

# GIS 支持下辽河中下游土壤侵蚀遥感动态分析

刘 权<sup>1</sup>, 王忠静<sup>1</sup>, 刘湘南<sup>2</sup>

(1. 清华大学 水文水资源研究所, 北京 100084; 2. 东北师范大学 吉林 长春, 130024)

摘 要: 在国家“九五”项目支持下, 结合辽宁省两次遥感侵蚀调查工作和松辽中下游流域水资源调查评价工作, 在遥感技术和 GIS 的支持下, 运用 GIS 空间分析方法, 分析了辽河中下游流域土壤侵蚀变化规律。

关键词: 辽河中下游; 土壤侵蚀; 遥感; GIS

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2005)01-0064-04

中图分类号: S157.1; P208

## Analysis of Soil Erosion Tendency in the Liaohe River Basin Using Remote Sensing and GIS

LIU Quan<sup>1</sup>, WANG Zhong-jing<sup>1</sup>, LIU Xiang-nan<sup>2</sup>

(1. Institute of Hydrology and Water Resources, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. Northeast Normal University, Changchun 130024, Jilin Province, China)

**Abstract:** Resources and environment databases for the middle and lower reaches of the Liaohe River basin have been built on the basis of results produced by the national ninth-year-planning technology project. Soil erosion in the basin is analysed using remotely sensed images and the spatial functions of a geographical information system (GIS).

**Keywords:** the middle and lower reaches of Liaohe River; soil erosion; remote sensing; GIS

### 1 问题的提出

土壤侵蚀是世界上的主要灾害之一, 是土地退化、河道和湖泊淤积的根本原因, 并进一步恶化生态环境, 造成灾害。我国是土壤侵蚀最严重的国家之一, 现有水土流失面积  $3.67 \times 10^6 \text{ km}^2$ , 占国土面积的 38%, 每年损失  $6.7 \times 10^4 \text{ km}^2$  耕地, 每年流失的土壤达  $5.0 \times 10^9 \text{ t}$ , 随径流水流失的氮达  $2.50 \times 10^6 \text{ t}$  (按 0.05% 计)、磷  $2.00 \times 10^6 \text{ t}$  (按 0.04% 计)<sup>[1]</sup>。水土流失造成了河道、湖泊和水库的淤积, 而且还降低了森林和土壤对洪水的调蓄能力。土壤侵蚀状况是检验环境质量的重要指标之一, 侵蚀的加速是导致生态环境恶化的主要根源, 其时空变化直接或间接地影响生产的发展和国民经济的消长。深入了解土壤侵蚀的时空变化对制定侵蚀控制措施和确定正确的土地利用模式以及农业经济的发展方向有着十分重要的战略意义<sup>[2]</sup>。

辽河中下游流域地处我国的东北地区南部, 因开发利用较早, 大部分地区均存在不同程度的水土流失, 局部地区已相当严重, 给当地经济的发展及人民

群众的生产生活带来了不良影响, 严重的水土流失造成了下游河道淤塞、水库淤积、交通设施毁坏、水利设施报废、水质恶化等灾害。为及时掌握流域的土壤侵蚀动态变化规律, 制定科学的治理方略, 以遥感(RS)和地理信息系统(GIS)为重要技术手段, 对流域进行土壤侵蚀调查和分析, 取得了大量的数据资料, 为领导科学决策提供了可靠的依据, 同时也对政府部门的土地利用决策起到了重要的参考作用。

### 2 研究方法及其依据

#### 2.1 遥感数据的选择与处理

本次工作采用美国陆地卫星 Landsat 5 星和 Landsat 7 星上的 3, 4, 5 段数据。TM 图像的时相确定, 既要考虑研究区 TM 信息瞬时覆盖时本身的质量 (如含云量小于 10% 等技术指标)。又要考虑不同区域的时效性季相差异。根据流域的物候特点: 冬季大雪覆盖地表, 土壤侵蚀类型无法识别; 夏季农作物和自然植被影像色调相近, 差异小, 土地资源类型无法显现; 春季水田灌水, 旱田植苗, 林草渐茂, 土地类型界限清楚; 9 月秋熟, 农作物多数收割, 自然植被日

收稿日期: 2004-02-24

资助项目: 水资源开发教育部重点实验室(河海大学)开放基金资助(2003400219); 国家自然科学基金重点项目(30470312)

作者简介: 刘权(1966—), 男(汉族), 吉林市人, 清华大学水文水资源研究所博士后, 高级工程师。从事遥感、GIS 及水文、水资源研究工作。E-mail: liu\_quan@tsinghua.org.cn。

渐枯萎,影像色调差异大,因此,选用信息源的时相多为 5 月、6 月、9 月。结合野外调查,利用 GIS 技术建立了覆盖辽河中下游流域土壤侵蚀数据库。

### 2.2 土壤侵蚀分类分级体系确定

为提高区域土壤侵蚀分析的量化程度,国内有的研究采用专题属性加权指数来分析土壤侵蚀强度<sup>[3]</sup>。但由于目前缺乏适用于我国的全国性大尺度土壤侵蚀模型,无法估算区域土壤侵蚀模数,在全国范围内采用综合指数来衡量侵蚀强度不易限制指标选取的主观性<sup>[4]</sup>。为了强调区域之间的可比性与历史资料的延续性,本次调查依据自 1997 年开始实施的国家行业标准《(SL190—96)土壤侵蚀分类分级标准》<sup>[5]</sup>进行土壤侵蚀强度的划分。按不同的侵蚀外营力,土壤侵蚀类型分为水力、风力、人为、重力、冻融侵蚀 5 大类。辽河流域只有水力、风力 2 类。水力侵蚀监测包括面蚀和沟蚀(沟头并进、沟底下切、沟岸扩张)见表 1,表 2。风力侵蚀主要监测土壤或沙粒刮走和运来的数量以及风沙区沙丘移动情况等(见表 3)。水蚀、

风蚀强度分级依据一定的侵蚀影响因子数值对应的年土壤侵蚀模数范围分为 6 级,见表 4。其中,侵蚀强度在轻度及以上者称为土壤侵蚀,记入侵蚀面积。水蚀、风蚀面积之和称土壤侵蚀面积或水土流失面积。

表 1 面蚀分级指标

林草覆盖度	地类坡度				
	5°~8°	8°~15°	15°~25°	25°~35°	>35°
60~70	轻度	—	—	—	—
45~60	—	—	—	—	强度
30~45	—	中度	—	强度	极强度
<30	—	—	强度	极强度	剧烈
坡耕地	轻度	中度	—	—	—

表 2 沟蚀分级指标

沟谷占坡面面积/%	<10°	10°~25°	25°~35°	35°~50°	>50°
沟壑密度/(km·km <sup>-2</sup> )	1~2	2~3	3~5	5~7	>7
强度分级	轻度	中度	强度	极强度	剧烈

表 3 风蚀强度分级

级别	床面形态(地表形态)	植被覆盖度/(非流沙面积)%	风蚀厚度/(mm·a <sup>-1</sup> )	侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )
微度	固定沙丘,沙地和滩地	>70	<2	<200
轻度	固定沙丘,半固定沙丘,沙地	70~50	2~10	200~2500
中度	半固定沙丘,沙地	50~30	10~25	2500~5000
强度	半固定沙丘,流动沙丘,沙地	30~10	25~50	5000~8000
极强度	流动沙丘,沙地	<10	50~100	8000~15000
剧烈	大片流动沙丘	<10	>100	>15000

表 4 土壤侵蚀强度分级标准

级别	平均侵蚀模数/(t·km <sup>-2</sup> ·a <sup>-1</sup> )	平均流失厚度/(mm·a <sup>-1</sup> )
微度	<200, 500, 1000	<0.15, 0.37, 0.74
轻度	200, 500, 1000~2500	0.15, 0.37, 0.74~1.9
中度	2500~5000	1.9~3.7
强度	5000~8000	3.7~5.9
极强度	8000~15000	5.9~11.1
剧烈	>15000	>11.1

注:本表流失厚度系按土容重 1.35 g/cm<sup>3</sup>折算,各地可按当地土壤容重计算之。

## 3 土壤侵蚀变化分析

### 3.1 土壤侵蚀面积变化

据表 5 可见,2000 年与 1995 年相比,辽河下游流域水力土壤侵蚀轻度侵蚀面积呈减少趋势,减少了 1.6×10<sup>5</sup> hm<sup>2</sup>,中度以上级别侵蚀面积均呈增加趋势;风力侵蚀分布面积逐渐扩大,增加了 4.6×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,各个侵蚀强度级别均有所增加,这是近年流域内扬沙及沙尘暴天气频繁发生的主要原因。

表 5 辽河中下游流域不同强度土壤侵蚀面积 hm<sup>2</sup>

侵蚀强度	侵蚀类型	侵蚀面积	
		1995 年	2000 年
轻度侵蚀	水力轻度侵蚀	1000267.29	839160.59
	风力轻度侵蚀	213221.66	258760.73
中度侵蚀	水力中度侵蚀	102039.75	108160.65
	风力中度侵蚀	18972.65	54900.32
强度侵蚀	水力强度侵蚀	4385.73	11595.46
	风力强度侵蚀	1213.75	7648.92
极强度侵蚀	水力极强度侵蚀	928.51	14691.45
	风力极强度侵蚀	0.00	128.34
剧烈侵蚀	水力剧烈侵蚀	0.00	3852.77
	风力剧烈侵蚀	0.00	0.00

### 3.2 土壤侵蚀强度变化

2000 年与 1995 年相比(表 5),虽然土壤侵蚀面积有所减少,但强度侵蚀面积却在增加。在净减少面积中,轻度侵蚀面积减少了 1.16×10<sup>5</sup> hm<sup>2</sup>,中度侵蚀面积增加了 4.2×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,强度侵蚀面积增加了 1.4×10<sup>4</sup> hm<sup>2</sup>,而极强度、剧烈侵蚀面积则出现明显增长趋

势, 极强度、剧烈侵蚀面积增加了  $1.7 \times 10^4 \text{ hm}^2$ , (见图 1); 另外, 分析有效治理的土壤侵蚀级别的强度降低情况可以看出, 级别变化跨度越大, 面积越小。这种情况反映出近几年治理主要集中在治理难度比较小的地类上, 从而忽视了土壤侵蚀强度大的地类。

### 3.3 土壤侵蚀速度变化

土壤侵蚀速度可借用土地利用动态度模型进行度量, 表达式为<sup>[6]</sup>:

$$K = (U_b - U_a / U_a) \times 1/T \times 100\% \quad (1)$$

式中:  $K$  —— 研究时段内某一土壤侵蚀变化率;  $U_a$ ,  $U_b$  —— 研究初期和研究末期某一种类型的侵蚀面积;  $T$  —— 研究时段长, 当  $T$  的时段设定为年时,  $K$  的值就是该研究区某种土壤侵蚀年变化率。

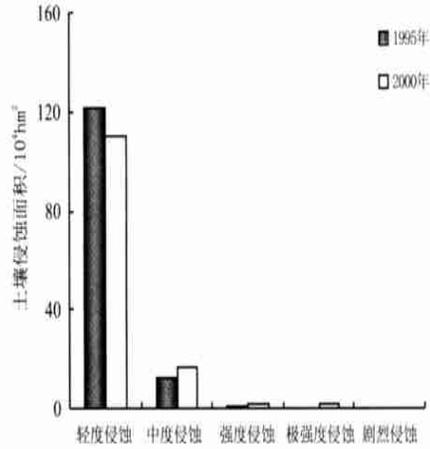


图 1 土壤侵蚀强度面积变化图

表 6 1995—2000 年土壤侵蚀变化率

土壤侵蚀变化率	水力侵蚀				风力侵蚀		
	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	极强度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀
1995—2000	-3.22%	1.20%	32.88%	296.45%	4.27%	37.87%	106.04%

按上述土壤侵蚀变化模型计算得到各类型侵蚀年变化率。结果表明, 只有水力轻度侵蚀年变化率呈缩小趋势, 其它类型尤其是强度以上侵蚀变化率呈增加趋势。

### 3.4 土壤侵蚀量变化

土壤侵蚀量和侵蚀模数是衡量一个地区水土流失状况的重要指标。侵蚀量是指某一地区年流失土壤总量(t)。侵蚀模数是单位面积( $\text{km}^2$ )、单位时段内(a)的土壤侵蚀量(t), 一般以每平方公里每年土壤流

失吨数或单位时段内土壤侵蚀厚度( $\text{mm/a}$ )计算。

根据辽宁省 46 个县 293 座小(①)水库和塘坝的淤积量和其上游集水区自然情况调查, 通过实测的淤积量和其上游的地类组成, 计算出不同地类的土壤侵蚀量。同时, 广泛收集了辽宁省内 9 个水土保持实验站、点多年连续的径流小区的实验资料, 经过统计分析, 编拟了不同地区、不同地类的侵蚀量数学关系, 作为测淤的计算依据。其中辽河下游地区各类型土壤侵蚀模数计算的数学模型见表 7。

表 7 辽河中下游地区土壤侵蚀模数计算数学关系模型

适用区域和对象	$n$	$r$	数学模型
辽宁中部地区坡耕地侵蚀模数 $E$ 与坡度 $S$	30	0.998	$E = 46.93 * S^{1.56}$
辽宁中部地区山区 $< 15^\circ$ 植被盖度 $C$ 的土壤侵蚀模数 $E$	16	-0.725	$E = 2606.51 - 28.96C$
辽宁中部地区山区 $15^\circ \sim 25^\circ$ 坡植被盖度 $C$ 的侵蚀模数	26	-0.957	$E = 6752.93 - 81.39C$
辽宁中部地区山区 $> 25^\circ$ 坡植被盖度 $C$ 的侵蚀模数	20	-0.962	$E = 11293.2 - 131.03C$

注: 表中  $S$ ,  $C$  值的确定根据水利部《土壤侵蚀分类分级标准》中土壤侵蚀强度分级标准来确定。

根据上述侵蚀关系模型, 可以计算出辽河下游地区 2 个小流域土壤侵蚀模数。

根据图 2 可以看出, 1995 年和 2000 年 2 次遥感调查结果比较, 土壤侵蚀量略有增加。1995 年年土壤侵蚀总量为  $3.71 \times 10^7 \text{ t}$ , 而本次遥感调查结果结果为  $3.91 \times 10^7 \text{ t}$ , 增加了  $1.96 \times 10^6 \text{ t}$ 。平均土壤侵蚀模数也由 1995 年的  $2766 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$  上升为  $2834 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。分析 1985, 1995 年和 2000 年土壤侵蚀面积、土壤

侵蚀量和侵蚀模数变化图可以看出, 侵蚀面积呈下降趋势, 而土壤侵蚀模数和侵蚀量则呈增长趋势, 大体反映出强度以上级面积增加的结果。

## 4 结 论

流域内土壤侵蚀面积总体上呈减少趋势, 并且这种变化有区域性差异。现有土壤侵蚀面积已从 1995 年的  $1.34 \times 10^6 \text{ hm}^2$  降为 2000 年的  $1.30 \times 10^6 \text{ hm}^2$ , 减

少了  $4.21 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 。主要是辽宁省长期不懈科学治理土壤侵蚀,特别是“八五”期间以“大禹杯”竞赛的形式开展的农田基本建设运动,始终把水土流失治理做为重要内容之一。

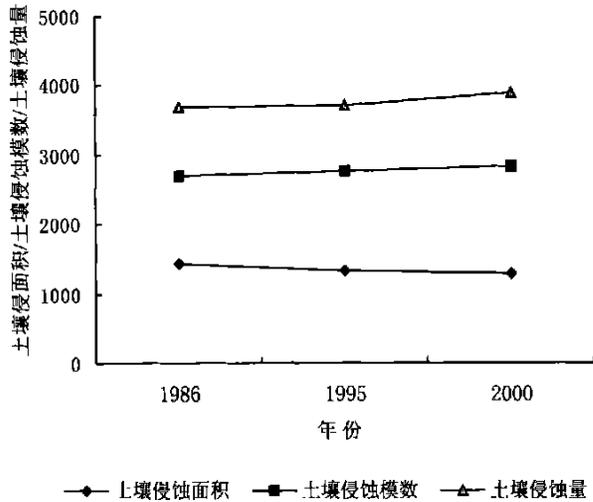


图 2 土壤侵蚀面积、侵蚀量和侵蚀模数变化

辽河中下游地区土壤侵蚀强度呈下降趋势,但是局部地区强度侵蚀有增强趋势。原来侵蚀较轻的 9 个市程度不同地出现了强度土壤侵蚀。从侵蚀程度和扩展面积来看,比较严重的是本溪市,同时鞍山、抚顺、营口、辽阳、铁岭、沈阳的强度侵蚀面积也有所增加,但进度较缓。

由于土地利用形式的改变,加剧了土壤侵蚀速度和侵蚀强度,进而使土壤侵蚀模数和土壤侵蚀量增加,这种人为改变土地利用形式引起的土地变化,不知要大于自然条件变化的多少倍。分析其原因,主要有 3 个方面。(1) 全社会对水土保持基本国策缺乏认识。法制观念淡薄、急功近利思想,短期行为严重。(2) 没有处理好开发与保护和合理利用水土资源的关系。只注重经济效益,忽视、破坏了生态效益和社会效益。(3) 自然灾害频繁。水灾、旱灾连续发生,造成了生态环境恶化,土壤侵蚀加重。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 李国英. 对我国水土保持工作的几点思考[ J ]. 中国水土保持, 1998( 2 ): 20—23.
- [ 2 ] 曹忠杰, 等. 辽宁土壤侵蚀管理的时空变化及其防治方略[ J ]. 水土保持研究, 1997, 4( 4 ): 40—44.
- [ 3 ] 张增祥, 赵晓丽, 陈晓峰, 等. 基于遥感和地理信息系统(GIS)的山区土壤侵蚀强度数值分析[ J ]. 农业工程学报, 1998, 14( 3 ): 77—83.
- [ 4 ] 许峰, 等. 20 世纪末中国土壤侵蚀的空间分布特征[ J ]. 地理学报, 2003, 58( 1 ): 139—146.
- [ 5 ] 中华人民共和国行业标准, 土壤侵蚀分类分级标准 SL190—96[ S ]. 北京: 中国水利水电出版社, 1997. 2—16.
- [ 6 ] 王秀兰, 包玉海. 土地利用动态变化研究方法探讨[ J ]. 地理科学进展, 1999, 18( 1 ): 81—87.
- (上接第 53 页)
- [ 3 ] 朱震达. 土地荒漠化问题研究现状与展望[ J ]. 地理研究, 1994, 1( 3 ): 104—113.
- [ 4 ] 李振山, 王一谋. 沙漠化评价基本理论初探[ J ]. 中国沙漠, 1994, 2( 6 ): 84—89.
- [ 5 ] 朱震达, 陈广庭, 等. 中国土地沙质荒漠化[ M ]. 北京: 中国林业出版社, 1994.
- [ 6 ] 董玉祥. 中国沙漠化危险程度评价与发展趋势分析[ J ]. 中国沙漠, 1996, 2( 6 ): 127—131.
- [ 7 ] 贾宝全, 慈龙骏, 高志海, 等. 绿洲荒漠化及其评价指标体系的初步探讨[ J ]. 干旱区研究, 2001, 2( 6 ): 19—24.
- [ 8 ] 李峰, 孙司衡. 景观生态学在荒漠化监测与评价中应用的初步研究——以青海沙珠玉地区为例[ J ]. 生态学报, 2001, 3( 3 ): 481—485.
- [ 9 ] 孙华, 张桃林, 王兴祥. 土地退化及其评价方法概述[ J ]. 农业环境保护, 2001, 20( 4 ): 283—285.
- [ 10 ] Stork N E, Boyle T J B, Dale V H, et al. Criteria and Indicators for Assessing the Sustainability of Forest Management: Conservation of Biodiversity. Center for International Forestry Research[ Z ]. Working Paper No. 17, Bogor, Indonesia. 1997.
- [ 11 ] Lorenz C M, Gilbert A J, Cofino W P. Indicators for transboundary river basin management[ M ]. In: Pykh, Y. A., Hyatt, D. E., Lenz, R. J. M. (Eds.), Environmental Indices: System Analysis Approach. EOLSS Publishers Co. Ltd., Oxford, UK, 1999. 313—328.
- [ 12 ] 杨根生, 消洪浪, 拓万全. 中国西北地区 5.5 特大沙尘暴分析: 全球沙尘暴警世录[ M ]. 北京: 中国环境科学出版社, 2001. 177—178.