

GIS 支持下的土壤侵蚀遥感研究

——以湖北省为例

王思远, 张增祥, 赵晓丽
(中国科学院遥感应用研究所, 北京 273300)

摘要: 利用遥感技术与地理信息系统技术, 以湖北省为例, 从宏观上对土壤侵蚀的空间分布特征进行了研究, 具体表现为通过数学建模, 对不同地形、不同土地利用类型、不同生态背景以及不同植被覆盖上的土壤侵蚀的空间分布及其大小进行了定量分析。为定性定量研究我国的土壤侵蚀提供了一种思路与方法。

关键词: 地理信息系统; 遥感技术; 土壤侵蚀; 空间分布

中图分类号: S157, TP79 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3409(2001)03-0154-04

Remote Sensing Study on Soil Erosion Backed by GIS

——Take Soil Erosion in Hubei Province for Example

WANG Si-yuan, ZHANG Zeng-xiang, ZHAO Xiao-li
(Institute of Remote Sensing Application, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: The research of soil erosion is a core and focus point for study on protection of environment. In order to study soil erosion, the technologies of remote sensing and geographical information system were used to analyze the spatial distribution of soil erosion. Take soil erosion in Hubei province for example, the mathematical methodology for study on soil erosion was explored and developed. And, the quantitative approach and track of study on soil erosion were given in this paper.

Key words: Geographical information system; remote sensing; soil erosion; spatial distribution

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。我国是土壤侵蚀最为严重的国家之一, 水土流失面积达 367 万 km², 占国土面积的 38%, 每年损失 6.7 万 km² 耕地, 流失掉土壤达 50 亿 t^[1], 随着遥感和地理信息系统技术的发展, 使得我们能够在宏观上研究土壤侵蚀的空间分布与演变过程。湖北省位于长江中游, 洞庭湖之北, 其地理位置为东经 108°21′~116°07′, 北纬 29°05′~33°20′。该区气候属亚热带湿润季风气候, 夏热冬寒, 无霜期 7~10 个月, 全省年降水量 800~1 600 mm。由于该区域属于水灾多发区, 故在该区域进行水土保持与土壤侵蚀的综合研究具有重要现实意义。

义。本文在遥感与地理信息系统技术支持下, 以湖北省为例, 对不同生态背景、不同土地利用背景下、不同植被覆盖条件下土壤侵蚀空间分布进行了研究, 给出了湖北省土壤侵蚀状况的空间分布及其大小。

1 研究区与所采用的数据集

研究区为整个湖北省。

所采用的数据有湖北省 1:10 万的土壤侵蚀数据、土地利用数据、生态背景数据以及反映植被覆盖情况的植被指数数据等。

土壤侵蚀数据是通过 LANDSAT TM 图象进行目视判读得到的, 判读过程中, 充分利用了如地

* 收稿日期: 2001-07-23

国土资源背景遥感研究知识创新项目(CX000009)和全国土壤侵蚀遥感调查项目(HX990001)联合资助。

作者简介: 王思远, 男, (1972-), 1974 年毕业于武汉测绘科技大学, 现在中国科学院遥感应用研究所攻读博士研究生, 主要从事遥感影像处理、模式识别、地理信息系统、以及生态、自然资源、环境遥感等方向的研究工作。

形、地貌和降雨等辅助数据。根据湖北省土壤侵蚀的特点,将土壤侵蚀分为水力侵蚀和工程侵蚀两种。其中以水力侵蚀为主。从科学性与实用性考虑,把水力侵蚀分为微度、轻度、中度、强度、极强和剧烈六等级。湖北省主要以轻度水力侵蚀为主,约占总面积的 67.2%,各等级所占的比重如表 1 所示。土地利用数据也是通过对 LANDSAT TM 图像进行目视判读得到的,区分差异性,归纳共同性,从高级到低级将土地利用类型分为耕地、林地、草地、水域、城乡工矿居民用地和未利用土地共 6 个一级类型。生态背景数据主要包括降雨数据、温度数据、DEM 数据等,降雨数据与温度数据是通过气象站采集到的多年气象观测数据,通过平均而得到的年平均数据。利用 GIS 对温度数据进行空间插值,通过空间化,从而得到相

表 1 湖北省土壤侵蚀分类统计表

侵蚀类型	水 力 侵 蚀						工程侵蚀	总面积
	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈		
面积/h m ²	12500332	2777018	2275000	906712	116841	110	18871	1859884
百分比/%	67.2	14.9	12.2	4.9	0.6	0.0	0.2	

表 2 降雨量与 10 积温分级表

等 级	降水量/mm	等 级	10 积温()
1	7230 ~ 9630	1	6850 ~ 17081
2	9631 ~ 12030	2	17082 ~ 27311
3	12031 ~ 14430	3	27312 ~ 37541
4	14431 ~ 16830	4	37542 ~ 47771
5	16831 ~ 19230	5	47772 ~ 58002

表 3 植被指数分级表

植被指数	0 ~ 23	23 ~ 46	46 ~ 70	70 ~ 93	93 ~ 116	116 ~ 139	139 ~ 163	163 ~ 255
分级	1	2	3	4	5	6	7	8

所有数据在 ARC/INFO 的 GIS 软件环境下,统一到统一的坐标系和投影下,并将其栅格化成 100 m · 100 m 的 GRID 数据。

2 土壤侵蚀综合指数的计算

土壤侵蚀强度是不同侵蚀类型作用下区域土壤侵蚀所产生的水土流失强烈程度的综合表现。为了能使不同侵蚀类型之间具有可比性,需要对不同侵蚀类型进行量化分级。依据其对生态环境的影响大小,对其进行量比分级。不同土壤侵蚀类型的不同强度等级的分级值划分如下:水力侵蚀中的微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀、强度侵蚀、极强度侵蚀、剧烈侵蚀的分级值分别为 0、2、4、6、8、10,工程侵蚀的分级值为 4。分级值越大,表示对生态环境影响越大,水土流失越厉害。同时,为了对不同行政单元的土壤侵蚀强度进行比较,可以用土壤侵蚀综合指数的大小来表示。土壤侵蚀综合指数计算公式定义如下:

$$INDEX_j = 100 \sum_{i=1}^n C_i A_i / S_j$$
式中:INDEX_j——第 j 单元的土壤侵蚀综合指数;

应的面状数字数据。这里所用到的温度数据主要为大于 10 的积温数据,降雨数据为年降雨量,将大于 10 积温与年降雨量均划分为 5 个等级如表 2 所示。各降雨等级与温度等级分布的总趋势为,从东南到西北,其降雨等级与温度等级都呈现出由高到低的分布。植被的覆盖情况可以由归一化植被指数(NDVI)来反映。NDVI 是利用 NOAA 气象卫星的 AVHRR 图像的近红外波段与红光波段之差除以二者之和。NDVI 最大值的生成基于每个季节中最低云量时相的图像数据,所采用的 NOAA/AVHRR 数据时段为 1990 年夏季最小云量中国影像数据集。根据灰度值进行线性拉伸,而后按植被覆盖的情况确定如下八级划分方式,如表 3。

C_i——j 单元第 i 类型土壤侵蚀的分级值;A_i——第 j 单元 i 类型土壤侵蚀所占的面积;S_j——第 j 单元所占的土地面积;n——第 j 单元土壤侵蚀的类型总数,为了方便统计计算,将其扩大 100 倍。

通过上式,以湖北省为分析单位,计算的土壤侵蚀综合指数为 114。

3 湖北省土壤侵蚀空间分布研究

土壤侵蚀的空间分布,具体表现为对不同高程带、不同坡度、不同坡向、不同土地利用类型、不同生态环境背景、不同植被覆盖的土壤侵蚀进行了分析研究,给出了不同地区的土壤侵蚀综合指数。

3.1 不同高程带、不同坡度、坡向上的土壤侵蚀情况分析

利用 DEM 数据,按高程大小将其分为 8 个高程带,而后将其与土壤侵蚀分级图叠加,在 ARC/INFOGRID 模块支持下,计算在不同高程分带上的土壤侵蚀综合指数(见表 3)。从其中 100 ~ 1000 m 高程带上土壤侵蚀最为厉害。而在丘陵、高山区,如

神农架地区, 由于有良好的植被, 人为干扰少, 水土保持比较良好, 因而土壤侵蚀程度比较低。

利用栅格 DEM 数据, 在 ARC/INFO 软件环境支持下, 可以生成坡度、坡向数据。而后将产生的坡度、坡向图与土壤侵蚀分级图进行叠加, 即可产生不同坡度、坡向上的土壤侵蚀综合指数(见表 4)。可以看出: 在平地或大于 35 的高坡上, 由于微度分蚀、

轻度侵蚀主要发生在平原区, 土壤侵蚀比较小, 尤其在丘陵、高原区, 由于植被保护比较好, 主要以微度侵蚀为主, 土壤侵蚀量最小。在不同坡向上, 微度侵蚀、轻度侵蚀、中度侵蚀主要发生在平地上, 强度侵蚀发生在南坡上多一些, 故东南坡、西南坡的土壤侵蚀相对大一些。

表 4 湖北省土壤侵蚀的空间分布

高程带/ m	0 ~ 100	100 ~ 200	200 ~ 500	500 ~ 1000	1000 ~ 1500	1500 ~ 2000	2000 ~ 2500	2500 ~ 3500		
面积/ h m ²	7516559	2328740	2597478	3311928	2095367	644311	88510	12084		
综合指数	50	167	178	160	132	114	20	7		
坡度	0 °~ 4 °	4 °~ 11 °	11 °~ 19 °	19 °~ 27 °	27 °~ 35 °	> 35 °				
面积/ h m ²	10857965	2345377	2585824	1704192	799541	306678				
综合指数	84	179	164	142	111	78				
坡向	0 °~ 5 °	5 °~ 45 °	45 °~ 90 °	90 °~ 135 °	135 °~ 180 °	180 °~ 225 °	225 °~ 270 °	270 °~ 315 °	315 °~ 360 °	
面积/ h m ²	3538084	3689920	1870847	2160711	1901310	1966950	1841666	3689920	1625489	
综合指数	108	105	112	124	130	126	114	105	99	
土地利用类型	耕地		林地		草地		水域		城乡、工矿用地	裸岩等难利用地
面积/ h m ²	6934075		9372570		704263		1046781		498770	38061
综合指数	71		149		291		5		16	92

3.2 不同土地利用类型的土壤侵蚀情况分析

将土地利用类型图与土壤侵蚀图进行叠加, 从而得到不同土地利用类型上的土壤侵蚀情况(见表 4)。从表中可看出: 草地类型土地上土壤侵蚀综合指数最高, 这主要由于草地类型中的一些低覆盖草地, 植被覆盖度低, 在水营力的作用下, 极易造成水土流失, 土壤侵蚀比较严重。同样情况下, 林地中的疏林地也极易形成水土流失, 土壤侵蚀也比较严重。而单从土壤侵蚀综合指数来看, 城乡工矿用地、水域的土壤侵蚀指数量低。

3.3 不同生态背景下的土壤侵蚀情况分析

将降雨等级数据与温度等级数据和土壤侵蚀数

据进行空间叠加分析统计, 得到如表 5 和表 6 所示的结果。从表 5 可以看出: 湖北省大部分土地位于降雨等级为 1、2、3 级的区域, 其中位于 3 级降雨带的面积最大。在不同的降雨等级区, 水力侵蚀以微度侵蚀为主, 1、2、3、4 级降雨带随着侵蚀强度的增加而侵蚀面积逐渐减小, 5 级降雨带土壤侵蚀以微度与中度水力侵蚀为主, 而剧烈侵蚀面积最小。工程侵蚀以位于 3 级降雨带面积最大, 达 50.1%。从土壤侵蚀综合指数来看, 在 5 级降雨带上土壤侵蚀最为厉害, 2、3、4、5 随着降雨强度的增加而土壤侵蚀逐渐加剧。

表 5 不同降雨等级下的侵蚀情况

ID	总面积	微度		轻度		中度		强度		极强		剧烈		工程		INDEX
		面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	
1	188868	109298	57.9	40482	21.6	22566	11.9	14732	7.8	1427	0.8	3	0.0	59	5.1	14
2	208005	151772	73.0	27638	13.3	21092	10.1	7005	3.4	498	0.2	0	0	237	31.2	90
3	222380	158263	71.2	24901	11.2	28837	13.0	8814	4.0	1600	0.7	1	0.0	380	50.1	10
4	121047	79594	65.8	17459	14.4	17316	14.3	5544	4.6	1134	0.9	0	0	103	13.6	12
5	2363	986	41.7	300	12.7	933	39.5	143	6.1	1	0.0	0	0	0	0	22

注: 表中 0.0 表示所占比例极小, 近似为 0.0。表 6 表 7 同。

从表 6 可以看出不同温度等级下的土壤侵蚀情况, 可以看出, 总体上湖北省位于 4、5 级温度带上, 在不同温度带上, 土壤侵蚀以微度水力侵蚀为主, 随着侵蚀强度的增加而侵蚀面积逐渐减小; 在 5 级温

度带上工程侵蚀面积最大, 占总工程师侵蚀面积的 90.6%。从侵蚀综合指数来看, 以 3、4 级温度带上的土壤侵蚀最为剧烈。

表 6 不同温度等级下的侵蚀情况

ID	总面积	微度		轻度		中度		强度		极强		剧烈		工程		INDEX
		面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	
1	947	915	96.9	11	1.1	21	2.2	4	0.4	0	0	0	0	0	0	14
2	22133	17762	80.3	2190	9.9	1442	6.5	699	3.2	40	0.2	0	0	0	0	66
3	78302	44918	57.4	16375	20.9	11258	14.4	5517	7.0	234	0.3	0	0	2	0.3	14
4	257892	144113	55.9	50264	19.5	42809	16.6	18098	7.0	2608	1.0	0	0	67	9.1	15
5	382802	291825	76.2	42047	11.0	35173	9.2	11930	3.1	1822	0.5	5	0.0	666	90.6	82

3.4 不同植被覆盖区的土壤侵蚀情况分析

就土壤侵蚀与植被的关系而言,一般认为植树对土壤具有较好的保护作用。土壤在天然植被保护而无人为干扰的条件下,仅存在土壤侵蚀的潜在可能性,建造植被是治理土壤侵蚀和改善生态环境的根本措施。从湖北省NDVI的空间分布来看,植被指数分级主要以5、6、7级为主,植被覆盖程度比较高。在ARC/INFO软件环境支持下,将NDVI数据与土壤侵蚀数据进行空间叠加分析,可得到不同植被覆盖下的土壤侵蚀情况,如表7所示。可以看出:在不同植被指数区,土壤侵蚀主要以微度水力侵蚀为主,随着侵蚀强度的增加而侵蚀面积逐渐减小;随着植

被指数等级从1到7,土壤侵蚀综合指数逐渐增加,而在8级区,土壤侵蚀指数又有所降低,其最大值为135,出现在植被指数7级区,最小值2出现在植被指数1级区。

经过分析发现:1、2级植被指数区主要以建设用地、水域为主,植被覆盖较低,但土壤侵蚀较轻。7级区主要分布在湖北省的西部与东南部高山区,包括神农架等原始森林,虽然有良好的植被覆盖,但由于地势坡度较大,以及人为滥确滥伐照造成的森林植被破坏,因而在雨水的营力作用下,水土流失比较严重。工程侵蚀则主要发生在植被指数4、5级区。

表 7 不同植被指数区的土壤侵蚀情况 hm²

ID	总面积	微度		轻度		中度		强度		极强		剧烈		工程		INDEX
		面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	面积	%	
1	24110	23982	99.5	80	0.3	7	0.0	41	0.1	0	0	0	0	0	0	2
2	58462	55993	95.8	922	1.6	336	0.6	365	0.6	10	0.0	0	0	836	1.4	15
3	219969	195209	88.7	11476	5.2	5545	2.5	4532	2.1	1185	0.5	0	0	2022	0.9	41
4	1592001	1144431	71.9	214111	13.4	147976	0.9	69402	4.4	9475	0.6	16	0.0	6590	0.4	97
5	5155052	3580838	69.5	672568	13.0	599307	11.6	245702	4.8	48587	0.9	88	0.0	6992	0.1	109
6	6249562	4201086	67.2	912572	14.6	829455	13.3	272171	4.4	32121	0.5	6	0.0	2151	0.0	113
7	4226797	2557631	60.5	794441	18.8	594493	14.1	258990	6.1	20966	0.5	0	0	276	0.0	135
8	1042743	723995	69.4	166865	16.0	93866	9.0	54633	5.2	3350	0.3	0	0	34	0.0	102

3.5 分县土壤侵蚀情况分析

在ARC/INFO软件GRID模块支持下,将湖北省分县行政边界图与土壤侵蚀图相叠加,得到整个湖北省分县土壤侵蚀综合指数分级图,从图中可以看出,湖北省西北部地区和东北地区,土壤侵蚀最为严重,而在湖北中部地区,土壤侵蚀比较小。其中,在麻城市、郧西县、郧县、竹山县、竹溪县、大悟县、英山县、阳新县、通山县、采凤县土壤侵蚀综合指数比较高,麻城县最高,达261。而在武汉市郊、荆州市郊、洪湖市、监利县、公安县、江陵县、石首市土壤侵蚀综合指数最低(图略)。

4 结 语

遥感技术与GIS技术相结合,是进行国土调查与研究的有效工具,不仅可以节省财力物力,而且可以对土壤侵蚀演变过程进行快速监测,从而从总体上把握土壤侵蚀演变与分布情况,为政府及时决策提供依据。本文在遥感技术与GIS技术的支持下,参考文献:

对湖北省土壤侵蚀进行了定量研究。结果表明,就湖北省而言,土壤侵蚀主要以水力侵蚀和工程侵蚀为主,而水力侵蚀又主要以微度水力侵蚀为主。同时对不同地形、不同土地利用类型、不同生态背景以及不同植被覆盖上的土壤侵蚀进行分析。结果表明:湖北省土壤侵蚀主要发生在100~2 000 m高程带上,其中100~1 000 m高程带上土壤侵蚀最为厉害;在不同的降雨带和温度带上,水力侵蚀以微度侵蚀为主,随着侵蚀强度的增加而侵蚀面积逐渐减小;在不同土地利用类型中,草地的土壤侵蚀综合指数最高,而城乡工矿用地、水域的土壤侵蚀指数相对最低。对于不同植被覆盖,随着植被指数等级从1到7,土壤侵蚀综合指数逐渐增加,在8级区,土壤侵蚀指数又有所降低。总之,造成湖北省土壤侵蚀的原因是多种综合因素相互作用的结果,如森林植被的破坏、长江流域生态环境的恶化等因素造成的大面积水土的流失等。所以,水土保持与环境治理应本着遵循综合治理、保护与治理并重的原则。

[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] 吴发启,赵晓光,刘秉正.缓坡耕地降雨、入渗对产流的影响分析[J].水土保持研究,2000,7(1):12-17.
[3] Jones, s. Deconstructing the degradation debate: A study of land degradation in the Uluguru mountains, Tanzania. UN-PUBLISHED ph. D. thesis[M], School of Development Studies, University of East ANGLIA Norwich, 1995.
[4] Shi, W. Z. and M. Ehlers., Determinning uncertainties and their propagation in dynamic change detection based on classified remote sensed images[J]. Int. J. Remote Sensing, 1996, 17(14): 1 100 ~ 1 117.