negative terrains of loess landforms

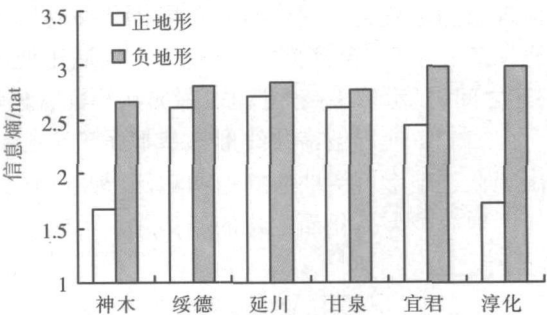


图 6 6 个典型样区正负地形坡谱信息熵  
Fig.6 Slope information entropy of positive and negative terrains in six typical test areas

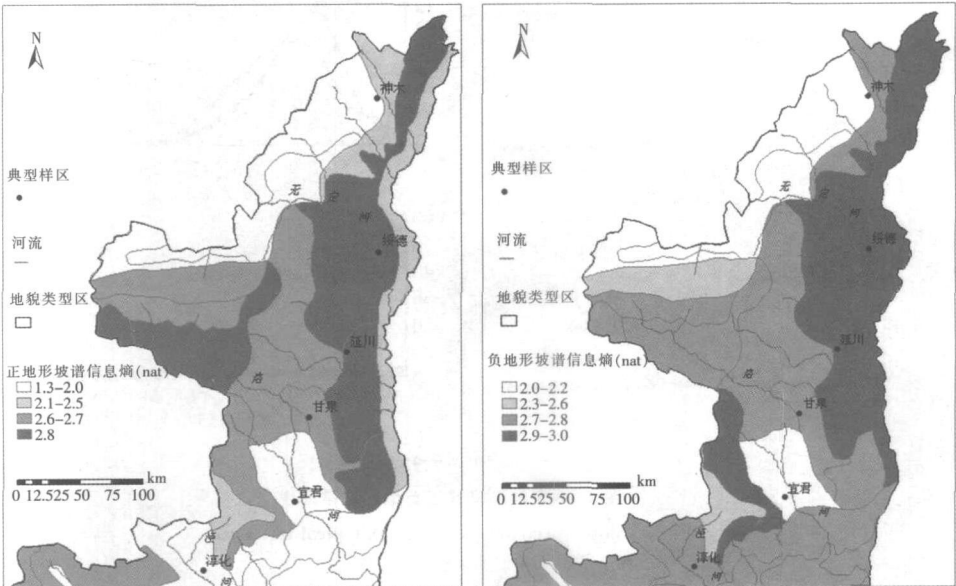


图 7 各地貌类型区正负地形坡谱信息熵对比  
Fig.7 Comparison of slope information entropy of positive and negative terrains of loess landforms

增大后又减小的变化趋势; 而负地形坡谱信息熵值变化幅度不大.

(2) 正负地形坡谱信息熵也在一定程度上反映出正负地形的破碎度. 坡谱信息熵值越高的地区地形破碎度越高; 值越低的地区地形越完整. 处于黄土地貌发育后期的黄土梁峁区, 其正地形和负地形信息熵值都很大, 破碎度很高. 而处于黄土地貌发育初期阶段黄土塬区, 正地形坡谱信息熵较小, 地形较为完整; 负地形坡谱信息熵较高, 地形破碎度较高, 体现了流水侵蚀较坡面侵蚀更为剧烈.

3.4 正负地形坡谱偏度比较

图 8 图 9 分别显示 6 个典型样区及 24 个不同地貌类型区的正负地形坡谱信息偏度对比. 各个地貌类型区的正负地形坡谱偏度表现出如下两方面特点:

(1) 正地形坡谱偏度随地貌类型区由沙盖黄土低丘、峁状丘陵、梁状丘陵至塬区的逐渐过渡而产生先减小后又明显增大的变化趋势. 在黄土梁峁区偏度值最接近 0 值, 而在黄土塬区的偏度值最大; 而负地形坡谱偏度值变化幅度相对较低.

(2) 坡谱偏度反映了各个地貌类型区坡谱曲线的形态, 同时也反映了这些地区地貌发育程度. 黄土梁峁区正地形与负地形坡谱偏度值接近 0 值, 表明坡谱形态接近正态分布, 处于地貌发育后期; 黄土塬区正地形偏度值很高, 对应的负地形偏度值很低, 表明该地貌区正地形较为完整, 负地形侵蚀度远远高于正地形, 处于地貌发育初期.

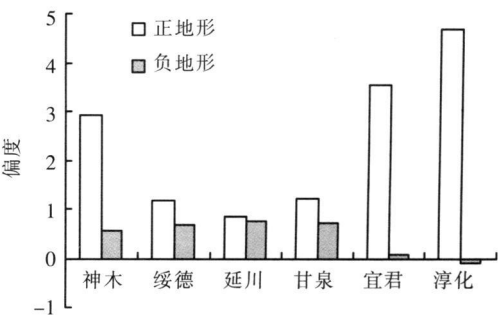


图 8 6 个典型样区正负地形坡谱偏度

Fig.8 Slope skewness of positive and negative terrains in six typical test areas

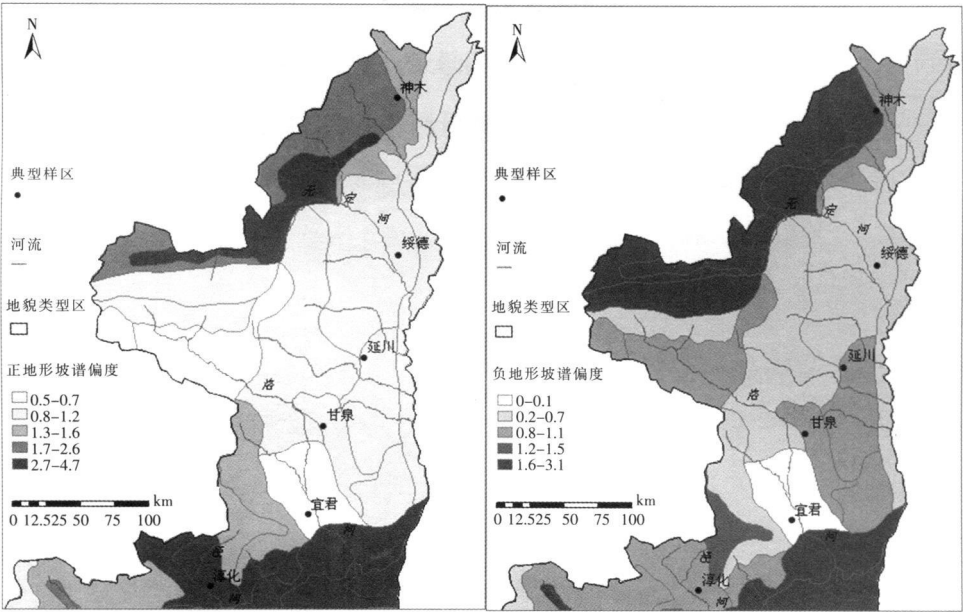


图 9 各地貌类型区正负地形坡谱偏度

Fig.9 Comparison of slope skewness of positive and negative terrains of loess landforms

4 结论

(1) 差异明显的黄土正负地形是黄土地貌的基本特征, 其地面坡谱的个体差异及其空间差异在很大程度上揭示黄土地貌形态的空间分异. 其中, 正负地形坡谱曲线、平均坡度差、坡谱信息熵、坡谱偏度等指标都呈现较强的空间渐变与突变规律性.

(2) 实验结果显示, 平均坡度差、坡谱信息熵、坡谱偏度等指标与沟沿线明显度、地形破碎度、坡谱曲线形态有耦合关系, 并在一定程度上对应着地形发育阶段.

(3) 由于实验样区不足, 本实验基本上基于黄土地貌的分区进行统计分析, 可显示变化的一般规律, 尚不能通过空间内插的方法得到陕北黄土高原地貌形态的连续变异特征. 这在今后的研究中可得以加强.

[参考文献]

- [1] 曹银真. 黄土地区梁峁坡的坡地特征与土壤侵蚀[J]. 地理研究, 1983, 2(3): 19-29.
- [2] 刘迪生. 小比例尺分层设色地势图的编制问题——以苏联 1:2 500 000 比例尺分层设色地势图为例[J]. 地理学报, 1957, 23(4): 447-458.
- [3] 罗来兴. 划分晋西、陕北、陇东黄土区域沟间地与沟谷的地貌类型[J]. 地理学报, 1956, 22(3): 201-222.
- [4] 朱红春, 张友顺, 汤国安, 等. 基于 DEM 的黄土地貌类型提取与制图——以黄土高原丘陵沟壑实验样区为例[J]. 地球信息科学, 2003(4): 110-113.
- [5] 阎国年, 钱亚东, 陈钟明. 基于栅格数字高程模型提取特征地貌技术研究[J]. 地理科学, 1998 18(6): 567-573.
- [6] 刘鹏举, 朱清科, 吴东亮, 等. 基于栅格 DEM 与水流路径的黄土区沟缘线自动提取技术研究[J]. 北京林业大学学报, 2006 28(4): 72-76.
- [7] 肖晨超, 汤国安. 黄土地貌沟沿线类型划分[J]. 干旱区地理, 2007, 30(5): 646-653.
- [8] 周毅. 基于 DEM 的黄土高原正负地形特征研究[D]. 南京: 南京师范大学地理科学学院, 2007.
- [9] Tang Guoan, LiFayuan, Li Xuejun et al. Research on the slope spectrum of the Loess Plateau[J]. Science in China Series E: Technological Sciences, 2008, 51(Supp 1): 175-185.
- [10] LiFayuan, Tang Guoan, Wang Chun, et al. Quantitative analysis and spatial distribution of slope spectrum—a case study in the Loess Plateau in North Shaanxi Province[C] // Chen Jingning, Pu Yingxi. Geoinformatics 2007. Bellingham: Proc of SPIE, 2007.
- [11] 李发源, 汤国安, 贾旖旎, 等. 坡谱信息熵尺度效应及空间分异[J]. 地球信息科学, 2007, 9(4): 13-18.
- [12] 张勇. 黄土高原地面坡谱研究[D]. 西安: 西北大学城市与资源学系, 2003.

[责任编辑: 陆炳新]