

基于 RS 和 GIS 的重庆南川区水土流失变化研究

魏兴萍^{1,2}

(1. 重庆师范大学 地理科学学院, 重庆 400047; 2. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

摘要:水土流失是导致生态恶化和贫困的根源,在岩溶地区,水土流失对人类的负面影响更大。以重庆南川区为例,利用 TM 遥感图像,运用 ERDAS 遥感软件和 GIS 软件,得到了 1988 年和 2000 年水土流失强度图;运用地图代数原理,分析了这两个时期水土流失强度转移变化情况;并通过水土流失强度图和水土流失相关地理特征(岩性、坡度坡向、高程、土地利用等)叠加分析,得出水土流失在不同地理特征中的表现;通过室内人工降雨模拟,得出该地区水土流失量随降雨强度和坡度增加而增大的关系。本研究为水土流失治理提供了依据,对当地经济发展建设有着重要的意义。

关键词:水土流失;重庆南川区;GIS;RS

中图分类号:S157;TP79

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2009)05-0060-06

Soil Erosion Change Research at Nanchuan District in Chongqing Based on RS and GIS

WEI Xing-ping^{1,2}

(1. School of Geographic Science, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China; 2. School of Geographic Science, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: The soil erosion leads to the ecology worsening and the origin of the impoverished. The soil erosion affects human in the karst area more than the other region. This article takes Nanchuan area in Chongqing as an example and obtains the soil erosion intensity chart in 1988 and in 2000 with the TM remote sensing image by the ERDAS remote sensing software and the GIS software. It analyzed these two time soil erosion intensity shift change situation using the map algebra principle; And through the soil erosion intensity chart and the soil erosion correlation geography characteristic (lithological character, slope, aspect, elevation, land utilization and so on) overlay analysis, it obtains the performance of the soil erosion in the different geography characteristics. It obtains the relation that the increase of the rain intensity and slope leads to the increase of loss of soil and water through the artificial rain simulation in the room. It provided a basis for governing the loss of soil and water, which important significance to local economic development.

Key words: soil loss; nanchuan area in the Chongqing; GIS; RS

水土流失是限制当今人类社会生存与发展的全球性环境问题之一,严重制约着全球社会经济可持续发展。水土流失不但造成土壤退化、土地生产力下降,还引起江河淤积、水体污染、洪涝灾害加剧^[1]。水土流失是导致生态恶化和贫困的根源。因此研究水土流失机理及其时空变化对该地区经济发展有着重要的意义。

1 研究区概况

南川区位于重庆南部(东经 106°54' - 107°27', 北纬 28°26' - 29°30'),东南与贵州省道真、正安、桐梓县接壤,东北与武隆县为邻,北接涪陵区,西连巴南区、綦江县、万盛区,辖区幅员面积 2 602 km²。境内地形以山地为主,系中山丘陵地区;低山槽坝面积

* 收稿日期:2009-04-07

基金项目:国家科技支撑计划(2006BAC01A16);重庆市委委研究项目(2004-8258);国家自然科学基金(40672165);科技部攻关项目(2006BAC01A16);重庆市科技项目院土专项(cstc,2005AB7006)

作者简介:魏兴萍(1975-),女,四川广安人,在读博士,讲师,主要从事资源环境与地理信息系统研究。E-mail:xingpingwei@126.com

较少,地势呈东南向西北倾斜;南部属大娄山脉褶皱地带;北部系川东平行岭谷区。境内最高海拔 2 251 m,最低海拔 340 m。其中含碳酸岩溶土地面积为 1 108.74 km²,占整个南川土地面积的 42.61%。

南川地处亚热带湿润季风气候区,常年平均气温 16.16℃,极端最高气温 39.18℃,多年平均降雨量 1 185 mm。岩溶地区主要分布在南川中部和南部,具体主要分布在 T_{2l}(三叠纪中统雷口坡组)、T_{1j}和 T_{1f}(三叠纪下统嘉陵江组和三叠纪下统飞仙关组)、P₂ P₁(二叠纪上统和下统)、奥陶纪、寒武纪地层中。南川区农业人口 55 万人,农村人均年收入在渝西经济走廊农民收入中是最低的地区^[2]。通过深入调查研究南川区水土流失的时空变化,对改善和提高南川区农民的生活水平有着重要的意义。

2 研究数据及方法

2.1 数据准备

本研究中,选用 1988 年 6 月 4 日以及 2000 年 7 月 30 日 127 - 40 景 TM7 个波段的遥感影像,南川区土地利用类型图(2000 年)、DEM 数据(1 5 万)、南川水文地质图、南川行政区划图。栅格计算时统一采用 25 m × 25 m。此外,所有数据均采用统一的

Krasovsky_1940_Transverse_Mercator 投影进行空间计算。

2.2 研究方法

2.2.1 利用已有的数据,制作两个时期的水土流失强度图 对已有的遥感图像,提取植被指数;采用 234 波段假彩色合成数字遥感影像提取土地利用类型图,对 DEM 提取坡度图,同时参考南川区水文地质图,利用表 1 中的指标进行水土流失强度分级。并通过野外考察验证,得到 1988 年和 2000 年南川区水土流失强度图以及南川区岩溶地区两个时期的水土流失强度图。并统计二个时期水土流失强度的分布面积^[3](表 2)。

2.2.2 时间变化特征分析 利用地图代数原理,对 1988 年和 2000 年的水土流失强度图进行水土流失类型的转移特征提取。利用公式(1)的地图代数方法进行转移信息提取^[4]。

$$C_{ij} = A_{ij}^k \times 10 + A_{ij}^{k+1} \text{ (类型小于 10 时适用)} \quad (1)$$

式中: C_{ij} ——1988 - 2000 年的水土流失强度类型变化图; A_{ij}^k, A_{ij}^{k+1} ——研究区两个时段的水土流失强度图。根据该公式,利用 GIS 的栅格叠加功能可以计算出 1988 年和 2000 年研究区各类型水土流失强度间的相互转化信息(表 3 - 4)。

表 1 水蚀定量判别因子匹配模型

覆盖度	地面坡度						水域、城镇、居民点
	< 5°	5°~8°	8°~15°	15°~25°	25°~35°	> 35°	
60%~75%	微度	轻度	轻度	轻度	中度	中度	微度
非耕地林 45%~60%	微度	轻度	轻度	中度	中度	强度	微度
草覆盖度 30%~45%	微度	轻度	中度	中度	强度	极强度	微度
< 30%	微度	中度	中度	强度	极强度	剧烈	微度
坡耕地	微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈	微度

表 2 重庆南川区水土流失统计表

年份	微度(无明显流失)		水土流失面积									
	面积/ hm ²	占总 面积/ %	水土流失 面积/ hm ²	占总 面积/ %	轻度/ hm ²	占流失 面积/ %	中度/ hm ²	占流失 面积/ %	强度/ hm ²	占流失 面积/ %	极强度/ hm ²	占流失 面积/ %
1988	118466.62	45.53	141733.38	54.47	79819.57	56.32	6928.24	4.89	33508.91	23.64	21476.67	15.15
2000	171729.12	66.00	88470.88	34.00	80339.33	90.81	5050.37	5.71	2798.60	3.16	282.58	0.32

表 3 1988 - 2000 年重庆南川区水土流失强度类型转移矩阵

水土流失类型	2000 年						合计
	微度	轻度	中度	强度	极强度		
微度	81622.68	33648.46	1853.39	1207.97	129.32	118461.83	
轻度	64684.87	14039.62	818.70	290.75	26.56	79860.51	
1988 年 中度	5598.21	1255.61	61.92	14.22	1.00	6930.96	
强度	15277.52	16450.14	1486.07	270.55	53.31	33537.60	
极强度	4637.91	14897.54	832.98	967.29	73.39	21409.11	
合计	171821.19	80291.37	5053.06	2750.78	283.58	260200.00	

2.2.3 水土流失与地理环境因子的相关分析 岩性、降雨侵蚀力、土壤、坡度坡向、土地利用等地理因子是水土流失产生的重要影响因素^[5]。为了获取水土流失与上述地理因子的相关性,将南川区水土流失强度图分布分别与岩性、坡度坡向、土地利用类型图分级叠加,得出南川区水土流失与地理环境因子相关性表格(表 5-9)^[6]。为了进一步获取南川区降雨强度与土壤流失的关系,采集当地的土样带回实验室,通过人工模拟降雨,分析得出降雨强度与产沙的关系^[7](见表 10)。

表 4 1988 - 2000 年南川水土流失强度变化

变化程度	变化强度	变化面积/ hm ²	转化类型
增强变化	微度变化	36839.15	轻度、中度、强度、极强度
	轻度变化	1136.02	中度、强度、极强度
	中度变化	15.21	强度、极强度
	强度变化	53.31	极强度
合计		38043.69	
减弱变化	轻度变化	64684.87	微度
	中度变化	6853.83	轻度、微度
	强度变化	33213.73	微度、轻度、中度
	极强度变化	21335.72	微度、轻度、中度、强度
合计		126088.15	

3 结果分析

3.1 水土流失的总体特征

1988 年南川水土流失面积达 141 733.38 hm²,

表 5 重庆南川岩溶区与非岩溶区水土流失统计表

年份	岩溶区				非岩溶区			
	水土流失面积/ hm ²	比例/ %	无明显流失面积/ hm ²	比例/ %	水土流失面积/ hm ²	比例/ %	无明显流失面积/ hm ²	比例/ %
1988	52787.76	37.25	58086.64	39.94	88918.54	62.75	60407.06	41.72
2000	23510.66	26.58	87363.74	60.06	64924.95	73.42	84400.65	58.28

3.3 水土流失与坡度坡向的关系

用坡度坡向图与水土流失强度图分别叠加得到它们之间的相关特征统计(表 6 和表 7),发现水土流失在 1988 年主要集中在 8°~15°、15°~25°、25°~35° 的坡度上,其侵蚀面积占到了 81.93%,其中坡度在 15°~25° 的侵蚀面积最大,达到 36.34%。在 2000 年水土流失主要集中在坡度为 25°~35° 和 >35° 上,其侵蚀面积达 70.99%。坡度 <25° 的水土流失面积大幅降低的原因进行了坡改梯工程^[10]。从表 7 中很容易得出坡向对水土流失的影响不大。

3.4 水土流失与土地利用的关系

土地利用类型图与水土流失强度图叠加,从表 8 中,可以看出水土流失主要集中在坡耕地和灌丛,

占南川区总面积的 47.61%,2000 年南川水土流失面积达 23 510.66 hm²,占总面积的 21.20%。水土流失面积减少了 118 222.72 hm²(从表 2 得出)。从表 3 可以看出,1988 - 2000 年南川水土流失强度变化中,侵蚀程度增强变化的水土流失面积为 38 043.69 hm²,它们分别从微度变化到轻度、中度、强度、极强度侵蚀;轻度变化到中度、强度、极强度侵蚀;中度变化到强度、极强度以及强度变化到极强度侵蚀。侵蚀程度减弱变化的水土流失面积为 126 088.15 hm²,其减弱的程度是从极强度到微度、轻度、中度、强度侵蚀;从强度变化到微度、轻度、中度侵蚀;从中度变化到轻度和微度侵蚀以及从轻度变化到微度侵蚀^[8]。总的来讲,水土流失强度降低的面积达 88 044.46 hm²。

3.2 岩性与水土流失的关系

从表 5 中,可以得出南川 1988 年岩溶区水土流失面积占南川水土流失总面积的 37.25%,非岩溶区水土流失面积占南川水土流失总面积的 62.75%,2000 年岩溶区水土流失面积占南川水土流失总面积的 26.58%,非岩溶区水土流失面积占南川水土流失总面积的 73.42%。南川岩溶区的水土流失面积在比例上相比非岩溶水土流失面积要小,而且水土流失面积比例越来越低,原因是岩溶地区随着水土流失的发展,导致石漠化越来越严重,因此岩溶区可流失的土壤越来越小,甚至有些地方已经变得无土可流^[9]。

1988 年和 2000 年其水土流失面积分别占水土流失总面积的 82.02% 和 79.05%,2000 年林地、灌木林、草地等土地利用类型水土流失面积明显下降,说明了该地区在执行封山育林、种树种草等生态修复政策所产生的正面效应。但坡耕地和水田水土流失面积有所增加,说明了人类不合理的农业活动是导致水土流失发生的主要原因^[11-13]。

3.5 水土流失与高程的关系

水土流失强度图与高程图叠加得到表 9 相关数据,可以看到 1988 年和 2000 年水土流失都主要集中在 500~1 500 m,它们分别占水土流失总面积的 95.34% 和 92.85%。而水土流失在海拔 <500 m 和 >1 500 m 的流失比例很小,原因是 <500 m 的地

区是河谷平原和低缓丘陵区,水土流失小,而在 >1 500 m 的地区由于植被覆盖好,所以土壤流失小^[14]。对比这两个年份,发现 2000 年水土流失在强度以上程度的绝对面积减少很多,仅为 1988 年水土流失在强度以上面积的 5.56%,说明该地在贯彻退耕还林和水土保持工程等方面落实得很好。

3.6 水土流失与降雨强度的关系

本实验采集的土壤样品是南川南坪镇岩溶槽谷坡耕地上,土壤为三叠系嘉陵江组石灰岩母质发育而成的黄壤,实验采用 0 - 20 cm 的耕作层土壤。通过采用室内人工降雨模拟,得出不同雨强,在不同的坡度上,土壤产沙的情况^[15](见表 10 和图 1)。

表 6 重庆南川区水土流失与坡度的相关特征统计表

年份	类型	<5°		5°~8°		8°~15°		15°~25°		25°~35°		>35°	
		面积/hm ²	百分比/%										
1988	微度	13230.19	11.17	8373.79	7.07	24257.12	20.47	34443.56	29.07	23162.19	19.54	14996.27	12.65
	轻度	2662.12	3.33	6879.60	8.61	26288.36	32.91	36297.80	45.43	6123.71	7.66	1604.11	2.01
	中度	264.41	3.82	426.88	6.16	4878.78	70.30	1213.94	17.32	129.49	1.84	16.83	0.24
	强度	174.76	0.52	238.35	0.71	1757.54	5.24	12275.85	36.60	17299.03	51.52	1789.21	5.32
	极强度	54.37	0.25	68.02	0.32	305.75	1.43	1726.55	8.06	7973.84	37.22	11287.60	52.59
	百分比/%		2.23		5.37		23.45		36.34		22.24		10.37
2000	微度	15786.80	9.19	14972.10	8.70	49886.29	29.04	69528.19	40.47	15407.78	8.97	6202.67	3.61
	轻度	554.10	0.69	941.42	1.17	7141.28	8.89	15184.64	18.91	35309.16	43.97	21179.63	26.37
	中度	29.29	0.58	50.92	1.01	368.99	7.30	832.03	16.47	3440.75	68.09	331.22	6.55
	强度	17.02	0.61	23.12	0.84	92.43	3.34	379.15	13.70	381.89	13.80	1874.61	67.72
	极强度	0.75	0.26	1.50	0.53	4.55	1.60	29.36	10.32	143.48	50.43	104.90	36.87
	百分比/%		0.68		1.15		8.60		18.58		44.42		26.57

注:列方向的 % 表示不同坡度分级占每种水土流失类型的百分比;行方向的 % 表示不同坡度分级占水土流失总面积的百分比;水土流失总面积 = 轻度 + 中度 + 强度 + 极强度 + 剧烈

表 7 重庆南川区水土流失与坡向的相关特征统计表

年份	类型	平缓地	百分	东坡面	百分	南坡面	百分	西坡面	百分	北坡面	百分
		面积/hm ²	比/%	积/hm ²	比/%	积/hm ²	比/%	积/hm ²	比/%	积/hm ²	比/%
1988	微度侵蚀	1303.47	1.10	30905.97	26.09	25016.81	21.12	34078.15	28.77	27158.71	22.93
	轻度侵蚀	324.57	0.41	20074.74	25.14	17368.92	21.75	23403.35	29.31	18684.11	23.42
	中度侵蚀	33.60	0.48	1769.39	25.53	1528.23	22.05	1966.46	28.38	1632.66	23.59
	强度侵蚀	58.29	0.17	9203.62	27.45	7450.56	22.22	9502.50	28.34	7319.76	21.87
	极强度侵蚀	21.88	0.10	6634.64	30.98	5094.37	23.79	5101.05	23.82	4564.18	21.27
	百分比/%		0.31		26.58		22.18		28.20		22.73
2000	微度侵蚀	1594.37	0.93	44946.72	26.17	36631.72	21.32	48574.45	28.27	40036.57	23.30
	轻度侵蚀	135.44	0.17	21452.50	26.72	17868.59	22.25	23135.14	28.80	17718.56	22.07
	中度侵蚀	7.73	0.15	1326.11	26.24	1203.07	23.81	1501.32	29.71	1014.96	20.09
	强度侵蚀	4.18	0.15	768.83	27.77	681.50	24.62	771.13	27.86	542.57	19.59
	极强度侵蚀	0.25	0.09	92.06	32.35	75.98	26.70	68.81	24.18	47.43	16.67
	百分比/%		0.17		26.74		22.43		28.82		21.86

注:列方向的 % 表示不同坡向分级占每种水土流失类型的百分比;行方向的 % 表示不同坡向分级占水土流失总面积的百分比;水土流失总面积 = 轻度 + 中度 + 强度 + 极强度 + 剧烈

通过回归分析,建立了黄壤产沙预报方程:

$$S = - 0.35 + 0.021s + 0.059I + 0.078sI$$

式中: s ——单位面积水土流失量 (kg/m²);

s ——坡度 (°); I ——平均雨强 (mm/min)。

从公式中可以看出,水土流失量与坡度和雨强有关,随着坡度、雨强的增加,水土流失量增大。

表 8 重庆南川区水土流失与土地利用的相关特征统计

年份	类型	城镇面		水田面		坡耕地		灌丛面		林地面		草地面		水域面	
		面积/hm ²	比/%	面积/hm ²	比/%	面积/hm ²	比/%	面积/hm ²	比/%	面积/hm ²	比/%	面积/hm ²	比/%	面积/hm ²	比/%
1988	微度	1861.54	0.84	38547.14	17.39	28387.86	12.81	54453.73	24.57	91830.26	41.43	2755.17	1.24	3801.42	1.72
	轻度	486.89	1.63	567.27	1.90	19508.89	65.21	5333.09	17.83	2756.34	9.21	1230.23	4.11	35.67	0.12
	中度	23.76	0.52	125.88	2.75	1239.75	27.12	2257.52	49.39	567.34	12.41	334.70	7.32	21.78	0.48
	强度	37.23	1.97	46.34	2.45	1127.00	59.55	372.82	19.70	234.67	12.40	34.89	1.84	39.45	2.08
	极强度					1537.32	70.47	545.17	24.99	74.74	3.43	5.76	0.26	18.37	0.84
	百分比/%		1.51		2.03		60.13		21.89		9.78		4.40		0.27
2000	微度	2425.83	1.11	42840.68	19.62	49748.17	22.79	37826.67	17.33	77684.34	35.58	2353.07	1.08	5437.79	2.49
	轻度	833.37	2.28	2458.67	6.74	25818.22	70.79	3278.82	8.99	2856.22	7.83	1159.89	3.18	68.31	0.19
	中度	8.20	0.25	290.24	8.80	1454.83	44.11	1083.72	32.86	328.59	9.96	118.49	3.59	13.86	0.43
	强度	20.67	1.08	155.53	8.13	908.27	47.50	447.09	23.38	308.67	16.14	60.71	3.17	11.38	0.60
	极强度	10.91	5.46	39.02	19.54	77.48	38.79	42.07	21.07	19.61	9.82	7.79	3.90	2.84	1.42
	百分比/%		2.08		7.03		67.47		11.58		8.39		3.22		0.23

注:列方向的 %表示不同土地利用类型占每种水土流失类型的百分比;行方向的 %表示不同土地利用类型占水土流失总面积的百分比;水土流失总面积 = 轻度 + 中度 + 强度 + 极强度 + 剧烈。

表 9 重庆南川区水土流失与高程的相关特征统计

年份	类型	< 500 m		500 ~ 800 m		800 ~ 1000 m		1000 ~ 1500 m		> 1500 m	
		面积/hm ²	比/%	面积/hm ²	比/%	面积/hm ²	比/%	面积/hm ²	比/%	面积/hm ²	比/%
1988	微度	1156.09	0.98	43539.50	36.75	25394.12	21.44	32206.33	27.19	16167.07	13.65
	轻度	1263.26	1.58	39523.41	49.49	22318.02	27.95	13973.04	17.50	2777.96	3.48
	中度	65.21	0.94	3178.72	45.87	2017.71	29.11	1646.50	23.76	22.20	0.32
	强度	340.29	1.01	13307.87	39.68	10229.77	30.51	8679.16	25.88	977.65	2.92
	极强度	256.06	1.20	6272.16	29.29	6826.91	31.88	7165.89	33.46	895.11	4.18
	百分比/%		1.36		43.94		29.20		22.20		3.30
2000	微度	2097.93	1.22	73561.75	42.82	42478.12	24.73	38135.91	22.20	15510.12	9.03
	轻度	828.98	1.03	28518.24	35.51	22125.28	27.55	23727.88	29.55	5109.85	6.36
	中度	73.92	1.46	2586.40	51.18	1322.81	26.18	973.89	19.27	96.17	1.90
	强度	75.67	2.73	1022.63	36.94	781.42	28.23	779.17	28.15	109.33	3.95
	极强度	5.80	2.04	126.28	44.38	74.23	26.09	57.53	20.22	20.69	7.27
	百分比/%		1.11		36.48		27.49		28.88		6.04

注:列方向的 %表示不同高程分级占每种水土流失类型的百分比;行方向的 %表示不同高程分级占水土流失总面积的百分比;水土流失总面积 = 轻度 + 中度 + 强度 + 极强度 + 剧烈

表 10 坡面积产沙量与累积径流量之间的关系

土壤类型	雨强/(mm · min ⁻¹)	累积产沙量与累积径流量关系	相关系数
黄壤	1.794	$S = 0.328 + 12.2Q$	0.932
	3.001	$S = 0.321 + 17.2Q$	0.862
	4.103	$S = 0.179 + 9.28Q$	0.917

4 结论与讨论

(1) 研究区水土流失总体呈现好转趋势,极强度和剧烈水土流失面积下降变幅最大。各类型水土流失的主要转移方向表现出强度减弱趋势。

(2) 水土流失与岩性有关 1988 - 2000 年,水土

流失逐渐集中趋向非岩溶区,原因是岩溶区的石漠化发展,导致可以流失的土壤越来越少,有些地方甚至无土可流。

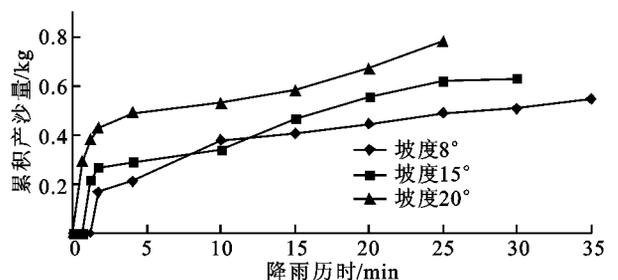


图 1 不同坡度黄壤累积产沙量过程线(雨强 3.001 mm/min)
(3) 水土流失与坡度具有很好的相关性。水土

流失主要分布在 15° 以上的陡坡地,其水土流失面积比基本在 80% 左右。而 2000 年水土流失主要分布在 25° 以上的陡坡地,原因是该地区对 > 25° 的陡坡地进行了相应的坡改梯,使 < 25° 的土壤流失面积大幅减少。

(4) 水土流失与坡向无明显的相关关系。各坡向水土流失面积和强度分布基本相当。

(5) 水土流失与土地利用类型关系最为密切的是坡耕地尤其是陡坡耕地和疏林地,二者水土流失面积比达到 80%。

(6) 水土流失表现出明显的垂直分异特征:水土流失主要集中于高程 500 ~ 1 500 m 的山地丘陵地区,面积比超过 90%;高程 500 m 以下多为河谷阶或缓丘平坝,1 500 m 以上植被发育良好,这些区间多无明显侵蚀或轻度侵蚀。

(7) 研究区黄壤的产沙量与降雨强度和坡度有关,成正相关关系。

(8) 从几个影响本区水土流失的环境因子的作用强度来看,人类不合理的土地利用是本区水土流失最为主要的影响因子,坡度因子其次。二者往往是综合发生作用的,通过上述分析也可以看出,陡坡耕地是本区水土流失最为严重的地区。再次为降雨强度和土壤产沙的关系,降雨强度是导致土壤产沙多少的关键因素之一。海拔高度因子对水土流失的影响也是与人类活动有着密切关系,人类活动较频繁,影响程度较高的高程范围内水土流失则较严重。研究发现坡向因子对水土流失影响最小。岩性也是影响水土流失的一个因素,现在随着石漠化程度的加剧,土壤流失量主要趋向非岩溶地区,因为岩溶地区可流失的土壤越来越少。

本文研究的基础数据均由遥感影像解译得到,遥感数据解译本身存在误差必然会影响分析结果的准确性^[16],但是研究区水土流失的时空变化仍然在图表中得到充分体现,因此本研究对当地经济建设有着重要的意义。

参考文献:

- [1] 杨存建,刘纪远,张增祥.重庆市水土流失及其背景的空间分析[J].水土保持学报,2000,14(3):84-87.
- [2] 黄岩,谢世友,赵亚萍.基于 ETM 影像的喀斯特石漠化调查研究[J].国土资源遥感,2008,1(35):55-58.
- [3] 李月臣,刘春霞,赵纯勇.三峡库区重庆段水土流失的时空格局特征[J].地理学报,2008,63(5):502-513.
- [4] 何春阳,史培军,陈晋,等.北京地区土地利用/覆盖变化研究[J].地理研究,2001,20(6):679-687.
- [5] 彭建,杨明德.贵州花江喀斯特峡谷水土流失状态分析[J].山地学报,2001,19(6):511-515.
- [6] 卜兆基,孙金庄,周付建,等.水土流失定量遥感方法及其应用研究[J].土壤学报,1997,34(3):235-245.
- [7] 周付建,陈明华.福建省降雨侵蚀力指标 R 值[J].水土保持学报,1995,9(1):13-18.
- [8] 齐晓君,王恩德,贾三石.基于 GIS 和 RS 的抚顺市水土流失动态研究[J].东北大学学报,2008,29(9):1343-1345.
- [9] 路云阁,许月卿,蔡运龙.基于遥感技术和 GIS 的小流域土地利用/覆被变化分析[J].地理科学进展,2005,24(1):79-87.
- [10] 廖小勇,陈治谏,刘邵权,等.三峡库区紫色土坡耕地不同利用方式的水土流失特征[J].水土保持学报,2005,12(1):159-161.
- [11] 史培军,宫鹏,李晓兵,等.土地利用/覆盖变化研究的方法与实践[M].北京:科学出版社,2000.
- [12] 傅伯杰,邱扬,王军,等.黄土丘陵小流域土地利用变化对水土流失的影响[J].地理学报,2002,57(6):717-722.
- [13] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A Guide to Conservation Planning [M]. Washington:USDA,1978:537-538.
- [14] [美]哈德逊 N W.土壤保持[M].北京:科学出版社,1975:52-53.
- [15] 倪九派,魏朝富,高明,等.三峡库区坡耕地土壤养分流失的实验研究[J].水土保持学报,2008,22(5):38-42.
- [16] 杨胜天,朱启疆.人机交互式解译在大尺度水土流失遥感调查中的作用[J].水土保持学报,2000,14(3):88-92.