基于 ASTRE 和 SRTM 高程数据的坡度和坡长提取与分析

杨勤科[1]，郭兰勤[2]，王春梅[1]

(1. 西北大学 城市与环境学院，陕西 西安 710069；2. 陕西测绘地理信息局，陕西 西安 710054)

摘　要：为了使 SRTM 和 ASTER 高程数据得到科学利用，选择东北漫岗丘陵区和黄土丘陵区，基于网络下载的 SRTM 和 ASTER 高程数据，利用数字地形分析的标准方法进行了数据处理。提取了坡度和坡长两个地形指标并与 Hc-DEM(水文地貌关系正确的数字高程模型)及其提取的地形参数进行了对比，结果表明：(1) 无论是高程、坡度还是坡长，均是 Hc-DEM 系列的数据表现最好，SRTM 次之，ASTER 表现较差；(2) 在地形平坦地区，ASTER 表面因明显的空值和洼地，使高程及其基础上提取的地形参数不具实用价值，但在地形比较陡的地区则可用；(3) 基于 SRTM 和 Hc-DEM 提取的两组坡度和坡长具有相同的格局，但基于 SRTM 的坡度有衰减，坡长有扩展，实际应用前需进行尺度变换。

关键词：SRTM；ASTER GDEM；坡度；坡长；Hc-DEM

文献标识码：B　　**文章编号**：1000-288X(2012)06-0142-05　　**中图分类号**：S157，TP79

Extracting and Analyzing Slope and Slope Length Based on ASTER GDEM and SRTM Elevation Datasets

YANG Qin-ke[1], GUO Lan-qin[2], WANG Chun-mei[1]

(1. *College of Urban and Environment, Northwest University, Xi'an, Shaanxi* 710069, *China*;
2. *Shaanxi Administration of Surveying, Mapping and Geoinformation, Xi'an, Shaanxi* 710054, *China*)

Abstract: In order to establish rational use of ASTER GDEM and SRTM elevation datasets, the slope and slope length have been extracted from the datasets that were downloaded from the website and have been pre-processed. Furthermore, the extracted features were compared with Hc-DEM derived variables. The results showed that: (1) the Hc-DEM derived features were much better than the SRTM and ASTER GDEM derived in terms of all the topographic variables including elevation, slope, and slope length. (2) the variables extracted from ASTER GDEM were unrealistic for the areas with gentle slope, owing to the abnormally void values and irregular sinks, but in steepy area it is useful; (3) the topographic variables extracted from SRTM and Hc-DEM showed similar patterns, while the SRTM based variables featured reduced slopes and extended slope length, suggesting down-scaling may be required if it is applied in hydrological or erosional modelling.

Keywords: **SRTM**; **ASTER GDEM**; **slope**; **slope length**; **Hc-DEM**

随着地形测量和数据处理方法的进步，基于遥感测量方法的高程数据〔如 ASTER(advance spaceborne thermal emission and reflection radiometer) GDEM(global digital elevation model)和 SRTM(shuttle radar topography mission)高程数据，以下简称 SRTM 和 ASTER〕已覆盖全球陆地部分[1-3]，并且得到广泛应用[4]。虽然 SRTM 和 ASTER 数据已被用于土壤侵蚀评价[5-7]，但其在侵蚀评价中的适用性以及如何处理才能得到较为可信的坡度和坡长数据等方面均有待进一步探讨。本文基于 ASTER 和 SRTM 原始数据提取坡度、坡长的方法和工作程序，为土壤侵蚀评价等研究中有效和科学利用公开数据提供参考。

1　数据与方法

1.1　研究区简述

本研究在两个地区展开，包括地势比较平缓的东北漫岗丘陵区和地势比较陡的黄土丘陵区。东北漫岗丘陵位于大小兴安岭和长白山延伸的山前台地，由低平漫川和波状起伏的丘陵组成。黄土丘陵位于黄

收稿日期：2012-08-08　　修回日期：2012-08-19
资助项目：国家自然科学基金项目“中低分辨率坡度变换方法研究”(40971173)，“流域分布式坡长研究”(41071188)；水利部公益性行业专项“基于 GIS 的黄土丘陵区年侵蚀产沙经验模型研究”(201210081-02)
作者简介：杨勤科(1962—)，男(汉族)，陕西省陇县人，教授，主要从事区域土壤侵蚀评价和数字地形分析研究。E-mail：qkyang@nwu.edu.cn。

河中游流域,由梁峁丘陵和沟壑组成。两个区域均因水土流失严重而受到广泛关注。

1.2　基础数据

本研究使用了以下 3 套数据,数据范围均为一个完整的 1∶25 万标准图幅,东北和黄土样区图幅编号分别为 L52C001001 和 J49C004001。3 套数据包括:(1) ASTER 数据。从 ASTER GDEM 全球数据网站下载。原始数据为 tif 格式,每景数据覆盖经纬度各 1°,数据的水平和垂直精度均为 7～50 m,水平分辨率 30 m[8-9]。(2) SRTM 数据。从美国网站下载,原始数据为 geotif 或 ESRI GRID 格式,每景数据覆盖经纬度各 5°,水平和垂直精度分别为 20 和 16 m,水平分辨率约 90 m[9]。(3) Hc-DEM。指水文地貌别正确的 DEM(hydrologically corect DEM),基于 1∶5万数字地形图(其中的等高线、高程点和水系专题层)、在 ANUDEM 软件[10]支持下建立,分辨率为 25 m,ESRI grid 格式(浮点型),典型地区中误差为 6.0 m。

2　数据处理方法

本研究根据数字地形分析的一般程序[8],用网上下载的 ASTER 和 SRTM 高程数据提取坡度和坡长,并与 25 m 分辨率 Hc-DEM 及其派生数据比较。数据处理方法为:

(1) 格式转换和投影变换。将网上下载的 SRTM 和 ASTER,由图像格式转换为 ESRI grid(结果为整型数),拼接后按 1∶25 万标准图幅裁切。将整型 grid 转换为浮点型 grid 并分别对其做投影变换。本研究中用高斯克吕格投影,中央经度线设为图幅中心的经度。ASTER 和 SRTM 的分辨率分别为 30 和 90 m。处理结果详见表 1。

(2) 数据预处理。针对 $SRTM_{25f}$ 和 $ASTER_{90f}$ 做低通滤波(3×3 窗口)和空值填充,结果标记为 $SRTM_{30fp}$ 和 $ASTER_{90fp}$。对 Hc-DEM,重采样为 30 m,结果为 $Hc\text{-}DEM_{30fp}$(表 1)。

(3) 坡度和坡长提取。基于上述处理得到的 7 套数据,在 ArcGIS 中提取坡度,基于 LS_Tool 提取多流向坡长[11-13];将 25 m 分辨率坡度和坡长重新采样为 30 m,结果详见表 1。

(4) 统计分析。针对上述高程数据及其相应的坡度和坡长,做简单统计(包括统计直方图),以便进行相互比较。

表 1　SRTM,ASTER GDEM 和 Hc-DEM 数据处理

数据类型	原始数据	导入 GIS 并拼接	按图幅裁切	转成浮点型数据	投影	滤波、空值、洼地填充	坡度	坡长
$ASTER_1$				—	$ASTER_{30i}$	—	$SLP_{_ASTER30i}$	$Len_{_ASTER30i}$
$ASTER_2$	$ASTER_{01a,\cdots,o1n}$. tif	$ASTER_{02}$	$ASTER_{03}$	$ASTER_{04}$	$ASTE_{30f}$		$SLP_{_ASTER30f}$	$Len_{_ASTER30f}$
$ASTER_3$						$ASTER_{30fp}$	$SLP_{_ASTER30fp}$	$Len_{_ASTER30fp}$
$SRTM_1$				—	$SRTM_{90i}$	—	$SLP_{_SRTM90i}$	$Len_{_SRTM90i}$
$SRTM_2$	$SRTM_{01a,\cdots,01n}$	$SRTM_{02}$	$SRTM_{03}$	$SRTM_{04}$	$SRTM_{90f}$		$SLP_{_SRTM90f}$	$Len_{_SRTM90f}$
$SRTM_3$						$SRTM_{90fp}$	$SLP_{_SRTM90fp}$	$Len_{_SRTM90fp}$
Hc-DEM	$Hc\text{-}DEM_{25}$	—	—	—	—	$Hc\text{-}DEM_{30fp}$	$SLP_{_Hc30}$	$Len_{_Hc30}$

注:(1) $ASTER_1/SRTM_1$, $ASTER_2/SRTM_2$ 和 $ASTER_3/SRTM_3$ 分别为简单处理(图像格式转换成 ESRI grid 和投影转换),半完整处理(图像转 grid、整型转浮点型和投影转换),完整处理的高程数据产品(图像转 grid、整型转浮点型、投影转换、滤波、空值和洼地填充)。(2) 对于整型数的投影,重采样方式默认为 nearest;对于浮点型 grid 的投影,重采样用 bilinear;(3) ASTER 和 SRTM 高程数据,分辨率统一规定为 30 和 90 m。(4) 第二列的下标 $a,b,\cdots,n$ 表示样区涉及的 n 个图像文件;SLP 和 Len 分别表示坡度和坡长;下标 i 表示整型数 grid,f 表示整型数 grid,p 表示对 grid 做空值和洼地填充。

3　结果与分析

3.1　高程数据分析

根据 DEM 表面特征和统计特征、高程变异性以及高程梯度的变化特征,并对 DEM 的质量状况进行分析。

3.1.1　*东北样区的高程数据*　东北样区简单处理(投影变换的整型数)ASTER 和 SRTM(整型数)、经过标准化处理(整型转浮点型、投影变换、空值和洼地填充)的 ASTER 和 SRTM 数据及对应的 Hc-DEM(图 1)。从图 1 的表面结构特征看,Hc-DEM 最好,SRTM 次之。在 ASTER 数据表面,有明显的洼地和不规则的纹理。从典型地区高程梯度(高程在 x,y 方向的偏导数,图 2)可见,这些纹理主要沿东西向分布,原因待查。对 SRTM 高程数据而言,滤波和洼地填充处理前后统计值变化不大,说明预处理效果并不明显,同时是否变换为浮点数对高程影响也不明显(表 2),这有可能与 SRTM 已经过了一系列处理有关。

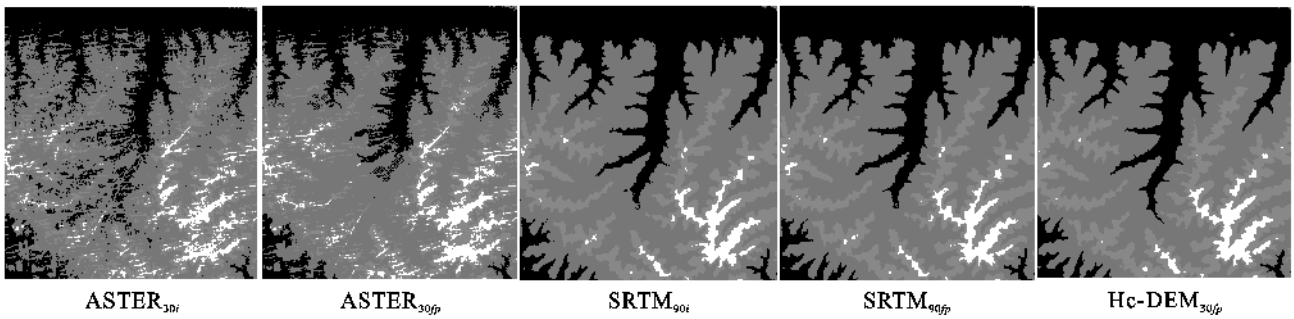


图 1 东北地区的高程数据

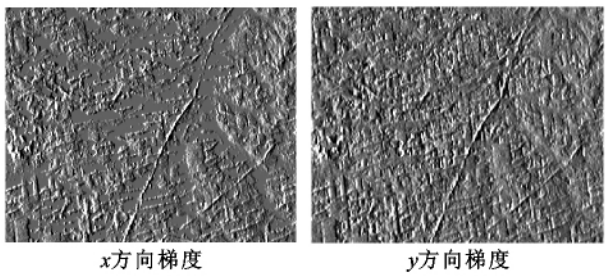


图 2 东北样区 ASTER$_{30fp}$ 的高程梯度(局部样区)

3.1.2 黄土样区的高程数据 3 套数据按照对地形表达的精细程度依次为 Hc-DEM, ASTER 和 SRTM。ASTER 高程数据表面没有明显的凹地和纹理,其对地形的表达优于 SRTM,但是达不到 Hc-DEM 的程度(图 3)。数据预处理也对 DEM 表面的噪音消除有一定影响(表 2)。

3.2 坡度数据分析

坡度主要反映研究地区高程的局地变化,本研究从表面结构和统计分布这两个方面对所选坡度数据进行分析。

3.2.1 东北样区的坡度数据 受到地形不规则纹理的影响,东北样区 ASTER 的坡度表面紊乱,因而已不具备实用价值。而基于 SRTM 的坡度与 SLP$_{Hc30}$ 具有相似的结构,但坡度有所衰减。本研究中的滤波和填洼处理,对 SRTM 坡度影响不明显(图 4,表 3)。

表 2 东北和黄土样区高程统计

数据集	东北样区				黄土样区			
	最小值	最大值	平均值	标准差	最小值	最大值	平均值	标准差
ASTER$_{30i}$	35.00	466.00	222.95	46.86	887.00	1 748.00	1 352.42	146.24
ASTER$_{30f}$	37.48	466.17	222.96	46.82	886.62	1 745.37	1 352.41	146.17
ASTER$_{30fp}$	107.72	465.88	224.77	45.52	895.40	1 744.90	1 353.02	145.79
SRTM$_{90i}$	144.00	456.00	229.62	44.95	909.00	1 738.00	1 352.30	142.09
SRTM$_{90f}$	144.12	456.12	229.62	44.95	909.00	1 738.32	1 352.30	142.09
SRTM$_{90fp}$	145.54	455.45	229.59	44.83	914.42	1 736.75	1 352.47	141.83
Hc-DEM$_{30fp}$	145.92	457.69	231.39	44.22	888.14	1 766.14	1 352.70	144.30

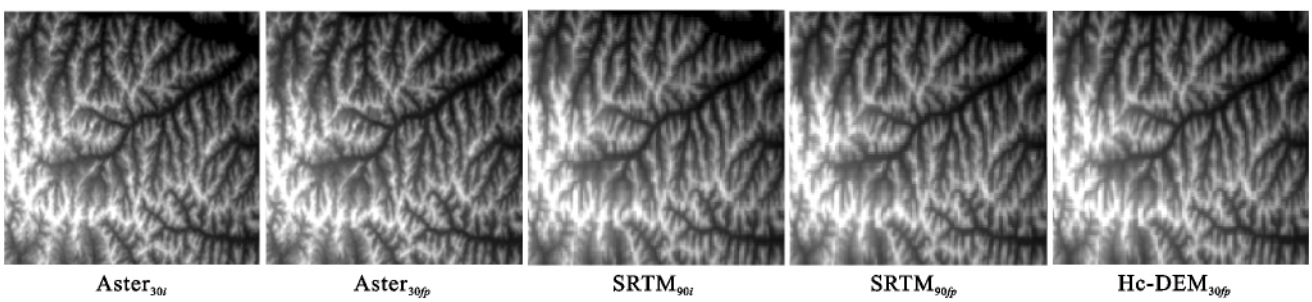


图 3 黄土地区的高程数据

3.2.2 黄土样区的坡度 基于 ASTER,SRTM 和 Hc-DEM 的坡度,基本格局相似。从统计特征看,ASTER 坡度更接近 Hc-DEM 坡度,平均值减少 3°~4°;ASTER 的预处理效果明显、SRTM 的处理效果不甚明显(表 3)。从 Hc-DEM, ASTER 和 SRTM,坡度不断衰减,相对于 Hc-DEM,SRTM 坡度均值衰减达 8°(图 5,表 3),这将对有关参数的计算构成明显影响。

同时,数据由整型数转换为浮点数,对坡度影响也不明显。

表 3　东北和黄土样区坡度统计

数据集	东北样区				黄土样区			
	最小值	最大值	平均值	标准差	最小值	最大值	平均值	标准差
$SLP_{_ASTER30i}$	0	62.395	5.896	4.241	0.00	69.09	18.44	8.51
$SLP_{_ASTER30f}$	0	60.899	5.584	4.044	0.00	68.12	18.16	8.33
$SLP_{_ASTER30fp}$	0	48.809	3.570	3.296	0.00	63.54	17.32	8.73
$SLP_{_SRTM90i}$	0	13.894	1.399	1.169	0.00	39.54	13.26	5.92
$SLP_{_SRTM90f}$	0	13.874	1.392	1.171	0.00	39.52	13.26	5.92
$SLP_{_SRTM90fp}$	0	13.500	1.355	1.172	0.00	38.75	12.91	5.79
$SLP_{_Hc30fp}$	0	21.467	1.442	1.446	0.00	58.13	21.26	8.81

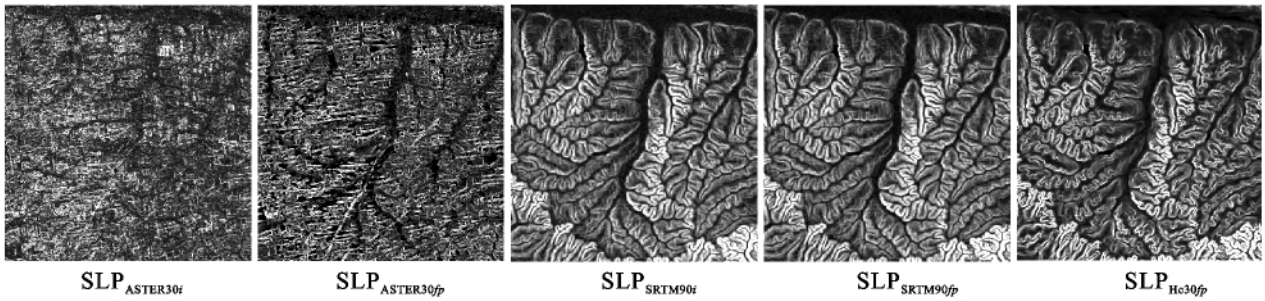


图 4　东北样区的坡度数据

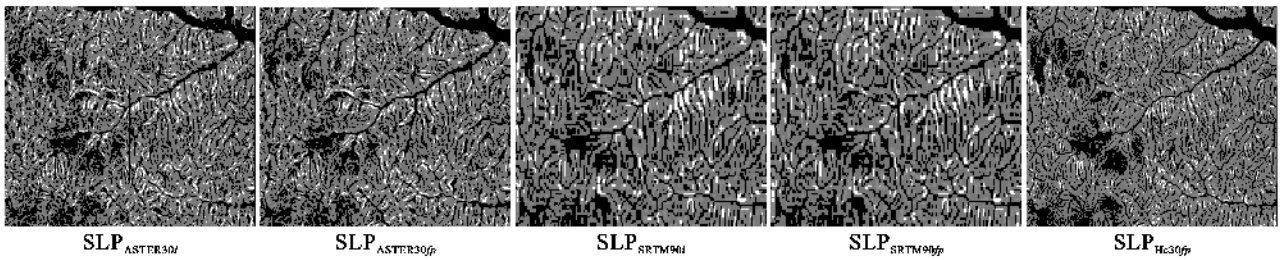


图 5　黄土样区的坡度数据

3.3　坡长数据分析

本研究坡长指流域分布式土壤侵蚀学坡长[11]。本研究从坡长(多流向)表面特征和统计特征两方面进行分析。

3.3.1　东北样区的坡长数据　由坡长提取结果(图 6)看,SRTM 和 Hc-DEM 坡长从表面结构来看都很好,但 Len_{Hc30fp} 更精细。而基于 ASTER 坡长表面结构紊乱,尽管统计特征值与 Len_{Hc30fp} 相近,但是依然不具备实用价值。

相对于 Len_{Hc30fp},SRTM 提取的坡长因为分辨率降低使而有所扩张(增加 23～25 m)。对于 SRTM 高程数据,本研究所做的滤波,对坡长影响不明显(图 6,表 4)。SRTM 因为投影转换坡长统计值出现异常,原因有待查明。

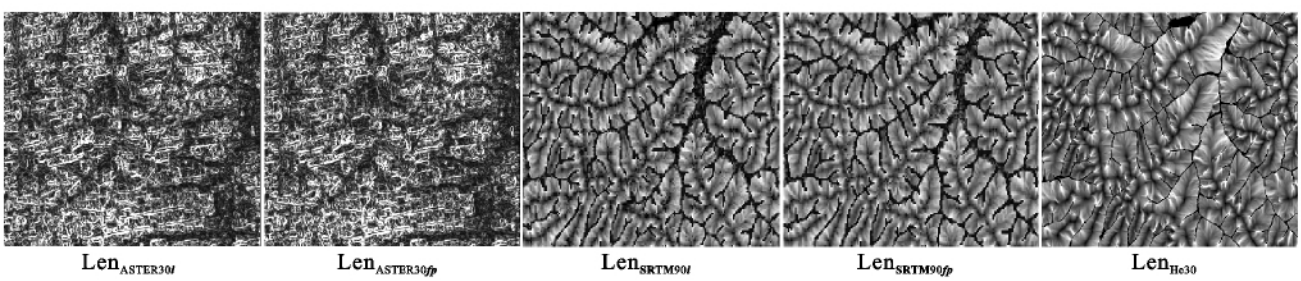


图 6　东北样区的坡长数据

3.3.2　黄土样区的坡长分析　基于 ASTER,SRTM 和 Hc-DEM 提取的坡长,基本格局相似,依然是基于 Hc-DEM 的坡长结构最好。

相对于 Len_{Hc30fp},基于 ASTER 和 SRTM 的坡长均有所扩张,扩张幅度 11～25 m;$Len_{ASTER30i}$ 平均坡长小于 Len_{Hc30fp} 是由于 ASTER 表面微小局地起伏所

致，可见前处理中的滤波是必要的。SRTM 是否经过滤波，对黄土样区坡长影响也不明显。值得注意的是，将整型数转换为浮点数，对坡长提取结果有比较明显的影响（表 3）。

表 4 东北和黄土样区坡长统计

数据集	东北样区				黄土样区			
	最小值	最大值	平均值	标准差	最小值	最大值	平均值	标准差
$Len_{ASTER30i}$	30.00	10 486.99	127.99	163.36	15	4 416.66	227.36	320.18
$Len_{ASTER30f}$	30.00	45 816.38	167.54	256.98	15	4 407.00	244.89	351.15
$Len_{ASTER30fp}$	30.00	40 567.70	191.63	385.16	15	4 389.88	244.48	359.07
$Len_{SRTM90i}$	45.00	1 526.89	235.77	216.22	45	1 501.97	255.98	211.41
$Len_{SRTM90f}$	45.00	24 972.76	415.72	570.35	45	1 498.57	256.02	211.30
$Len_{SRTM90fp}$	45.00	1 540.87	269.64	223.12	45	1 506.23	258.42	213.40
Len_{Hc30fp}	15.00	4 537.64	428.82	424.79	15	4 452.03	232.81	373.76

4 结 论

（1）从网上下载的 ASTER 和 SRTM 高程数据，须经过一系列预处理方可用于坡度、坡长等地形信息方面的提取与分析，处理包括：格式转换（导入 GIS 并由整型转为浮点型）、投影变换、空值和凹地填充和滤波除噪等。

（2）在地形比较平缓的东北样区，现有 ASTER 高程数据及其提取的坡度和坡长，基本不具有实用意义。如何消除其表面的洼地和不规则纹理，有待研究。但在地形比较陡的黄土样区，ASTER 经过必要的预处理尚可应用。

（3）两个样区的 SRTM 数据，其上提取的坡度、坡长与基于地形图的 DEM 及其派生数据产品具有相同的格局，具有一定实用性。但需要注意的是，受到分辨率的限制，基于 SRTM 的坡度具有一定程度的衰减、坡长具有一定程度的扩展，因而将坡度和坡长两个参数应用于土壤侵蚀预报等有关研究前，需对其进行降尺度变换。

（4）基于遥感的高程数据，其表面高度会受到植被和建筑物等的影响，因而并非裸露地表的高度，所以不是严格意义上的 DEM，所以将 SRTM 和 ASTER 高程数据直接作为 DEM 应用，从科学概念上讲是不严密的。国际地球科学共享中心（http://datamirror.csdb.cn/admin/productdemMain.jsp）可免费下载覆盖全国的 ASTER 和 SRTM 高程数据，坡度和坡位等数据产品。由于不了解该数据产品生产方法，因而本研究未做评价。但是正如该网站所讲，“由 ASTER GDEM 第一版加工的坡度数据产品存在个别区域的数据异常现象，用户使用过程中需要注意”。

[参 考 文 献]

[1] Rabus B, Eineder M, Roth A, et al. The shuttle radar topography mission: A new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar[J]. Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2003, 57(4): 241-262.

[2] Tachikawa T, Kaku M, Iwasaki A. ASTER GDEM Version 2 Validation Report[R]. Report to the ASTER GDEM Version 2 Validation Team, 2011.

[3] Nelson A, Reuter H I, Gessler P. DEM Production Methods and Sources[M]// Hengl T, Reuter H I. Geomorphometry: Concepts, Software, and Applications. Elsevier: Amsterdam, 2009: 65-85.

[4] Yang Liping, Meng Xingmin, Zhang Xiaoqiang. SRTM DEM and its application advances[J]. International Journal of Remote Sensing, 2011, 32(14): 3875-3896.

[5] 王超. 基于 RS/GIS 的渭河流域土壤侵蚀评价研究[D]. 陕西 西安：西北大学，2010.

[6] 张树文，王文娟，李颖，等. 近 50 年来三江平原土壤侵蚀动态分析[J]. 资源科学，2008，30(6)：843-849.

[7] 信忠保，许炯心. 黄土高原面积—高程分析及其侵蚀地貌学意义[J]. 山地学报，2008，26(3)：356-363.

[8] Pike RR, Evans I S, Hengl T, Geomorphometry: A brief Guide[M]// Hengl T, Reuter H I. Geomorphometry: Concepts, Software, and Applications. Elsevier: Amsterdam. 2009: 3-30.

[9] ASTER-GDEM-Validation-Team. ASTER global Digital Elevation Model Version: Summary of Validation Results[R]. ASTER-GDEM-Validation-Team, 2011.

[10] Hutchinson M F. ANUDEM Version 5.2[M]. Canberra: The Australian National University, Centre for Resource and Environmental Studies, 2010.

[11] 杨勤科，郭伟玲，张宏鸣，等. 基于 GIS 和 DEM 的流域坡度坡长因子计算方法初报[J]. 水土保持通报，2010，30(2)：203-206.

[12] 张宏鸣，杨勤科，郭伟玲，等. 基于 GIS 的区域坡度坡长因子提取算法[J]. 计算机工程，2010，36(9)：246-248.

[13] 张宏鸣，杨勤科，李锐，等. 流域分布式侵蚀学坡长的估算方法研究[J]. 水利学报，2012，43(4)：437-443.