

定量遥感支持下的磐石市土壤侵蚀动态监测

岳书平, 闫业超

(南京信息工程大学 遥感学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 以 1979 年的 MSS 和 2002 年的 ETM 遥感影像为依据, 运用遥感和 GIS 技术, 开展了吉林省磐石市土壤侵蚀动态监测研究。利用亚像元分解法提取植被覆盖信息, 结合土地利用和坡度信息进行了区域土壤侵蚀强度的动态监测研究。监测结果表明, 磐石市 1979—2002 年土壤侵蚀状况呈现加重趋势, 土壤侵蚀集中分布区不断扩展, 侵蚀面积增大。该监测方法省时省力, 极大地提高了土壤侵蚀动态监测的速度和效率, 为大范围的土壤侵蚀动态监测研究提供了有效途径。

关键词: 植被覆盖度; 亚像元分解法; 土壤侵蚀强度; 动态监测; 磐石市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2009)06-0126-05

中图分类号: F323.1

Soil Erosion Dynamic Detection in Panshi City Based on Quantitative Remote Sensing

YUE Shu-ping, YAN Ye-chao

(College of Remote Sensing, Nanjing University of Information Science & Technology Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract: Based on the MSS images in 1979 and ETM data in 2002, soil erosion change in Panshi City is studied with the aid of RS and GIS. The sub-pixel models are used to estimate vegetation coverage and then landuse and slope information is combined to study regional soil erosion change. Results show that from 1979 to 2002, soil erosion became more serious and the main soil erosion region was gradually expanded and its area was increased. This method is highly efficient and can improve the speed and efficiency of regional soil erosion monitoring. It is an effective way to study regional soil erosion.

Keywords: fractional green vegetation cover; sub-pixel model; soil erosion; dynamic detection; Panshi City

土壤侵蚀是最活跃、最敏感的生态致灾因子之一, 土壤侵蚀及其导致的土地退化和泥沙等问题是全球性的严重环境和灾害问题, 并已经对人类的生存和发展构成了威胁^[1]。因此, 土壤侵蚀研究一直是水土保持的研究重点之一^[2], 开展土壤侵蚀宏观动态监测研究具有重要的科学研究意义和生产实践意义。近年来, 许多学者运用 3S 技术进行土壤侵蚀动态监测研究^[2-4], 遥感能够提供实时、同步、大范围的地表信息, GIS 则具有强大的空间分析能力, 可方便地为土壤侵蚀模型提供计算参数, 进行土壤侵蚀现状评价和预测分析, 克服了常规的观测、实验方法工作量大、费时费力的缺点, 并有利于进行土壤侵蚀时空变化研究。众所周知, 植被是影响土壤侵蚀最重要的环境因子之一^[5], 因此本研究运用遥感和 GIS 技术提取区域植被覆盖信息, 并结合土地利用和坡度信息进行区域土壤侵蚀动态监测, 以期水土保持及生态环境建设等宏观决策提供科学依据。

1 研究区概况

磐石市位于吉林省中南部, 地处长白山地西麓, 吉林哈达岭与龙岗山之间的低山丘陵地带, 地理位置介于 125°35'—126°41' E, 42°39'—43°27' N 之间。全市海拔在 300~800 m 之间, 境内主要有大青顶子山、老冒山、牛心顶子山、磨盘山等山峰, 其中中部东西走向的老爷岭成为南北两大水系的分水岭, 北部有小黄河、玻璃河、小梨河等组成的饮马河水系, 流域面积为 1 514 km², 南部有呼兰河、富太河、当石河、亮子河等组成的辉发河水系, 流域面积达 2 353 km², 水利资源比较丰富。磐石市属于中温带湿润性季风气候, 年平均气温 4.1℃, 年均积温 2 760℃, 年均降水量 676.5 mm。全市地处半山区, 气候适宜, 雨量适中, 土地肥沃, 灌溉便利, 适合种植水稻、玉米、大豆等粮食作物和甜菜、蔬菜、瓜果等经济作物, 是吉林省的商品粮基地和水稻主要产区之一, 素有吉林省中南部粮

收稿日期: 2009-02-19

修回日期: 2009-06-14

资助项目: 国家自然科学基金(40771162); 中国水土流失与生态安全科学考察(2005SBKK02); 南京信息工程大学科研基金项目(20080268)

作者简介: 岳书平(1979—), 女(汉族), 山东省德州市人, 博士, 讲师, 主要从事遥感和 GIS 应用研究。E-mail: yueshuping@mail.neigae.ac.cn.

仓之称,粮食总产量稳定在 5.00×10^5 t 水平上。但是,近年来由于人类大量开发利用土地资源和森林资源,境内林地面积锐减,森林质量下降,土壤侵蚀问题日趋严重,生态环境明显恶化。

2 研究方法及数据处理

土壤侵蚀包括面蚀和沟蚀,沟蚀是地表径流以集中股流形式对土体进行冲刷的过程。侵蚀沟分布密度越大,侵蚀量越大。根据水利部水土保持司对沟蚀的分级标准,沟壑密度 $< 1 \text{ km/km}^2$ 的地区属于无明显侵蚀区^[6]。相关研究表明^[7-8],东北地区侵蚀沟密度 $> 1 \text{ km/km}^2$ 的地区数量极少,沟蚀强度极其微弱。所以,本研究对土壤侵蚀强度的计算只考虑了坡面侵蚀,沟道侵蚀忽略不计。根据水利部土壤侵蚀分类分级标准(1997)^[6],影响土壤侵蚀强度的主要因素是植被、土地利用和坡度。在区域尺度上,植被因子对水土流失的影响主要反映在植被覆盖程度上。因此,进行区域植被覆盖信息遥感提取研究对于区域水土流失评价具有重要意义^[5]。本研究以 1979 年的 MSS 和 2002 年的 ETM 遥感影像为依据,运用亚像元分解法进行植被覆盖信息的提取,结合土地利用和坡度信息进行区域土壤侵蚀强度的动态监测,具体研究流程如图 1 所示。

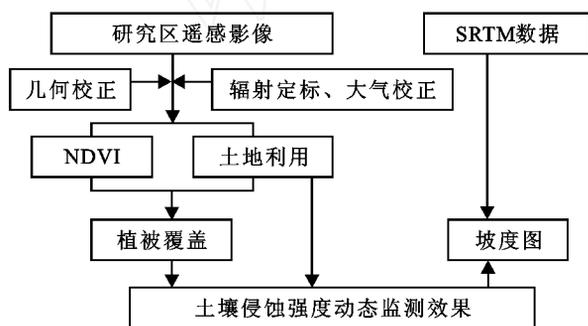


图1 土壤侵蚀强度动态监测研究流程

2.1 遥感影像的预处理

选取高质量的 1979 年分辨率为 $80 \text{ m} \times 80 \text{ m}$ 的 Landsat/MSS 遥感影像和 2002 年分辨率为 $30 \text{ m} \times 30 \text{ m}$ 的 Landsat/ETM 遥感影像作为基本信息源,将影像的 4,3,2 波段进行假彩色合成。然后利用研究区 1:10 万地形图,采用控制点法对 2002 年的 Landsat/ETM 合成影像进行精确配准,总体误差控制在 1 个像元以内。1979 年的 MSS 影像采用 4 幅 1:10 万地形图对应一幅图像的纠正方法,所得纠正影像可满足 1:25 万比例尺的制图精度。然后,利用定标系数对遥感影像进行辐射定标,利用戴昌达等人提出的直方图法进行大气校正即可完成遥感影像的

预处理。虽然文中所用遥感数据的分辨率不同,但是对于 1:25 万比例尺的制图精度来说是具有可比性的,这一点在遥感影像自动分类和人工目视解译中已得到证明^[7],因此所选数据具有可比性,所得研究结果是可信的。

2.2 土地利用及坡度信息的获取

土地利用现状及其动态数据的获取采用土地利用二级分类方法,在 ArcView 平台上首先根据上述影像特征(主要是颜色、纹理等)建立判读标志,然后对 1979 年和 2002 年的遥感影像进行交互式目视解译,获取 1979 年和 2002 年土地利用现状数据。通过抽样率为 10% 的检查,该解译数据总体精度为 90%,其中居民地和耕地的精度在 95% 以上。坡度数据的获取以 NASA 提供的 SRTM 数字高程数据作为数据源,运用 ArcView 3.2 中的空间分析模块直接提取研究区的坡度分布图。然后,参考陈燕等人^[9]的坡度转换方法,对基于 SRTM 数据提取的坡度进行了误差纠正。由于 SRTM 数字高程数据的水平分辨率约为 90 m,标称绝对高程精度为 $\pm 16 \text{ m}$,数据精度与 1:5 万地形图提取的 DEM 相当^[10-11]。因此,上述经误差纠正后的坡度数据完全能够满足土壤侵蚀强度动态监测的要求。

2.3 植被覆盖信息的获取

目前测量植被覆盖度的方法通常可分为两类:地表实测和遥感监测^[12-13]。其中,遥感估算植被覆盖度的方法又可以分为经验模型法和植被指数转换法两种,经验模型法主要是通过建立实测植被覆盖度数据与植被指数的经验模型来求取植被覆盖度,因此在大面积推广使用时受到限制^[14-15];植被指数转换法通过建立植被指数与植被覆盖度之间的转换关系来直接估计植被覆盖度,其计算精度主要取决于二者之间的转换方法。目前比较常用的方法有亚像元分解法^[12-16]和三波段最大梯度差法^[17-18],本研究采用基于土地覆被分类的亚像元分解法获取植被覆盖信息,为区域土壤侵蚀动态监测提供数据支持。

由于遥感影像中的单个像元通常是多种地物的混合光谱,这种混合光谱是各种地物光谱线性相加得到的总光谱值,因此利用光谱灰度值的线性可加性即可进行混合像元的分解,这就是亚像元分解法的基本思想^[19-20]。所谓混合像元是指植被不能完全覆盖整个像元,其亚像元结构是植被与非植被构成的混合结构。根据混合像元中植被覆盖结构的不同,Gutman 将其亚像元结构类型分为等密度、非密度和混合密度 3 种类型。

等密度模型假设像元由植被和裸土地两部分构成,并且植被的垂直密度足够高(LAI > 1 , NDVI_g

NDVI),那么 NDVI 与植被覆盖度(f_g)之间转换关系为:

$$f_g = \frac{NDVI - NDVI_0}{NDVI_g - NDVI_0} \quad (1)$$

式中: $NDVI_0$ ——裸土地或无植被覆盖区的 NDVI 值; $NDVI_g$ ——高垂直密度像元的 NDVI 值; Gutman 等^[21]认为遥感影像中 NDVI 的最小值即为 $NDVI_0$,最大值即为 $NDVI_g$ 。

非密度模型也假设像元由植被和裸土地两部分构成,但是植被垂直密度较小(LAI_0),此时植被覆盖部分的 NDVI 值可由 Bear 定律得出^[22],因此这时的 NDVI 与植被覆盖度(f_g)之间转换关系为:

$$f_g = \frac{NDVI - NDVI_0}{NDVI_g - NDVI_0} \quad (2)$$

式中: $NDVI_g = NDVI - (NDVI - NDVI_0)^{-k/L_g}$; k ——消光系数; L_g ——叶面积指数。参考 Baret 和 Guyot (1991) 等人的研究^[22],消光系数 k 取 1。

由以上分析可以看出,应用非密度模型的关键是叶面积指数的计算。目前遥感定量研究叶面积指数主要有两种方法:统计模型法和光学模型法,本研究采用 Price 等人^[23]的方法,利用可见光波段和近红外波段的反射值来提取叶面积指数。遥感影像的灰度值(DN_i)与叶面积指数(LAI)之间的关系为:

$$DN_{si} = \frac{DN_i(e^{2c_i LAI} - r^2_i) + DN_{i0}(1 - e^{2c_i LAI})}{1 - r^2_i e^{2c_i LAI} - DN_{i0} r^2_i (1 - e^{2c_i LAI}) / DN_{i0}} \quad (3)$$

式中: s ——土壤; $i = 1, 2$; DN_{i0} 可从遥感资料中读取。根据 Price 的实验结果, $c_1 = 0.6$, $c_2 = 0.21$, $r_1 = 0.05$, $r_2 = 0.07$ 。将(3)式代入土壤线方程(4)即可将其表示为遥感影像灰度量化值 DN_i 和 c_i 的函数关系式,土壤线方程的参数可从相应波段的散点图中求取。

$$DN_{si} = aDN_{i0} + b \quad (4)$$

然后,利用 LAI 查找表和适当的内插方法即可获得研究区叶面积指数分布图。最后,结合土地利用类型图计算各类土地利用的植被覆盖度。根据各类模型的假设条件,考虑到建成区内路面硬化地区水土流失现象非常微弱,所以首先将建成区内的道路、城镇居民用地扣除,直接将其定为微度土壤侵蚀区;然后运用密度模型计算植被垂直密度高的林地植被覆盖度,对于草地和旱地,由于其植被垂直密度不高,故采用非密度模型进行计算,水域(包括水田)和裸地的植被覆盖度则统一赋值为零。

3 结果分析

3.1 土地利用变化分析

如表 1 所示,在 1979—2002 年间磐石市土地利

用类型发生了显著变化,其中旱地、草地和未利用地的变化幅度较大,变化率分别为 22.36%、58.93% 和 34.43%;草地和林地面积明显减少,而耕地面积大幅度增加。另外,城镇居民工矿用地也呈增长趋势。这些变化与该区人口数量增加,人类活动强度加大密切相关。

表 1 磐石市 1979—2002 年土地利用类型面积

土地类型面积/ km ²	1979 年	2002 年	变化率/ %
水田	467.84	487.19	4.14
旱地	936.09	1 145.36	22.36
林地	2 243.39	2 019.82	- 9.97
草地	46.65	19.16	- 58.93
水域	43.08	45.94	6.64
城镇居民工矿用地	123.70	142.85	15.48
未利用地	1.22	1.64	34.43

3.2 植被覆盖度空间格局分析

选取研究区 1979 年的 LandSat MSS 遥感影像和 2002 年的 LandSat ETM 遥感影像数据为基础,运用上述方法即可获得研究区 1979 年和 2002 年植被覆盖度分布状况,可以得出,1979—2002 年间磐石市某些地区的植被覆盖度明显变低,出现了植被覆盖度低于 30% 的现象,这极大的促进了水土流失的发生。另外,从表 2 可以看出,植被覆盖度变化较大的地区主要集中于磐石市中部的宝山乡(-12.29%)、磐石市区(-11.44%)、富太镇(-13.59%)、红旗岭镇(-11.76%)及东南部的黑石镇(-11.78%),与 2002 年植被覆盖低值区的分布基本一致。这种变化趋势与该地区的人类开发活动,特别是土地开垦、城乡建设等活动关系密切。这些地区均位于磐石市区周围,受经济利益的驱动,毁林开荒现象严重,林草地面积急剧下降,致使该区水土保持能力下降,水土流失问题日益凸现。

3.3 土壤侵蚀强度的时间变化分析

根据所获取的植被覆盖信息、土地利用信息和坡度信息,结合水利部土壤侵蚀强度分级标准,在 Arc/Info 9.0 中运用 DOCELL 命令编写宏语言计算研究区 1979 年和 2002 年的土壤侵蚀强度。从表 3 可以看出,磐石市 1979—2002 年土壤侵蚀状况呈现明显加重趋势,各类侵蚀总面积由 1979 年的 284.98 km² 增加到 2002 年的 443.68 km²,增幅达 56.4%;各类侵蚀均有增加,特别是轻度侵蚀和中度侵蚀增加尤为明显,1979 年轻度侵蚀面积只占研究区总面积的 5.030%,到 2002 年增加为 8.021%,是 1979 年的 1.59 倍,中度侵蚀面积也增加了 49.0%。造成这种

变化的主要原因是由于人类活动强度的加大,1979—2002 年间磐石市各种土地利用类型变化显著(表 1),旱地和工矿用地明显增加,而林草地面积急剧下降,致使水土流失面积增加,土壤侵蚀状况加剧。

表 2 磐石市各乡镇 1979—2002 年植被覆盖度分布情况

乡镇名称	取柴河镇	烟筒山镇	吉昌镇	驿马镇	明城镇	呼兰镇	石嘴镇	富太镇
1979 年	81.3	78.6	77.5	80.8	78.1	79.3	78.2	78.0
2002 年	75.4	74	71.7	78.3	74.9	71	72.8	67.4
变化率	- 7.26	- 5.85	- 7.48	- 3.09	- 4.10	- 10.47	- 6.91	- 13.59

乡镇名称	红旗岭镇	朝阳山镇	磐石市区	黑石镇	牛心镇	宝山乡	松山镇
1979 年	77.4	78.5	74.3	76.4	77.8	77.3	82.0
2002 年	68.3	73.8	65.8	67.4	70.0	67.8	80.3
变化率	- 11.76	- 5.99	- 11.44	- 11.78	- 10.03	- 12.29	- 2.07

表 3 磐石市 1979—2002 年土壤侵蚀强度变化

侵蚀强度等级	1979 年		2002 年	
	面积/ km ²	占总面积 的比例/ %	面积/ km ²	占总面积 的比例/ %
轻度	194.27	5.030	309.76	8.021
中度	79.18	2.050	118.00	3.055
强度	10.07	0.261	15.64	0.405
极强度	0.13	0.003	0.29	0.007
总计	283.65	7.345	443.68	11.488

3.4 土壤侵蚀强度的空间分异

从两个时期土壤侵蚀空间分布变化来看,1979—2002 年间土壤侵蚀分布地区发生一定的扩展,总体土壤侵蚀强度加大。

1979 年土壤侵蚀地区主要发生在磐石市西北部的烟筒山镇、吉昌镇和明城镇的部分地区,另一部分集中于中南部的富太镇、红旗岭镇和呼兰镇;到 2002 年土壤侵蚀高值区除上述分布地区外,又增加了东南部的磐石市区和黑石镇。这些土壤侵蚀高值区正是植被覆盖较低的地区,例如:富太镇 1979—2002 年间植被覆盖度下降率高达 13.59%,是磐石市植被覆盖度下降最明显的地区;再如,磐石市区和黑石镇 2002 年的植被覆盖度分别为 65.8%和 67.4%,与 1979 年相比下降幅度也均高于 11%。如此严重的植被破坏现象必然导致土层变薄,肥力下降,致使土壤侵蚀越演越烈,这也充分说明了人类开发建设活动大大改变了地表的植被覆盖状况,进而对土壤侵蚀的形成产生了一定的影响。

3.5 精度验证

由于 2000 年和 2002 年之间的土地利用状况变化不大,因此为了验证所得土壤侵蚀强度数据的准确性,将文中所得结果与 2000 年全国土壤侵蚀遥感调查数据进行了比较。如表 4 所示,该计算结果与遥感

解译结果基本一致,相关系数高达 0.996,这说明该计算方法适合于大面积的土壤侵蚀宏观监测研究。

表 4 土壤侵蚀强度计算结果比较

侵蚀强度等级	模型计算结果	遥感解译结果
轻度	309.76	323.83
中度	118.00	98.57
强度	15.64	19.06
极强度	0.29	0.00
总计	443.68	441.46

4 磐石市土壤侵蚀防治对策

4.1 以退耕还林还草为主的生物措施

水土保持的根本性措施还在于增加植被覆盖度,高植被覆盖既可以固定土壤,还可以调节小气候,达到蓄水保土的目的。因此,退耕还林还草是治理低山丘陵区水土流失的一项有效措施。对超过一定标准的坡耕地有计划有目的的实行退耕还林、造林种草等措施,坚持乔灌草相结合,恢复和增加林草植被的数量,增加植被覆盖率。另外,积极种植防冲固土植物带,营造岗坡地农田防护林网,改善农业生态环境和生产条件,发挥水土保持功能。

4.2 蓄水保土的耕作措施

磐石市近年来坡耕地数量明显增多,但在短期内很难全部退耕。因此,在大力推进退耕还林还草政策的同时,蓄水保土的耕作措施也应作为水土保持的一个重要方面来抓。采用不同的耕翻、整地方法和田间管理措施,使地面形成不同的沟垄形状,拦蓄地表径流,减缓坡面水流速度,提高坡耕地保水保土能力,减少水土流失。同时,注意推进坡地改垄等水保措施,根据坡耕地坡长、坡度大的特点,改顺坡垄为横坡或斜坡垄,从而控制和减少坡面侵蚀的发生。

[参 考 文 献]

- [1] 杨勤科,李锐,王占礼,等. 中国水土流失宏观动态评价与趋势预测研究[M]//区域水土流失快速调查与管理信息系统研究. 郑州:黄河水利出版社,2000:14-18.
- [2] 何兴元,胡志斌,李月辉,等. GIS支持下岷江上游土壤侵蚀动态研究[J]. 应用生态学报,2005,16(12):2271-2278.
- [3] 魏兴萍,赵纯勇. 基于3S技术的土壤侵蚀分析[J]. 重庆工商大学学报:自然科学版,2005,22(6):541-544.
- [4] 谢媛媛,余新晓,张满良. 基于GIS的桥子沟流域土壤侵蚀初步分析[J]. 水土保持研究,2005,12(5):263-267.
- [5] 韦红波,李锐,杨勤科. 区域水土流失评价中植被覆盖度信息遥感提取研究综述[M]//区域水土流失快速调查与管理信息系统研究. 郑州:黄河水利出版社,2000:56-62.
- [6] 水利部水土保持司. 土壤侵蚀分类分级标准[M]. 北京:中国水利水电出版社,1997:9-12.
- [7] 张树文,张养贞,李颖,等. 东北地区土地利用/覆被时空特征分析[M]. 北京:科学出版社,2006:332-338.
- [8] 闫业超,张树文,岳书平. 基于Corona和Spot影像的近40年黑土典型区侵蚀沟动态变化[J]. 资源科学,2006,28(6):154-159.
- [9] 陈燕,齐清文,汤国安. 黄土高原坡度转换图谱研究[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(3):180-185.
- [10] 王培法. SRTM DEM在TOPMODEL模型中的可用性分析[J]. 水土保持研究,2005,12(6):194-195,205.
- [11] 陈俊勇. 对SRTM3和GTOPO30地形数据质量的评估[J]. 武汉大学学报:信息科学版,2005,30(11):941-944.
- [12] 陈晋,陈云浩,何春阳,等. 基于土地覆盖分类的植被覆盖率估算亚像元模型与应用[J]. 遥感学报,2001,5(6):416-423.
- [13] 陈云浩,李晓兵,史培军,等. 北京海淀区植被覆盖的遥感动态研究[J]. 植物生态学报,2001,25(5):588-593.
- [14] Dymond J R, Stephens P R, Newsome P F, et al. Percent vegetation cover of a degrading rangeland from SPOT [J]. International Journal of Remote Sensing, 1992,13(11):1999-2007.
- [15] Wittich K P, Hansing O. Area-averaged vegetative cover fraction estimated from satellite data[J]. International Journal of Biometeorology, 1995,38(3):209-215.
- [16] 丁艳梅,张继贤,王坚,等. 基于TM数据的植被覆盖度反演[J]. 测绘科学,2006,31(1):43-45.
- [17] 唐世浩,朱启疆,周宇宇,等. 一种简单的估算植被覆盖度和恢复背景信息的方法[J]. 中国图象图形学报,2003,8(11):1304-1308.
- [18] 陈巧,陈永富. QuickBird遥感数据监测植被覆盖度的研究[J]. 林业科学研究,2005,18(4):375-380.
- [19] 万恩璞,徐希孺. 中国玉米遥感动态监测与估产[M]. 北京:中国科学技术出版社,1996:122-125.
- [20] Zhangyan Jiang, Alfredo R H, Jin Chen, et al. Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction [J]. Remote Sensing of Environment, 2006,101:366-378.
- [21] Gutman, Ignatov G A. The derivation of the green vegetation fraction from NOAA/AVHRR data for use in numerical weather prediction models [J]. International Journal of Remote Sensing, 1998,19:1533-1543.
- [22] Baret, Guyot F G. Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment [J]. Remote Sensing of Environment, 1991,35:161-173.
- [23] Price J C. Estimating leaf area index from satellite data [J]. IEEE. Transactions on Geo science and Remote Sensing, 1993,31:727-734.