

# 基于地形坡度的大别山区商城县土壤侵蚀研究

李亚平<sup>1,2</sup>, 卢小平<sup>1\*</sup>, 刘冰<sup>2</sup>, 张雷<sup>2</sup>, 张斌<sup>2</sup>

(1. 河南理工大学测绘与国土信息工程学院, 河南 焦作 454003;

2. 河南省航空物探遥感中心, 河南 郑州 450053)

**摘要:** 使用基于地形坡度的土壤侵蚀要素提取方法, 选择大别山区商城县为研究区, 利用 TM/OLI 和 SPOT 5/GF-1 数据得到植被覆盖度和土地利用类型图, 并结合 DEM 数据生成的地形坡度因子, 基于 GIS/RS 提取土壤侵蚀信息及其时空变化量。结果显示, 研究区 2011 年和 2016 年的土壤侵蚀主要分布在南部中低山地区, 以轻度侵蚀为主, 分别占总侵蚀面积的 81.13% 和 83.97%; 土壤侵蚀主要发生在坡度为 5°~25° 的区域, 且随着坡度增大土壤侵蚀越严重; 耕地的土壤侵蚀最严重; 2011—2016 年间虽然大部分区域土壤侵蚀状况不变, 但整体有所加重。

**关键词:** 土壤侵蚀; 地形坡度; 遥感; 地理信息系统; 大别山区

中图分类号: S157; TP79

文献标志码: B

文章编号: 1006-2009(2019)06-0023-05

## Study on Soil Erosion in Shangcheng County Dabie Mountain Region Based on Terrain Slope

LI Ya-ping<sup>1,2</sup>, LU Xiao-ping<sup>1\*</sup>, LIU Bing<sup>2</sup>, ZHANG Lei<sup>2</sup>, ZHANG Bin<sup>2</sup>

(1. Henan Polytechnic University, School of Surveying and Land Informatics, Jiaozuo, Henan 454003, China;

2. Henan Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center, Zhengzhou, Henan 450053, China)

**Abstract:** This paper used a method for studying soil erosion in Shangcheng county Dabie mountains region, based on topographic gradient factors obtained from DEM data, vegetation coverage and land-use type maps from TM/OLI and SPOT 5/GF-1 data, and the soil erosion information and its spatial-temporal variation from GIS/RS. The results showed that the soil erosion was mainly slight and distributed in the southern middle and low mountain area in 2011 and 2016, accounting for 81.13% and 83.97% of the total eroded area, respectively. The soil erosion mainly occurred on a gradient of 5°~25°, and was serious with the increase of gradient. The erosion of farmland was most serious. From 2011 to 2016, the situation of soil erosion remained unchanged in most regions, but became worse overall.

**Key words:** Soil erosion; Topographic gradient; Remote sensing (RS); Geographical information system (GIS); Dabie mountains region

土壤侵蚀被视为世界 3 大环境问题之一, 会导致土壤肥力流失、泥沙淤积和土地退化等, 对区域可持续发展产生巨大威胁<sup>[1-3]</sup>。中国是世界上土壤侵蚀程度最严重的国家之一<sup>[4]</sup>, 遭受土壤侵蚀的面积约 360 万 km<sup>2</sup>, 占国土面积的 37%<sup>[5]</sup>。因此, 掌握土壤侵蚀量的空间分布和动态变化规律, 对指导和优化水土保持措施和配置、保护水土资源和实现可持续发展等具有重要意义<sup>[6-8]</sup>。目前调查土壤侵蚀的方法主要有: 通过模式识别直接获取

土壤侵蚀信息; 通过间接指标的人工综合分析获取土壤侵蚀信息<sup>[9]</sup>; 通过同位素示踪进行土壤侵蚀监测<sup>[10]</sup>。这些方法存在所需参数多, 数据获取难

收稿日期: 2018-09-05; 修订日期: 2019-08-27

基金项目: 2016 年国家重点研发计划基金资助项目 (2016YFC0803103); 2017 年河南省地矿局地质科研类基金资助项目 (豫地矿科研[2017]14 号)

作者简介: 李亚平 (1993—), 女, 河南焦作人, 硕士, 研究方向为地质环境遥感。

\* 通信作者: 卢小平 E-mail: lxp@huyp.edu.cn

且处理过程复杂等问题<sup>[11]</sup>。

今采用基于地形坡度的土壤侵蚀提取方法,该方法以 DEM 数据生成的地形坡度作为主要影响因素,综合利用 GIS 与 RS 技术,能更快速准确地提取土壤侵蚀要素及土壤侵蚀程度的时空变化量,节省了大量的成本,更有利于推广运用,为大别山区的土壤侵蚀防治和生态环境可持续发展提供可靠依据。

## 1 数据与方法

### 1.1 研究区概况

大别山区是我国典型的集山区、贫困区、水土流失严重区于一体的特殊地区,严重的水土流失阻碍了当地经济社会发展和人民脱贫致富<sup>[12]</sup>。今选择大别山区的商城县全域作为研究区,该区域位于大别山北麓,地理位置 E115°06′~E115°37′,N31°23′~N32°05′,土地总面积 2 109.66 km<sup>2</sup>,海拔高程 44.5 m~1 584 m,最大高差 1 539.5 m,地势由南向北倾斜,形成中低山、低山丘陵和丘陵垄岗 3 大自然区,气候属亚热带北部大陆性气候,境内植物因受南北过渡气候和地形影响,过渡特点明显。

### 1.2 实验数据及处理

研究使用的数据包括:①Landsat 卫星 2011 年和 2016 年空间分辨率为 30 m 的 TM 和 OLI 遥感数据,主要用于植被覆盖度信息提取;②2016 年空间分辨率为 2 m 的 GF-1 数据和 2011 年空间分辨率为 2.5 m 的 SPOT 5 数据,用于土地利用数据提取;③分辨率为 10 m 的 DEM 数据,用于生成地形坡度。对数据进行投影坐标转换,使坐标统一,对影像做图像校正、图像增强与裁剪等预处理。

### 1.3 研究方法

#### 1.3.1 植被覆盖度信息提取

植被是影响土壤侵蚀最重要的环境因子,是控制土壤侵蚀的积极因素<sup>[13]</sup>。研究区植被覆盖度提取采用 NDVI 像元二分模型方法<sup>[14]</sup>,即

$$NDVI = (\rho_{NIR} - \rho_R) / (\rho_{NIR} + \rho_R) \quad (1)$$

$$f = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \quad (2)$$

式中:NDVI 为所求像元的归一化植被指数; $\rho_{NIR}$ 、 $\rho_R$  分别为近红外波段和红光波段的反射率; $f$  为植被覆盖度; $NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$  分别为无植被覆盖和被植被完全覆盖区域像元的 NDVI 值。根据《土壤侵蚀分类分级标准》(SL 190—2007)(以下简称《侵蚀分级标准》),将植被覆盖度分为 0 ~

30%、30%~45%、45%~60%、60%~75%、 $\geq 75\%$  5 个等级,生成研究区植被覆盖度分级图。

#### 1.3.2 土地利用信息提取

运用研究区遥感影像在遥感软件平台支持下建立解译标志,采用人机交互解译,将研究区分为耕地、林地、草地、建设用地、水体和湿地 6 类,做外业验证与内业修正,直到满足精度要求,得到研究区土地利用分类数据。

#### 1.3.3 坡度信息提取

运用研究区 DEM 数据,基于 GIS 平台提取坡度信息,并根据《侵蚀分级标准》将坡度分为 0°~5°、5°~8°、8°~15°、15°~25°、25°~35°、>35° 6 个等级,生成坡度分级图。

## 2 结果与讨论

### 2.1 土壤侵蚀等级分布

根据《侵蚀分级标准》,运用 GIS 叠加分析技术,结合研究区土地利用类型图、植被覆盖度和坡度分级图,将研究区土壤侵蚀强度等级分为微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈 6 类,生成 2011 年和 2016 年研究区土壤侵蚀强度等级分布,见图 1(a)(b)。经野外实地核查验证,结果可靠有效,能为研究土壤侵蚀空间分布特征与变化趋势提供依据。

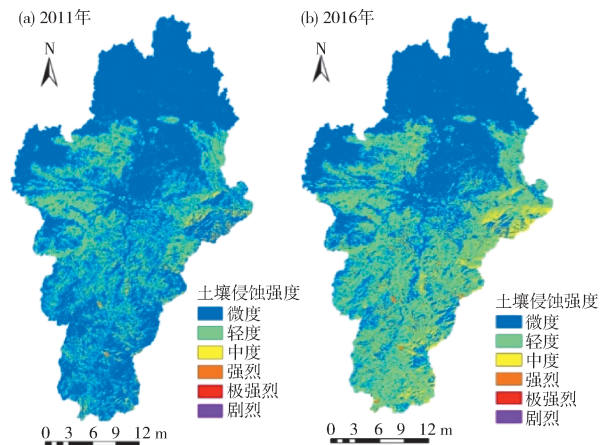


图1 2011年和2016年研究区土壤侵蚀强度分级分布

Fig. 1 Distribution of soil erosion intensity classification in 2011 and 2016

### 2.2 土壤侵蚀空间特征分析

由于微度侵蚀在可允许侵蚀范围内,今提出的侵蚀面积包含轻度及以上侵蚀等级的面积。由图 1(b)可见,研究区受地形影响从北向南随着地势

的升高土壤侵蚀程度也愈发严重。研究区南部地区地势较陡,土壤所受的降雨冲刷程度更大,故其土壤侵蚀程度整体比北部平缓地区严重。由土壤侵蚀强度等级统计 2011 年和 2016 年研究区土壤侵蚀状况,见表 1。由表 1 可知,研究区 2011 年和

2016 年土壤侵蚀面积分别占总面积的 27.77% 和 42.80%,侵蚀区域以轻度侵蚀为主。从 2011—2016 年侵蚀面积变化来看,总的侵蚀面积虽有显著增加,但主要是轻度和中度侵蚀的面积增加,强烈及以上侵蚀等级的面积均有减少。

表 1 2011 和 2016 年土壤侵蚀状况  
Table 1 Situation of soil erosion in 2011 and 2016

侵蚀强度等级	2011 年			2016 年		
	面积 A/km <sup>2</sup>	占总面积比例 /%	占侵蚀面积比例 /%	面积 A/km <sup>2</sup>	占总面积比例 /%	占侵蚀面积比例 /%
微度侵蚀	1 523.81	72.23		1 206.68	57.20	
轻度侵蚀	475.27	22.53	81.13	758.21	35.94	83.97
中度侵蚀	95.44	4.52	16.29	130.21	6.17	14.42
强烈侵蚀	13.29	0.63	2.27	12.98	0.62	1.44
极强烈侵蚀	1.00	0.05	0.17	0.80	0.04	0.09
剧烈侵蚀	0.85	0.04	0.14	0.78	0.04	0.09
侵蚀面积	585.85	27.77	100	902.98	42.80	100

为反映土壤受侵蚀的强烈程度,引入土壤侵蚀综合指数(INDEX)<sup>[15]</sup>,其计算公式如下:

$$INDEX = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m W_{ij} A_{ij} \quad (3)$$

式中:  $A_{ij}$  为第  $i$  类第  $j$  级土壤侵蚀强度面积比例;  $W_{ij}$  为第  $i$  类第  $j$  级土壤侵蚀强度的分级值,微度、轻度、中度、强烈、极强烈和剧烈的分级值分别为 0、2、4、6、8 和 10。

表 2 为研究区 2016 年不同地形坡度和高程下的土壤侵蚀综合指数。由表 2 可知,随着坡度和高程的升高,土壤侵蚀综合指数也整体呈升高趋势,而土壤侵蚀面积比例分别呈先增大后减小和持续减小趋势。土壤侵蚀面积及比例仅代表了土壤侵蚀的范围大小,而土壤侵蚀综合指数反映了土壤侵蚀的强烈程度,故两者的趋势存在差异。

表 2 不同坡度和高程下的土壤侵蚀综合指数(INDEX)  
Table 2 Soil erosion comprehensive index(INDEX)  
at different slopes or elevations

坡度分级 /°	侵蚀面积 比例/%	INDEX	高程分级 h/m	侵蚀面积 比例/%	INDEX
0~5	0	0	<300	67.79	0.81
5~8	28.43	1.92	300~500	20.28	1.74
8~15	38.29	1.98	500~700	6.98	1.80
15~25	24.63	1.65	700~900	2.81	1.86
25~35	7.49	2.84	900~1 100	1.32	2.21
>35	1.16	4.09	1 100~1 300	0.69	2.83
			>1 300	0.13	3.13

### 2.3 不同坡度土壤侵蚀特征分析

坡度是影响土壤侵蚀的最主要地形因子<sup>[16]</sup>,通过叠加分析 2016 年坡度和土壤侵蚀强度分级图,得到土壤侵蚀强度在不同坡度带的分布情况,见表 3。由表 3 可知,土壤侵蚀主要发生在坡度为 5°~25°的区域,占总侵蚀面积的 91.35%,该区域内坡耕地、荒草地和疏林地所占比例较大;坡度越高的区域内,主要包含的土壤侵蚀等级越高,因为随着坡度增加,地表径流与冲刷强度也显著增重,对土壤侵蚀的贡献力越大。

### 2.4 不同高程区间土壤侵蚀特征分析

通过叠加分析 2016 年高程数据和土壤侵蚀强度分级图,得到土壤侵蚀强度在不同高程区间的分布情况,见表 4。由表 4 可知,极强烈和剧烈侵蚀面积比例随着高程升高先增加后减少,其他侵蚀等级均呈持续减少趋势;土壤侵蚀主要分布在高程 < 500 m 的区域内,主要为轻度侵蚀,这是由于该区域属于低山丘陵区,受人类活动影响较大,坡耕地和遭受破坏的林地所占面积大,故侵蚀较严重。

### 2.5 不同土地利用类型土壤侵蚀特征分析

通过叠加分析 2016 年土地利用分布图和土壤侵蚀强度分级图可以发现,林地的土壤侵蚀面积最大,约占总侵蚀面积的 73.74%,耕地次之。不同土地利用类型条件下的土壤侵蚀状况见表 5。由表 5 可知,轻度侵蚀和中度侵蚀主要分布在林地,

强烈及以上侵蚀等级主要分布在耕地,这是由于研究区森林覆盖率较高,林地所占面积大,且主要分布在南部地势陡峭地区,故侵蚀面积比例较大;坡耕地分布也较广,是土壤侵蚀的主要来源之一。

表 3 不同坡度下的土壤侵蚀面积及其占比

Table 3 Soil erosion area at different slopes and its proportion to the total area

坡度/ $^{\circ}$	微度		轻度		中度		强烈		极强烈		剧烈	
	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%
0~5	1 031.94	85.52	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5~8	12.17	1.01	255.29	33.67	1.45	1.11	0	0	0	0	0	0
8~15	53.30	4.42	295.55	38.98	50.18	38.54	0	0	0	0	0	0
15~25	79.31	6.57	207.37	27.35	3.50	2.69	11.54	88.90	0	0	0	0
25~35	27.81	2.30	0	0	67.07	51.51	0.52	4.01	0	0	0	0
>35	2.15	0.18	0	0	8.01	6.15	0.92	7.09	0.80	100	0.78	100
合计	1 206.68	100	758.21	100	130.21	100	12.98	100	0.80	100	0.78	100

表 4 不同高程下的土壤侵蚀面积及其占比

Table 4 Soil erosion area at different elevations and its proportion to the total area

高程 $h/\text{m}$	微度		轻度		中度		强烈		极强烈		剧烈	
	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%
<300	1 072.79	88.9	552.87	72.92	51.29	39.39	7.72	59.49	0	0	0.21	26.92
300~500	75.18	6.23	146.68	19.35	32.26	24.77	3.61	27.77	0	0	0.57	73.08
500~700	34.38	2.85	39.08	5.15	23.08	17.73	0.89	6.84	0	0	0	0
700~900	16.12	1.34	12.75	1.68	12.25	9.41	0.29	2.20	0.11	13.75	0	0
900~1 100	6.05	0.50	4.58	0.60	6.86	5.27	0.26	2.04	0.20	25.00	0	0
1 100~1 300	2.02	0.17	1.93	0.26	3.59	2.76	0.20	1.57	0.49	61.25	0	0
>1 300	0.14	0.01	0.32	0.04	0.88	0.67	0.01	0.09	0	0	0	0

表 5 不同土地利用类型下的土壤侵蚀面积及其占比

Table 5 Soil erosion area at different land-use types and its proportion to the total area

土地利用类型	微度		轻度		中度		强烈		极强烈		剧烈	
	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%	面积 $A/\text{km}^2$	占比 /%
耕地	472.57	39.17	65.53	8.64	43.52	33.42	10.64	82.00	0.56	70.00	0.78	100
林地	377.23	31.26	583.10	76.91	80.49	61.82	2.02	15.55	0.24	30.00	0	0
草地	96.69	8.01	53.32	7.03	2.11	1.62	0.12	0.94	0	0	0	0
建设用地	134.89	11.18	33.30	4.39	1.07	0.82	0.11	0.87	0	0	0	0
水体	107.78	8.93	19.93	2.63	2.86	2.20	0.08	0.58	0	0	0	0
湿地	17.52	1.45	3.03	0.40	0.16	0.12	0.01	0.06	0	0	0	0

## 2.6 土壤侵蚀时空变化分析

通过叠加分析 2011 年和 2016 年土壤侵蚀分级图,得到土壤侵蚀强度空间转化,见图 2 和表 6。分析可知,虽然研究区土壤侵蚀状况在 2011—2016 年间大部分区域保持不变,约 1 764.94  $\text{km}^2$ ,且主要分布在商城县北部地势平缓区域,但整体上有一定程度的加重,加重区域约有 327.63  $\text{km}^2$ ,重点分布在南部地势较高的丘陵垄岗区。对比分析

2011 年和 2016 年土地类型变化情况发现,由于人类对经济利益的追求导致研究区林地和湿地面积有所减少,其中林地减少最多,且主要转变为了草地和耕地;其他地类的面积都有增加,建设用地增加最多。减少土壤侵蚀的常用方法有坡改梯田或退耕还林<sup>[17-19]</sup>,大别山区林地面积所占比例虽然最大,但有些经济林未采取任何水土保持措施,地表裸露。大别山区坡耕地面积较大,对于坡耕地最

好坡改梯或等高耕种。

[参考文献]

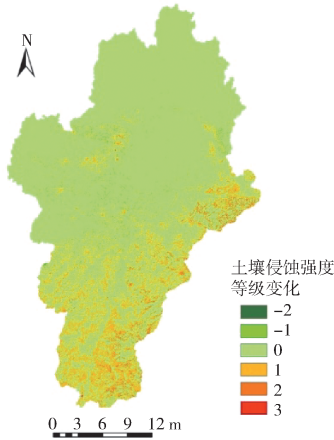


图 2 2011—2016 年土壤侵蚀强度变化分布

Fig.2 Distribution of soil erosion intensity changes from 2011 to 2016

表 6 2011—2016 年不同土壤侵蚀强度变化下的面积及其占比

Table 6 Area of different soil erosion intensity changes from 2011 to 2016 and its proportion to the total area

等级变化类型	级差	面积 A/km <sup>2</sup>	占比/%
降低	-2	0.42	0.02
	-1	16.67	0.79
不变	0	1 764.94	83.66
升高	1	286.49	13.58
	2	40.72	1.93
	3	0.42	0.02

3 结论

(1) 通过分析大别山区商城县 2011 年和 2016 年的土壤侵蚀状况发现, 研究区 2011 年和 2016 年土壤侵蚀面积分别占区域总面积的 27.77% 和 42.80%, 以轻度侵蚀为主, 受地形影响土壤侵蚀程度从北向南随着地势的升高也愈发严重, 2011—2016 年间虽然大部分区域侵蚀程度保持不变, 但整体上在南部地区有一定程度的加重。

(2) 土壤侵蚀主要分布在高程 < 500 m 区域内; 坡度越高的区域包含的土壤侵蚀等级越高; 受人类活动影响的林地和坡耕地土壤侵蚀程度较高。

(3) 大别山区土壤侵蚀治理应首先加强对剧烈侵蚀区域的治理, 主要分布在坡度 > 35° 的耕地区域, 应坚决退耕还林, 抵制陡坡开垦和只种不养, 保护高密度草地和湿地, 防止演化为水土易流失的其他土地利用/覆盖类型。

[1] 王志杰, 苏娜, 王志泰. 基于 GIS 的汉江上游文川河流域土壤侵蚀特征研究[J]. 西北林学院学报, 2016, 31(1): 199 - 205.

[2] 朱军, 李益敏, 蒋德明. 基于 GIS 和 RUSLE 的高山峡谷区土壤侵蚀研究——以云南省泸水县为例[J]. 水土保持通报, 2016, 36(3): 277 - 283.

[3] 陈思旭, 杨小唤, 肖林林, 等. 基于 RUSLE 模型的南方丘陵山区土壤侵蚀研究[J]. 资源科学, 2014, 36(6): 1288 - 1297.

[4] 程琳, 杨勤科, 谢红霞, 等. 基于 GIS 和 CSLE 的陕西省土壤侵蚀定量评价方法研究[J]. 水土保持学报, 2009, 23(5): 61 - 66.

[5] 王雪梅, 托尔巴依尔, 柴仲平. 开发建设项目水土保持监测与评价——以玛纳斯电厂三期扩建工程为例[J]. 环境监测管理和技术, 2011, 23(6): 35 - 39.

[6] 李天宏, 郑丽娜. 基于 RUSLE 模型的延河流域 2001—2010 年土壤侵蚀动态变化[J]. 自然资源学报, 2012, 27(7): 1164 - 1175.

[7] 蔡志洲, 刘镭, 杨悦, 等. 无人机助力铁路施工期环境监理的研究[J]. 环境监测管理和技术, 2017, 29(4): 1 - 4.

[8] MAHALA A. Soil erosion estimation using RUSLE and GIS techniques: a study of a plateau fringe region of tropical environment [J]. Arabian Journal of Geosciences, 2018, 11(13): 1 - 18.

[9] 余瞰, 柯长青. 遥感与 GIS 支持下的土壤侵蚀强度快速评价方法研究[J]. 国土资源遥感, 2007, 19(3): 82 - 84.

[10] 颜耕, 周磊, 陈玲. 同位素技术在环境科学研究中的应用进展[J]. 环境监测管理和技术, 2018, 30(2): 1 - 4.

[11] QIN W, GUO Q K, CAO W H, et al. A new RUSLE slope length factor and its application to soil erosion assessment in a Loess Plateau watershed[J]. Soil and Tillage Research, 2018, 182: 10 - 24.

[12] 史志刚. 大别山区水土保持工作探析[J]. 中国水利, 2012(12): 31 - 32.

[13] 肖继兵, 孙占祥, 刘志, 等. 降雨侵蚀因子和植被类型及覆盖度对坡耕地土壤侵蚀的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(22): 159 - 166.

[14] 胡玉福, 蒋双龙, 刘宇, 等. 基于 RS 的安宁河上游植被覆盖时空变化研究[J]. 农业机械学报, 2014, 45(5): 205 - 215.

[15] 王星, 李占斌, 李鹏, 等. 宁强县土壤侵蚀的地貌分布特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(11): 132 - 137.

[16] 李大伟, 赵文廷, 尹海魁, 等. 涿源县土壤侵蚀与地形分布特征研究[J]. 土壤通报, 2016, 47(3): 705 - 712.

[17] 陆建忠, 陈晓玲, 李辉, 等. 基于 GIS/RS 和 USLE 鄱阳湖流域土壤侵蚀变化[J]. 农业工程学报, 2011, 27(2): 337 - 344.

[18] 张志新, 邓孺孺, 李灏, 等. 基于混合像元分解的南方地区植被覆盖度遥感监测——以广州市为例[J]. 国土资源遥感, 2011, 23(3): 88 - 94.

[19] LI Y, BAI X Y, ZHOU Y C, et al. Spatial-temporal evolution of soil erosion in a typical mountainous Karst basin in SW China, based on GIS and RUSLE[J]. Arabian Journal for Science and Engineering, 2016, 41(1): 209 - 221.

本栏目编辑 谢咏梅