

# 重庆市开县土壤侵蚀自动评价研究

聂 勇<sup>1,2</sup>, 范建容<sup>1</sup>, 杨阿强<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院、水利部成都山地灾害与环境研究所, 成都 610041; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘 要:** 本次土壤侵蚀自动评价采用 TM 卫星影像, 通过人机交互目视解译获取土地利用信息, 应用数字高程模型 (DEM) 生成坡度图, 从 TM 影像提取 NDVI, 利用像元二分模型得到植被覆盖度, 运用 GIS 强大的空间分析功能, 建立土壤侵蚀强度评判模型, 自动评价生成开县的土壤侵蚀强度分级图。对评价的结果进行了分析, 结果符合开县的土壤侵蚀实际情况, 研究表明土壤侵蚀自动评价方法可行。

**关键词:** 遥感; GIS; 土壤侵蚀

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2007)03-0109-03

## A Study on Auto-assessing Soil Erosion in Kaixian of Chongqing

NIE Yong<sup>1,2</sup>, FAN Jian-rong<sup>1</sup>, YANG A-qiang<sup>1,2</sup>

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resource, Chengdu 610041, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** In the auto-assessing of soil erosion, TM remote sensing images are basic information and the land use map can be gained by man-machine interactive visual interpretation method. The slope ranking map is derived from DEM and normalized difference vegetation index (NDVI) is extracted from TM images, then the vegetation fraction can be estimated from NDVI through the dimidiate pixel model. After establishing the judgment model of soil erosion intensity, the model auto-generates the soil erosion in Kaixian with the powerful function of spatial analysis of geographic information system. It provides the analysis of the soil erosion intensity data, which suits the actual situation in Kaixian, so the method of auto-assessing is appropriate.

**Key words:** RS; GIS; soil erosion

## 引 言

我国土壤侵蚀严重, 为了有效的治理和预防水土流失, 需要定期的查明水土流失的现状, 从而确保水土保持工作科学有效的进行。土壤侵蚀是一个复杂的问题, 利用常规地面调查方法人为的因素影响很大, 而且很费时, 利用遥感技术和 GIS 进行土壤侵蚀调查是国内研究的热点, 卜兆宏等人<sup>[1,2]</sup>应用定量遥感方法监测山东全省山丘区的水土流失并在太湖流域进行了应用, 王思远等人<sup>[3]</sup>基于 GIS 对湖北省进行了土壤侵蚀遥感研究, 范建容等人<sup>[4]</sup>应用遥感技术对嘉陵江中下游典型流域土壤侵蚀进行了研究, 刘权等人<sup>[5]</sup>对辽河中下游土壤侵蚀进行了遥感动态分析, 薛利红等人<sup>[6]</sup>对近年来遥感技术在我国土壤侵蚀中的研究进行了综述, Boggs 等人<sup>[7]</sup>对土壤侵蚀快速评价进行了研究, 何丙辉<sup>[8]</sup>对重庆市三峡库区土壤侵蚀分级分类标准进行了探讨。因此利用 RS 和 GIS 在重庆地区进行土壤侵蚀调查在技术上是先进的、可行的。开县位于重庆市东北部, 处于三峡库区的腹地, 快速准确的掌握该地区的土壤侵蚀情况, 从而采取对应的措施, 可以有有效的减少三峡库区的泥沙淤积, 确保三峡大坝的安全、延长三峡水利工程的使用年限, 因此, 寻求一种科学而快速的方法来监测该地区的土壤侵蚀有重大的意义。本文在 ARC/INFO 和 ERDAS 遥感图像处理软件支持下, 提取土壤侵蚀相关因子信息, 建立土壤侵蚀自动评价模型, 自动提取

开县土壤侵蚀, 利用人机交互目视解译的土壤侵蚀对自动评价方法进行检验, 证明该方法可行。

## 1 研究区概况

开县位于重庆市东北部, 地处大巴山麓、三峡库区腹地。位于东经 107°55'48"~108°53'36", 北纬 30°49'30"~31°41'30"之间, 海拔最高点 2 626 m, 最低点为 134 m, 相对高差 2 492 m, 幅员面积 3 959.00 km<sup>2</sup>, 以山地为主。亚热带常绿阔叶林是全县的基带植被类型, 主要树种有青岗、山茶、木荷、棕榈等, 低海拔的地方常绿阔叶林多被人类破坏, 主要是马尾松、杉木、柏木的亚热带针叶林。地貌由于受地质构造和岩性的控制, 一般背斜呈长条状低中山, 向斜呈宽缓台状低山, 宽谷丘陵。全县多年平均气温 15.5℃, 大于 10℃积温长达 277 d, 无霜期 306~180 d。开县多年平均降水量 1 385 mm, 降水总量为 55.07 亿 m<sup>3</sup>。

## 2 研究方法

土壤侵蚀主要影响因子为降雨、地形、植被、土壤、土地利用方式, 在一定的降雨下, 土壤侵蚀取决于地表各影响因子的组合特征。这里我们参照 SL190-96 土壤侵蚀分类分级标准, 重点调查土地利用方式、坡度和植被覆盖度, 基本可以把握研究区土壤侵蚀的状况。土地利用从 TM 影像中获取, 坡度从研究区的 DEM 中生成, 植被覆盖度从 TM 影像

\* 收稿日期: 2006-06-01

基金项目: 国家重点基础研究发展计划项目 (2003CB415202、2006CB403203) 资助

作者简介: 聂 勇 (1981-), 男, 硕士, 主要从事遥感与地理信息系统的应用及山地侵蚀等领域的研究工作。

中提取。在 ERDAS 软件支持下,依据 SL190- 96 标准,将土地利用、坡度和植被覆盖度进行编码,叠加运算,得到开县的土壤侵蚀强度分级图,并对研究结果进行检验。整个技术流程如图 1 所示。

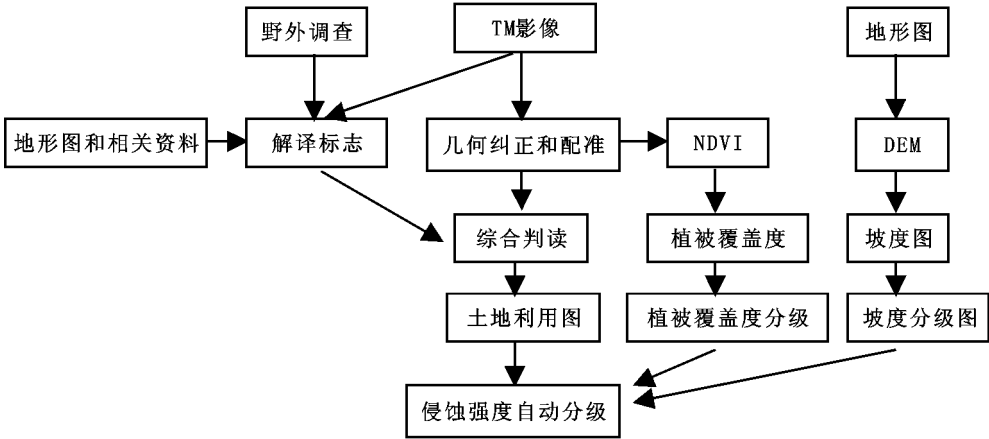


图 1 技术流程图

2.1 遥感数据处理

研究区所用 TM 影像是由 3 景美国 LANDSAT 卫星的 TM 影像拼接而成的,3 景 TM 影像获取时间分别是 2004 年 1 月 24 日,2004 年 4 月 22 日,2004 年 8 月 19 日。空间分辨率为 28.5 m× 28.5 m,对 TM 影像标准假彩色合成(R4G3B2)。结合开县的 DEM 对 TM 影像进行了正射几何校正和配准,引入 DEM 以纠正地形引起的误差,纠正的精度在一个像元内。

2.2 土壤侵蚀因子的获取

2.2.1 土地利用

对 TM 影像进行准确的几何纠正和配准,根据影像的色调、阴影、位置、大小、颜色、纹理,结合野外调查资料,建立土地利用分类解译标志,辅以 1: 5 万地形图和相关的资料,如开县的水土保持规划等,通过人机交互目视解译综合判读得到开县土地利用图(土地利用类型见表 1)。通过室内和野外的检验,耕地准确率大于 95%,其它类别准确率大于 90%。

表 1 土地利用类型及其编码

类型	代码
1. 耕地	11. 水田 12. 旱地
2. 林地	21. 有林地 22 灌木林地 23. 疏林地 24. 其他林地
3. 草地	30 草地
4. 水域	41. 河渠 43. 水库、坑塘 44. 滩地
5. 城乡、工矿、居民用地	51. 城镇用地 52. 农村居民用地 53. 工交建设用地

2.2.2 坡度

数字化 1: 5 万的地形图等高线生成 DEM,在 ARC/INFO 中利用 SLOPE 函数生成栅格坡度图,利用 GRID 中的 RECLASS 函数生成坡度分级图。

2.2.3 植被覆盖度

对纠正后的影像提取归一化差值植被指数( $NDVI$ ),计算式为: $NDVI = (band4 - band3) / (band4 + band3)$ <sup>[9]</sup>。然后借助像元二分法转化成植被覆盖度。像元二分法模型的原理为<sup>[10]</sup>:通过遥感传感器所观测到的信息  $S$  可以表达为由绿色植被部分所贡献的信息  $S_v$ ,和由无植被覆盖(裸土)部分所贡献的信息  $S_s$  两部分,即:

$$S = S_v + S_s \tag{1}$$

通过公式变换,可得以下计算植被覆盖度的公式:

$$F_c = (S - S_{soil}) / (S_{veg} - S_{soil}) \tag{2}$$

其中: $F_c$ ——一个像元中有植被覆盖的面积比例, $S_{soil}$ ——纯土壤像元的信息, $S_{veg}$ ——纯植被像元的信息,因而可以根据公式(2)利用遥感信息来估算植被覆盖度。将归一化植被指数( $NDVI$ )代入公式(2)可以被近似为:

$$F_c = (NDVI - NDVI_{soil}) / (NDVI_{veg} - NDVI_{soil}) \tag{3}$$

式中: $NDVI_{soil}$ ——裸土的  $NDVI$  值,即无植被像元的  $NDVI$  值;而  $NDVI_{veg}$  则代表完全被植被所覆盖的像元的  $NDVI$  值,即纯植被像元的  $NDVI$  值。借助野外调查资料确定  $NDVI_{soil}$  和  $NDVI_{veg}$ ,利用运算公式得到研究区的植被覆盖度,并进行植被覆盖度的分级(分级标准见表 2)。

表 2 植被覆盖度分级标准

植被覆盖度分级标准	代码
< 30%	1
30% ~ 45%	2
45% ~ 60%	3
60% ~ 75%	4
≥75%	5

2.3 侵蚀强度自动评价

参照土壤侵蚀分类分级标准 SL190- 96,结合研究区的实际建立评判模型(见表 3),例如,这里把水域、水田、城乡工矿和居民用地,植被覆盖度大于 75% 的林地、草地及坡度在 0~ 5° 之间的旱地都评判为微度侵蚀。在 ERDAS 遥感图像处理软件支持下,把生成的土地利用、坡度和植被覆盖度等土壤侵蚀因子进行自动叠加分析,生成土壤侵蚀现状强度分级图(图 2)。

3 结果与讨论

3.1 土壤侵蚀现状

在 ARC/INFO 软件中对各个等级的侵蚀强度进行了统计,全县土壤侵蚀面积 2 667.69 km<sup>2</sup>, 占全县土地总面积的 67.38%,年平均侵蚀模数为 4 156.54 t/km<sup>2</sup>,侵蚀强度属于中度。其中:微度侵蚀的面积有 1 291.31 km<sup>2</sup>,轻度侵蚀的面积有 282.93 km<sup>2</sup>,中度侵蚀的面积有 950.45 km<sup>2</sup>,强度侵蚀的面积有 945.60 km<sup>2</sup>,极强度侵蚀的面积有 380.78 km<sup>2</sup>,剧烈侵蚀的面积有 107.93 km<sup>2</sup>。

从空间分布上看,微度侵蚀主要分布在三里河的沿线平坝和高植被覆盖度的东北部地区;轻度侵蚀主要发生在坡度较平缓,植被覆盖度好的东部和南部地区;中度侵蚀主要发生在中部和南部地区;强度、极强度、剧烈侵蚀主要发生在中部岭谷低山区和北部部分山区,这些地方多为坡度较陡峭,人为经济活动频繁,植被覆盖稀疏的山区,所以侵蚀比较严重。在整个研究区中,土壤侵蚀可以分为三个侵蚀区域:(1) 三里河河谷低山丘陵中度侵蚀区。本区以河谷丘陵、低山为主,兼有平坝,平坝主要分布在三里河的沿线(以微度侵蚀为主,兼有轻度侵蚀),坡耕地面积大(以中度和强度侵蚀为主),铁峰山植被条件较好(以微度、轻度为主,兼有中度侵

蚀)。(2)西北岭谷强度侵蚀区。该区以低山岭谷为主,坡耕地分布广泛,植被覆盖度低,以中度、强度和极强度侵蚀为主。(3)北部中山中度侵蚀区。该区属于中山地貌,坡度陡,耕地面积少(中度、强度和极强度侵蚀),林草地面积大而植被覆盖度高(以微度侵蚀为主)。

表 3 土壤侵蚀评判模型

侵蚀强度	土地利用类型	植被覆盖度/%	坡度/°
水域、水田、城乡工矿和居民用地			
微度	林地和草地	≥75	
	旱地		0~ 5
	林地和草地	60~ 75	5~ 15
轻度		5~ 25	30~ 45
		45~ 60	5~ 8
	旱地		5~ 8
中度	林地和草地	60~ 75	≥25
		45~ 60	15~ 35
		30~ 45	8~ 25
		< 30	5~ 15
	旱地		8~ 15
	林地和草地	45~ 60	≥35
强度		30~ 45	25~ 35
		< 30	15~ 25
	旱地		15~ 25
极强度	林地和草地		≥35
		30~ 45	25~ 35
	旱地	< 30	25~ 35
剧烈	林地和草地	< 30	≥35
	旱地		≥35

3.2 自动评价结果与人工判定结果的比较

与人机交互目视判定结果比较(见表 4),土壤侵蚀总面积略偏大,总误差 5.92%。从侵蚀强度等级看,自动评价结果在微度和轻度比人机交互目视判定的侵蚀面积要略低,中度侵蚀面积最接近,误差仅 0.14%;中度以上的侵蚀都比人机交互目视判定的侵蚀面积要略大。从年平均侵蚀模数上看,用人机交互计算的年平均侵蚀模数为 3 784.19 t/km<sup>2</sup>,用自动评价结果计算的年平均侵蚀模数为 4 156.54 t/km<sup>2</sup>,精度 90.16%。从土壤侵蚀分布区域看,自动评价侵蚀强度类型可分为西北岭谷强度侵蚀区、北部中山中度侵蚀区和三里河谷低山丘陵中度侵蚀区,这和人机交互判定侵蚀强度类型分区是一致的,也说明自动评价的效果较为可靠。

3.3 误差原因分析

(1)植被覆盖度在地表起伏大的山区偏低。特别是 1 月 TM 影像提取的植被覆盖度偏低,把坡度陡、但高植被覆盖度的部分山区判别成了侵蚀强度高的等级。1 月太阳直射南半球,研究区以山地为主,太阳的高度角较小,不可避免的造成了很多的阴影,阴影区植被的电磁辐射被削弱,NDVI 值偏低,运用像元二分法提取的植被覆盖度偏低,造成了土

参考文献:

[ 1 ] 卜兆宏,孙金庄,等.应用定量遥感方法监测山东全省山区水土流失的研究[J].土壤学报,1999,36(1):1- 8.  
[ 2 ] 卜兆宏,唐万龙,杨林章,等.水土流失定量遥感方法新进展及其在太湖流域的应用[J].土壤学报,2003,40( 1):1- 9.  
[ 3 ] 王思远,张增祥,赵晓丽.GIS 支持下的土壤侵蚀遥感研究——以湖北省为例[J].水土保持研究,2001,8(3):154- 157.  
[ 4 ] 范建容,钟祥浩,刘淑珍.嘉陵江中下游典型流域土壤侵蚀与泥沙输移遥感监测[J].中国科学,2003,33(增刊):157- 163.  
[ 5 ] 刘权,王忠静,刘湘南.GIS 支持下辽河中下游土壤侵蚀遥感动态分析[J].水土保持通报,2005,25( 1):64- 67.  
[ 6 ] 薛利红,杨林章.遥感技术在我国土壤侵蚀中的研究进展[J].水土保持学报,2004,18( 3):186- 189.  
[ 7 ] Boggs G, Devonport C, Evans K, et al. GIS-based rapid assessment of erosion risk in a small catchment in the wet/dry tropics of Australia[J]. Land Degradation and Development, 2001,12(5):417- 434.  
[ 8 ] 何丙辉.重庆市三峡库区土壤侵蚀分级分类标准的探讨[J].水土保持研究,2003,10(4):63- 65.  
[ 9 ] 赵英时.遥感应用分析原理与方法[M].北京:科学出版社,2003.372- 392.  
[ 10 ] 李苗苗,吴炳方,颜长珍,等.密云水库上游植被覆盖度的遥感估算[J].资源科学,2004,26(4):153- 159.

壤侵蚀强度高。(2)在局部的旱地,直接由 DEM 提取的坡度比实际的坡度偏大。实际上,开县的旱地较多的采用条状横向耕种,有效的降低了坡度,而采用 DEM 计算的是整个栅格坡面的坡度,也造成了土壤侵蚀强度偏高。

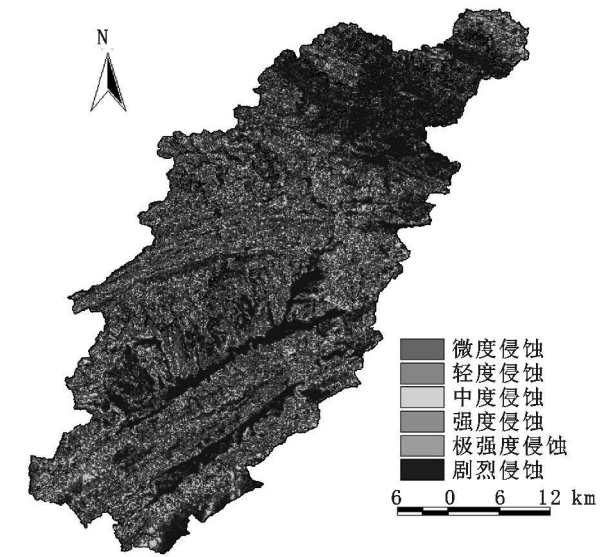


图 2 开县土壤侵蚀强度分级图

3.4 自动评价的优势和不足

(1)优势在于评价的效率高,费时少,极大的减少了人为因素的干扰,提高了土壤侵蚀判读精度;同时,自动评价生成的土壤侵蚀信息更为丰富,自动评价方法是以每个栅格像元(30 m× 30 m)为判别单位的,而人机交互目视判读方法难以实现。(2)不足之处在于植被覆盖度的提取受地形和季节的影响,对影像的质量和时相要求严格。

表 4 土壤侵蚀评价结果比较 km<sup>2</sup>

	微度 (无明显侵蚀)	侵蚀面积					合计
		轻度	中度	强度	极强度	剧烈	
人工判定结果	1440.34	297.78	949.15	857.85	333.91	79.97	2518.66
自动评价结果	1291.31	282.93	950.45	945.6	380.78	107.93	2667.69
增(+ )减(- )	- 149.03	- 14.85	+ 1.30	+ 87.75	+ 46.87	+ 27.96	+ 149.03

4 结 论

本文对土壤侵蚀自动评价方法进行了探讨,自动生成的土壤侵蚀强度符合开县的土壤侵蚀实际情况,自动评价方法是可行的。自动评价土壤侵蚀的方法可以快速、有效的提取土壤侵蚀信息,为当地的水土保持决策提供科学的依据,为实时的监测研究区侵蚀提供了一种好的方法和手段,具有广阔的应用前景。