

贵州省猫跳河流域土壤侵蚀动态变化分析

许月卿, 冯艳, 周东, 郭飞阁

(中国农业大学 资源与环境学院土地资源管理系, 北京 100193)

摘要: 以贵州省猫跳河流域为案例区, 运用 RUSLE 模型对流域 1973, 1990, 2007 年土壤侵蚀空间格局进行了模拟。分析了该流域土壤侵蚀动态变化规律, 为流域土壤侵蚀的有效防治提供了科学依据。结果表明, (1) 流域下游以及上游西部溶蚀丘陵谷地土壤侵蚀较严重, 土壤侵蚀量主要来源于强烈、极强烈及剧烈侵蚀区域, 旱地和灌草地是流域发生土壤侵蚀的主要用地类型。(2) 近 30 a 来, 流域土壤侵蚀经历了趋向严重—减轻的变化过程。1973—1990 年低强度土壤侵蚀面积在减少, 而高强度侵蚀面积在增加。1990—2007 年, 除了微度侵蚀面积大幅度增加外, 其余侵蚀等级面积均在大幅度减少。 $6^{\circ}\sim 25^{\circ}$ 坡度带是发生土壤侵蚀的主要区域, 也是水土流失防治及治理的重点区域。

关键词: 土壤侵蚀; 动态变化; 贵州省猫跳河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0186-05

中图分类号: S157.1, P332.1

Soil Erosion Dynamics in Maotiao River Watershed of Guizhou Province

XU Yue-qing, FENG Yan, ZHOU Dong, GUO Fei-ge

(Department of Land Resources Management, College of Resources
and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China)

Abstract: Taken Maotiao River watershed of Guizhou Province as a case study, this paper simulated the spatial distribution of soil erosion in 1973, 1990 and 2007, respectively, using GIS and the RUSLE model. Current status of soil erosion and its dynamic change were characterized. The results could provide scientific guidance for soil erosion control in the study area. The results show that serious soil erosion occurred mainly in the lower and western upper reaches of Maotiao River watershed. The major sediment sources included the areas classified as strong, extremely strong and severe erosion zones. In terms of land use, dry farmland and grassland were the dominant land use types resulting in serious soil erosion. The total area of minimal and weak soil erosion zones reduced during the period of 1973—1990, while highly eroded areas increased significantly. During the period of 1990—2007, the total area of strong, extremely strong and severe erosion zones decreased significantly, with an increase of the total area of minimal soil erosion. Soil erosion occurred mainly on lands with a slope grade of $6^{\circ}\sim 25^{\circ}$, where more attention should be paid to and some practical measures should be taken to reduce soil loss.

Keywords: soil erosion; dynamic change; Maotiao River watershed of Guizhou Province

土壤侵蚀不仅破坏土地资源, 引起土地生产力下降, 而且造成沟渠塘库的淤积, 进而降低了排灌能力, 引起农业生产力的下降, 同时加剧洪涝、干旱等灾害的发生, 严重威胁着人类的生存和发展, 成为各国普遍关注的热点问题之一。因此, 定量分析土壤侵蚀的动态变化规律, 对确定重点水土保持区域, 制定相应的水土保持措施具有重要意义。

我国在土壤侵蚀量定量预报方面已开展了大量研究, 但对西南喀斯特地区土壤侵蚀尚未进行系统性

地报道^[1-3]。长期以来, 由于西南喀斯特区域环境条件复杂, 土壤侵蚀研究基础薄弱, 土壤侵蚀模数监测工作在很多地区都是空白, 严重影响了西南喀斯特地区土地资源的持续利用和社会经济的持续发展。随着遥感和 GIS 技术的发展, 运用模型进行土壤侵蚀定量模拟成为土壤流失监测的重要途径, 其中美国修正的通用土壤流失方程 (RUSLE) 是目前应用最方便, 使用最广泛的土壤侵蚀模型。国内不少学者在不同区域均采用 RUSLE 模型对土壤侵蚀量进行了计

收稿日期: 2010-04-01

修回日期: 2010-11-11

资助项目: 国家自然科学基金项目“西南喀斯特山区不同土地利用空间格局下的土壤侵蚀经济损失评估”(40701091)

作者简介: 许月卿(1972—), 女(汉族), 河北省定州市人, 博士, 副教授, 主要从事土地利用变化及环境效应、土地利用转型与农村发展等方面研究。E-mail: xmoonq@sina.com。

算^[4-6]。有鉴于此,本文以贵州省猫跳河流域为案例区,在 GIS 技术支持下,利用修正的土壤流失方程(RUSLE)定量模拟了近 30 a 来流域土壤侵蚀空间格局,分析了流域土壤侵蚀的动态变化规律,以期为区域生态重建和土地持续利用提供科学依据。

1 流域概况

猫跳河流域位于贵州省中部,介于 106°00′—106°53′E,26°00′—26°52′N 之间,属长江水系,是乌江的一条主要支流,全长约 180 km。流域面积 3 116 km²,在行政辖区上涉及息烽、修文、清镇、贵阳市、平坝、西秀区和长顺 7 个县(市、区)。流域内地势南高北低,地形起伏较大,平均海拔 1 310 m,相对高差达 987 m。流域属于亚热带季风湿润气候,年平均气温 13.8 ℃,年均降雨量 1 300 mm。流域内地貌类型繁多,山地、丘陵、谷地、坝子、湖泊均有分布,是一个典型的喀斯特流域。流域主要土壤类型有黄壤、水稻土、石灰土、紫色土、山地黄棕壤、沼泽土等土类,其中以黄壤分布面积最大,其次是水稻土和石灰土。流域内原生植被已被破坏殆尽,裸岩分布较广泛,较大的地势高差和较强的降水导致严重的水土流失。

2 数据来源与方法

2.1 数据来源与处理

本文采用的数据主要包括流域 1:5 万地形图,1973 年 MSS 影像,1990 年和 2007 年 TM 影像。3 期遥感影像数据的处理包括几何纠正、配准和标准化。在 ArcGIS 9.0 软件支持下,对流域 3 期遥感影像进行人工目视解译,得到流域 3 个时期土地利用/覆被图。结合流域土地利用类型特点,分其为耕地、

林地、灌草地、水域、建设用地和未利用土地 6 个一级地类,11 个二级地类。流域坡度、坡长等图件来自流域 1:5 万数字高程模型(DEM);降雨数据来自流域 1980—2007 年各气象站点逐日降雨数据;土壤数据来自流域 20 世纪 80 年代中期第二次土壤普查资料。

2.2 研究方法

选用 RUSLE 模型定量模拟流域不同时段土壤侵蚀空间格局。RUSLE 模型的基本形式为:

$$A=R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P$$

式中:A——土壤侵蚀量[t/(hm²·a)];R——降雨侵蚀力因子[(MJ·mm)/(hm²·h·a)];K——土壤可侵蚀性因子[(t·hm²·h)/(MJ·mm·hm²)];LS——坡长坡度因子(无量纲);C——覆盖与管理因子(无量纲);P——水土保持措施因子(无量纲)。

RUSLE 模型中具体参数计算方法和过程^[7-8]详见文献[7—8]。在 Arc/Info 软件支持下,生成 5 个参数因子图层,并转化为统一坐标系下像元大小为 25 m×25 m 的栅格图,将各因子图层相乘,得到流域不同时期土壤侵蚀空间分布图。根据水利部颁布的《水土保持技术规范》SD238-87 侵蚀强度标准确定土壤侵蚀分级^[9],并生成流域土壤侵蚀强度等级图。

3 流域土壤侵蚀现状分析

2007 年猫跳河流域平均土壤侵蚀模数为 26.37 t/(hm²·a),土壤侵蚀总量为 8.09×10⁶ t/a。土壤侵蚀较严重的地区主要分布在流域下游地表切割破碎、山高谷深的峡谷地段。如沿猫跳河两岸的修文县和清镇市的交界处,局部地区平均土壤侵蚀模数达 200 t/(hm²·a)以上。流域上游平坝县西部地区由于多溶蚀丘陵谷地,地面起伏较大,土壤侵蚀也较严重(图 1)。

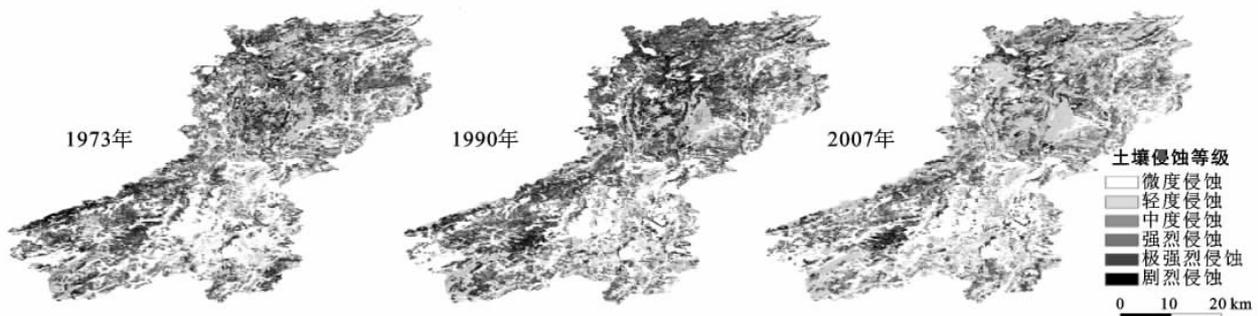


图 1 流域 1973,1990,2007 年土壤侵蚀空间分布

从土壤侵蚀等级看,2007 年流域微度侵蚀面积最大,占流域面积的 44.91%,其次是轻度侵蚀面积,占 25.36%,二者占侵蚀总面积的 70.27%,主要分布在猫跳河上游和中游的高原面上。强烈及其以上侵蚀面积占侵蚀总面积的 16.67%,主要分布在山高谷

深,地形破碎的下游地区。从各侵蚀强度等级侵蚀量看,极强烈和剧烈等级的侵蚀量最大,分别占总侵蚀量的 26.57%和 21.91%,其单位面积平均土壤侵蚀模数也最大,分别为 107.39 t/(hm²·a)和 220.47 t/(hm²·a);而微度和轻度侵蚀等级的侵蚀量分别占

侵蚀总量的 1.04% 和 13.43%，其单位面积平均土壤侵蚀模数最小，分别为 0.6 t/(hm²·a) 和 13.78 t/(hm²·a)。可见，流域 67.2% 的土壤侵蚀量来源于占侵蚀总面积约 16.67% 的强烈、极强烈及剧烈侵蚀区域，而流域 70.27% 的区域属于微度和轻度侵蚀，其侵蚀量占流域侵蚀量的 14.48%。强烈以上侵蚀等级区域是流域进行水土保持的主要区域。

在各地类中，旱地土壤侵蚀量最大，占流域年土壤侵蚀量的 45.47%，其次是灌草地，占年流域土壤侵蚀量的 45.24%，二者合计占流域年土壤侵蚀量的 90.71%。侵蚀量较小的土地利用类型为有林地、灌木林地等有植被覆盖的类型，水田土壤侵蚀量最小，侵蚀量仅占总侵蚀量的 0.1%。旱地单位面积土壤侵蚀模数最大，为 55.42 t/(hm²·a)，其次是灌草地，其土壤侵蚀模数为 40.04 t/(hm²·a)。旱地不同坡度等级和土壤侵蚀的关系见表 1。6°~15° 坡度等级的旱地侵蚀面积最大，占旱地侵蚀面积的 38.81%，其土壤侵蚀量占侵蚀总量的比例也最大，达 40.24%。15°~25° 坡度等级的侵蚀量占旱地土壤侵蚀量的 28.2%。可见，旱地 68.52% 的土壤侵蚀量来源于 6°~25° 的坡耕地，6°~25° 的坡耕地是旱地发生侵蚀的主要区域，也是土壤侵蚀防治和治理的重点区域。

4 流域土壤侵蚀动态变化分析

近 30 a 来，流域土壤侵蚀发生了显著变化。1973, 1990, 2007 年流域土壤侵蚀模数分别为 30.88, 35.08, 26.37 t/(hm²·a)，流域土壤侵蚀总量分别为 9.60 × 10⁶, 1.09 × 10⁷, 8.09 × 10⁶ t/a。可见，流域土壤侵蚀经历了趋向严重—减轻的变化过程。

表 1 2007 年旱地不同坡度等级的土壤侵蚀面积和侵蚀量

坡度	侵蚀面积		侵蚀量	
	数值/hm ²	比例/%	数值/(10 ⁴ t·a ⁻¹)	比例/%
≤6°	25 679.63	38.69	61.87	16.82
6°~15°	25 756.75	38.81	147.99	40.24
15°~25°	10 800.44	16.27	104.04	28.29
25°~35°	3 203.81	4.83	40.52	11.02
>35°	926.19	1.40	13.38	3.64
合计	66 366.81	100.00	367.81	100.00

(1) 从土壤侵蚀等级强度变化看(表 2), 1973—1990 年低强度土壤侵蚀面积如微度和轻度侵蚀面积在减少，而高强度侵蚀面积如强烈以上侵蚀面积在增加。期间，流域微度和轻度侵蚀面积分别下降 5.1% 和 8.46%，而强烈、极强烈、剧烈侵蚀面积分别增加 16.36%，19.51% 和 22.66%。1990—2007 年，除了微度侵蚀面积大幅度增加外，其余侵蚀等级面积均在减少。期间，微度侵蚀面积增加 24.48%，强烈、极强烈、剧烈侵蚀等级面积分别减小 22.31%，29.39%，39.93%。

(2) 从土壤侵蚀等级空间转换看(表 3—4), 1973—1990 年，随着高强度侵蚀等级面积的增加，微度、轻度和中度侵蚀大幅度地转换成强烈、极强烈和剧烈侵蚀。1990 年强烈侵蚀、极强烈、剧烈侵蚀面积中分别有 67.3%，58.69%，47.9% 来自 1973 年的微度、轻度和中度侵蚀。1990—2007 年，随着高强度侵蚀等级面积的减少，微度、轻度和中度侵蚀转换成强烈、极强烈和剧烈侵蚀的幅度大大减小。2007 年强烈侵蚀、极强烈侵蚀、剧烈侵蚀面积中分别有 48.95%，38.21%，27.75% 来自 1990 年的微度、轻度和中度侵蚀。

表 2 1973, 1990, 2007 年流域不同等级土壤侵蚀面积变化

侵蚀等级	侵蚀模数/ (t·hm ⁻² ·a ⁻¹)	土壤侵蚀面积/hm ²			1973—1990 年变化		1990—2007 年变化	
		1973 年	1990 年	2007 年	面积/hm ²	比例/%	面积/hm ²	比例/%
微度	< 5	118 233.81	112 200.88	139 672.75	-6 032.93	-5.10	27 471.87	24.48
轻度	5~25	88 161.75	80 705.00	78 870.94	-7 456.75	-8.46	-1 834.06	-2.27
中度	25~50	43 626.75	45 336.69	40 607.38	1 709.94	3.92	-4 729.31	-10.43
强烈	50~80	26 311.69	30 617.13	23 787.56	4 305.44	16.36	-6 829.57	-22.31
极强烈	80~150	23 718.88	28 345.88	20 015.19	4 627.00	19.51	-8 330.69	-29.39
剧烈	> 150	10 911.13	13 383.50	8 039.75	2 472.37	22.66	-5 343.75	-39.93

(3) 土壤侵蚀强度与坡度等级密切相关。6°~15° 坡度带土壤侵蚀面积最大，约占流域侵蚀总面积的 32%，小于 6° 和 15°~25° 坡度带侵蚀面积约分别占 30% 和 23%。25° 以上侵蚀面积仅约占总侵蚀面积的 14% (表 5)。从侵蚀量比例看，6°~15° 和 15°~25° 坡度带土壤侵蚀量最大，二者合计 3 个时期内均约占土

壤侵蚀总量的 65%~68%，其次是 25°~35° 坡度带，3 个时期均约占侵蚀总量的 13.27%~15.59%。可见，流域土壤侵蚀主要发生在 6°~25° 坡度带，其次是 25°~35° 坡度带，是水土流失防治及治理的重点区域。

(4) 土壤侵蚀强度及其分布格局与人口、经济发展及土地利用具有密切关系。流域统计数据表明，

1973 年流域总人口不足 50 万,1990 年增长到 90 万。许多农户在 20 世纪 70 和 80 年代粮食缺乏,绝大多数农民以种地为生,为了满足生活需要,毁林、毁草、开荒增加耕地成为人们解决温饱的主要途径,导致旱地大幅度增加,灌木林和灌草地大幅度减少,进而导致严重

的水土流失,局部石质喀斯特山地出现石漠化。通过分析流域不同时期土地利用结构可以发现,1973—1990 年旱地和裸岩地分别增加了 8.63%(26 880.92 hm^2)和 2.12%(6 598.05 hm^2),灌木林减少 7.06%(21 975.74 hm^2)。

表 3 1973—1990 年不同侵蚀等级面积转移矩阵

1973—1990 年	微度侵蚀 面积/ hm^2	轻度侵蚀 面积/ hm^2	中度侵蚀 面积/ hm^2	强烈侵蚀 面积/ hm^2	极强烈侵蚀 面积/ hm^2	剧烈侵蚀 面积/ hm^2	1973 年总侵蚀 面积/ hm^2
微度侵蚀面积/ hm^2	73 957.19	23 417.44	9 462.50	5 396.81	4 157.31	1 717.56	118 108.81
转出率/%	62.62	19.83	8.01	4.57	3.52	1.45	
转入率/%	65.95	29.04	20.89	17.64	14.68	12.84	
轻度侵蚀面积/ hm^2	19 983.63	34 562.81	15 197.56	8 737.13	6 958.13	2 512.00	87 951.25
转出率/%	22.72	39.30	17.28	9.93	7.91	2.86	
转入率/%	17.82	42.86	33.55	28.56	24.57	18.78	
中度侵蚀面积/ hm^2	8 241.50	11 261.50	9 877.75	6 455.00	5 507.25	2 191.13	43 534.13
转出率/%	18.93	25.87	22.69	14.83	12.65	5.03	
转入率/%	7.35	13.97	21.81	21.10	19.44	16.38	
强烈侵蚀面积/ hm^2	4 620.44	5 417.81	5 298.38	4 619.69	4 377.81	1 902.69	26 236.81
转出率/%	17.61	20.65	20.19	17.61	16.69	7.25	
转入率/%	4.12	6.72	11.70	15.10	15.46	14.22	
极强烈侵蚀面积/ hm^2	3 832.19	4 320.06	3 989.88	3 902.81	4 926.44	2 676.25	23 647.63
转出率/%	16.21	18.27	16.87	16.50	20.83	11.32	
转入率/%	3.42	5.36	8.81	12.76	17.39	20.00	
剧烈侵蚀面积/ hm^2	1 501.00	1 653.88	1 474.19	1 481.25	2 398.25	2 378.38	10 886.94
转出率/%	13.79	15.19	13.54	13.61	22.03	21.85	
转入率/%	1.34	2.05	3.25	4.84	8.47	17.78	
1990 年总侵蚀面积/ hm^2	112 135.94	80 633.50	45 300.25	30 592.69	28 325.19	13 378.00	310 365.56

表 4 1990—2007 年不同侵蚀等级面积转移矩阵

1990—2007 年	微度侵蚀 面积/ hm^2	轻度侵蚀 面积/ hm^2	中度侵蚀 面积/ hm^2	强烈侵蚀 面积/ hm^2	极强烈侵蚀 面积/ hm^2	剧烈侵蚀 面积/ hm^2	1990 年总侵蚀 面积/ hm^2
微度侵蚀面积/ hm^2	88 357.25	13 712.88	4 810.38	2 561.44	1 972.00	706.69	112 120.63
转出率/%	78.81	12.23	4.29	2.28	1.76	0.63	
转入率/%	63.34	17.44	11.88	10.80	9.88	8.81	
轻度侵蚀面积/ hm^2	29 729.00	34 989.63	9 067.38	3 692.25	2 429.38	708.06	80 615.69
转出率/%	36.88	43.40	11.25	4.58	3.01	0.88	
转入率/%	21.31	44.50	22.39	15.56	12.17	8.83	
中度侵蚀面积/ hm^2	9 843.25	15 022.38	11 032.63	5 357.56	3 226.31	810.00	45 292.13
转出率/%	21.73	33.17	24.36	11.83	7.12	1.79	
转入率/%	7.06	19.11	27.24	22.58	16.16	10.10	
强烈侵蚀面积/ hm^2	5 433.38	7 444.38	7 558.50	5 269.13	3 855.25	1 028.06	30 588.69
转出率/%	17.76	24.34	24.71	17.23	12.60	3.36	
转入率/%	3.90	9.47	18.66	22.21	19.31	12.82	
极强烈侵蚀面积/ hm^2	4 267.06	5 511.81	5 993.00	4 931.38	5 519.00	2 099.13	28 321.38
转出率/%	15.07	19.46	21.16	17.41	19.49	7.41	
转入率/%	3.06	7.01	14.80	20.79	27.65	26.18	
剧烈侵蚀面积/ hm^2	1 857.19	1 940.25	2 041.63	1 911.13	2 959.44	2 665.69	13 375.31
转出率/%	13.89	14.51	15.26	14.29	22.13	19.93	
转入率/%	1.33	2.47	5.04	8.06	14.83	33.25	
2007 年总侵蚀面积/ hm^2	139 487.13	78 621.31	40 503.50	23 722.88	19 961.38	8 017.63	310 313.81

20 世纪 90 年代以后,由于劳动力外出打工,人口对耕地的压力有所减轻。据流域农户问卷调查,20 世纪 90 年代末平均每个农户有 1~2 人外出到沿海发达地区务工,农户收入途径也趋向多样化,除了传统的务农外,就地务工,外出务工成为当地农户增加经济收入的重要方式。同时,耕地开垦和耕作注重了水土保持

措施的加强,“长江上游水土保持重点治理工程”、“天然林保护工程”以及“退耕还林工程”等系列生态环境保护工程和水土流失治理措施的实施,使流域内旱地和裸岩地大幅度减少,林地大幅度增加,水土流失趋向减轻。期间,旱地减少了 31.15%,裸岩地减少了 31.37%,有林地增加 43.4%。

表 5 流域 1973,1990,2007 年不同坡度等级土壤侵蚀特征

坡度	1973 年侵蚀面积		1973 年侵蚀量		1990 年侵蚀面积		1990 年侵蚀量		2007 年侵蚀面积		2007 年侵蚀量	
	面积/ hm ²	比例/ %	侵蚀量/ (10 ⁴ t·a ⁻¹)	比例/ %	面积/ hm ²	比例/ %	侵蚀量/ (10 ⁴ t·a ⁻¹)	比例/ %	面积/ hm ²	比例/ %	侵蚀量/ (10 ⁴ t·a ⁻¹)	比例/ %
≤6°	95 184	30.61	119.21	12.41	95 128.56	30.64	178.60	16.40	95 177.69	30.62	93.57	10.74
6°~15°	100 232	32.23	322.05	33.53	100 056.81	32.22	383.50	35.21	100 249.94	32.25	274.42	31.49
15°~25°	71 998	23.15	315.29	32.83	71 850.81	23.14	325.53	29.88	71 850.81	23.12	325.53	37.35
25°~35°	30 819	9.91	149.71	15.59	30 765.63	9.91	144.59	13.27	30 823.94	9.92	126.84	14.55
>35°	12 730	4.09	54.12	5.64	12 716.63	4.10	57.07	5.24	12 731.63	4.10	51.19	5.87

5 结论

(1) 流域土壤侵蚀较严重的地区主要分布在流域下游地表切割破碎的峡谷地段以及上游西部溶蚀丘陵谷地。流域土壤侵蚀量约 67.2% 来源于强烈、极强烈及剧烈侵蚀区域,是进行水土保持的主要区域。旱地和灌草地是流域发生土壤侵蚀的主要用地类型,而有植被覆盖的林地土壤侵蚀量较小,6°~25° 的坡耕地是旱地发生侵蚀的主要区域,应积极推行退耕还林,宜林荒山植树造林,进行流域水土流失治理。

(2) 近 30 a 来流域土壤侵蚀经历了趋向严重到减轻的过程,1973—1990 年低强度土壤侵蚀面积(如微度和轻度侵蚀面积)在减少,而高强度侵蚀面积(如中度以上侵蚀面积)在增加。1990—2007 年,除了微度侵蚀面积大幅度增加外,其余侵蚀等级面积均在大幅度减少。这主要与流域内人口、经济发展及土地利用具有密切关系。1990 年以前,由于经济发展和人口增长对土地需求日益增加,陡坡开荒,毁林毁草现象严重,旱地增加,生态用地减少,流域年土壤侵蚀趋向严重。1990 年以后,由于人口压力的减轻,流域生态环境保护工程的实施和水土保持措施的加强,有林地等生态用地大幅度增加,旱地减少,流域土壤侵蚀减轻。

(3) 流域土壤侵蚀与坡度关系密切。6°~25° 坡度带土壤侵蚀量约占流域总侵蚀量的 65%~68%,其次是 25°~35° 坡度带。可见,6°~35° 坡度带是流域土壤侵蚀防治和治理的重点区域。对于大于 25° 的坡耕地应进行退耕还林,对 25° 以下的旱地应进行坡改梯和保土耕作,以减小土壤流失量。

(4) 修正的通用土壤流失方程(RUSLE)虽然在

预报土壤侵蚀绝对数量上有些误差,但可以模拟区域不同时期土壤侵蚀空间分布格局,分析土壤侵蚀动态变化特征以及不同土地利用类型对土壤侵蚀的影响,以便对区域土壤侵蚀进行有效防治和治理。因此,应用 RUSLE 进行区域土壤侵蚀预报及空间格局模拟是一种有效途径。

[参 考 文 献]

- [1] 张树文,王文娟,李颖,等. 近 50 年来三江平原土壤侵蚀动态分析[J]. 资源科学,2008,30(6):843-849.
- [2] 董婷婷,张增祥,左利君. 基于 GIS 和 RS 的辽西地区土壤侵蚀的定量研究[J]. 水土保持研究,2008,15(4):48-52.
- [3] 周为峰,吴炳方. 基于遥感和 GIS 的密云水库上游土壤侵蚀定量估算[J]. 农业工程学报,2005,21(10):46-50.
- [4] 金良,洪华生,杜鹏飞,等. 基于 GIS 和 USLE 的九龙江流域土壤侵蚀量预测研究[J]. 水土保持学报,2004,18(5):75-79.
- [5] 杨娟,葛剑平,李庆斌. 基于 GIS 和 USLE 的卧龙地区小流域土壤侵蚀预报[J]. 清华大学学报:自然科学版,2006,46(9):1526-1539.
- [6] 张有全,宫辉力,赵文吉,等. 基于 GIS 和 RUSLE 的密云县土壤侵蚀评价及空间特征研究[J]. 水土保持研究,2007,14(3):358-362.
- [7] 许月卿,彭建. 贵州猫跳河流域土地利用变化及其对土壤侵蚀的影响[J]. 资源科学,2008,30(8):1218-1225.
- [8] 许月卿,邵晓梅. 基于 GIS 和 RUSLE 的土壤侵蚀量计算:以贵州省猫跳河流域为例[J]. 北京林业大学学报,2006,28(4):67-71.
- [9] 中华人民共和国水利部水土保持司. 土壤侵蚀分类分级标准(SL190-2007)[S]. 北京:中国水利水电出版社,2008:3-12.