

# 三峡库区重庆段水土流失的时空格局特征

李月臣<sup>1,2</sup>, 刘春霞<sup>1</sup>, 赵纯勇<sup>1</sup>, 黄建辉<sup>3</sup>

(1. 重庆师范大学地理科学学院, GIS 应用研究重庆市重点实验室, 重庆 400047;

2. 重庆大学资源及环境学院, 重庆 400044;

3. 重庆市水土保持生态环境监测总站, 重庆 400015)

**摘要:** 在 TM 解译的三峡库区重庆段 1999 年和 2004 年水土流失数据及相关辅助数据的支持下, 借助 GIS 技术, 分析了研究区 5 年来水土流失的时空演变及地理空间分异特征与规律。研究结果表明: (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。(2) 水土流失主要分布在紫色土、黄壤、石灰(岩)土、水稻土和黄棕壤分布区。(3) 水土流失主要发生在受人类活动影响最为剧烈的旱坡地和疏林地。(4) 水土流失表现出明显的垂直分异特征, 主要集中于高程 200~1500 m 的低山、丘陵地区。(5) 水土流失与坡度具有很好的相关性, 主要分布在 15° 以上的陡坡地。(6) 水土流失与坡向分异无明显的相关关系。各坡向水土流失面积和强度分布基本相当。(7) 水土流失主要集中在 300~320 和 320~340 j.cm/hm<sup>2</sup>. h 的降雨侵蚀力(R)值分布区。剧烈水土流失与高降雨侵蚀力具有较好的对应关系。

**关键词:** 水土流失; 重庆市; 三峡库区

水土流失问题已经成为我国头号生态环境问题<sup>[1]</sup>。我国水土流失面积占国土面积的比例约为 38%, 三峡库区重庆段则更为严重, 其水土流失面积比高达 51.7%, 流失强度远高于邻近的四川、贵州、湖北等地区<sup>①</sup>。三峡库区是中国 17 个具有全球保护意义的生物多样性关键地区之一。水土流失问题已经成为影响这一地区生态安全的关键因子和亟待解决的生态环境问题。因此, 三峡库区水土流失问题的研究和理解一直受到众多学者的高度重视。Wu 等研究了三峡大坝修建对三峡库区生境破坏及其对水土流失等生态环境问题的影响<sup>[3]</sup>。张生等分析了长江流域水土流失对洪灾的影响, 认为水土流失对洪灾的影响主要表现为水源涵养能力下降; 土壤薄层化, “土壤水库容”严重损失; 泥沙淤积湖库, 调蓄能力降低; 河道过水断面萎缩, 洪水排泄不畅<sup>[4]</sup>。詹小国等利用 RS 和 GIS 技术对三峡库区湖北片 1986 和 1999 年的水土流失情况进行了监测, 结果表明这一地区水土流失程度有所减轻<sup>[5]</sup>。廖晓勇等通过定位试验, 探讨了三峡库区紫色土坡耕地的水土流失问题, 结果表明紫色土坡耕地流失的泥沙中 < 0.02 mm 的颗粒是养分流失的主要载体<sup>[6]</sup>。傅涛等采用室内模拟装置研究了三峡库区雨强与石灰土的养分流失规律, 研究表明雨强与径流泥沙的养分浓度无关, 但可影响其浓度峰值出现时间, 并与养分流失量呈正相关; 坡面养分流失以泥沙携带为主, 但径流中养分以可溶态速效养分为主, 径流携带的养分流失不容忽视<sup>[7]</sup>。此外, 李红卫等<sup>[8]</sup>以及杜佐华等<sup>[9]</sup>也分别研究了三峡库区的水土流失及其引发的生态环境问题, 并提出了一些治理措施。这些研究提高了我们对三峡库区乃至长

① 重庆市水利局, 重庆师范大学. 重庆市三峡库区水土保持生态建设规划 (2007-2030), 2006, 10.

收稿日期: 2007-08-25; 修订日期: 2008-01-25

基金项目: 重庆市教育委员会科学技术研究项目 (KJ070811); 重庆师范大学博士科研启动基金项目 (06XLB004); 重庆市水利局资助项目 [Foundation: Science & Technology Research Project Supported by Chongqing Municipal Education Commission, No.KJ070811; Doctoral Fund of Chongqing Normal University, No.06XLB004; Project by Chongqing Water Conservancy Bureau]

作者简介: 李月臣 (1974-), 男, 博士后, 副教授, 中国地理学会会员。从事资源环境遥感与地理信息系统研究。

E-mail: liyuechen@cqnu.edu.cn

江流域水土流失问题的认识和理解，但同时也都不同程度的存在一些局限：(1) 大多以定性描述和局部理论试验为主；(2) 缺乏三峡库区水土流失的时空演变特征的定量研究；(3) 三峡库区水土流失的地理空间分异研究欠缺等。

鉴于此，作者在 TM 解译的三峡库区重庆段 1999 年和 2004 年水土流失数据及相关辅助数据的支持下，借助 GIS 技术，分析了研究区 5 年来水土流失的时空演变及地理空间分异特征与规律。目的在于进一步深入探讨水土流失变化的基本驱动机制，模拟与预测三峡库区水土流失及其生态环境响应，为建立有效的水土保持机制，提高三峡库区生态环境质量奠定基础。

1 研究区概况

三峡库区重庆段东起巫山县、西至江津市、南起武隆县、北至开县，地理范围在北纬 28°31'~31°44'、东经 105°49'~110°12' 之间。包括重庆市 22 个区、县(自治县、市)，面积 46158.53 km<sup>2</sup>。2005 年末总人口为 1858.98 万人，其中农业人口 1284.63 万。2005 年重庆三峡库区农村各业生产总值 3588137 万元，农民人均纯收入 2964 元(含重庆主城区)。

三峡库区重庆段属亚热带季风性湿润气候区，多年平均气温 15~18℃，气温年较差和日较差大。多年平均降雨量为 1150.26 mm，雨量充沛但空间分布不均匀。区内日照少，雾日多。三峡库区重庆段地跨大巴山断褶带、川东褶皱带和川鄂湘黔隆起褶皱带三大构造单元，地貌以山地、丘陵为主。全区土壤类型主要有紫色土、黄壤、黄棕壤、棕壤、石灰土、潮土和水稻土等。区域森林覆盖率为 22.3%，地带性植被以亚热带常绿阔叶林、暖性针叶林为主。

三峡库区水土流失问题对于投资庞大的三峡工程的长期安全运行、长江中下游的防洪与生态安全具有特殊的、重要的战略意义。而重庆市域内三峡库区面积约占整个三峡库区面积的 80%，覆盖了大部分三峡库区范围，由此则凸现出其重要的生态地理位置。

2 研究数据及方法

2.1 数据及来源

研究所用的数据主要由三部分组成，一是来源于重庆市水利局的研究区水土流失强度类型图(1999 年、2004 年、分级标准采用水利部发布的水土流失(土壤侵蚀)分类分级标准(SL190-96))、土地利用类型图(1999 年、2004 年)、DEM 数据(1:5 万)、土壤类型数据。其中水土流失强度数据和土地利用数据均为重庆市水利局在 1999 年和 2004 年开展水土流失普查时与相关研究单位合作，通过 TM 遥感影像解译获得，二者解译标准统一。这些数据均经过野外校验，并通过相关部门和专家的验收，数据精度符合要求，两期数据具有可比性。二是由

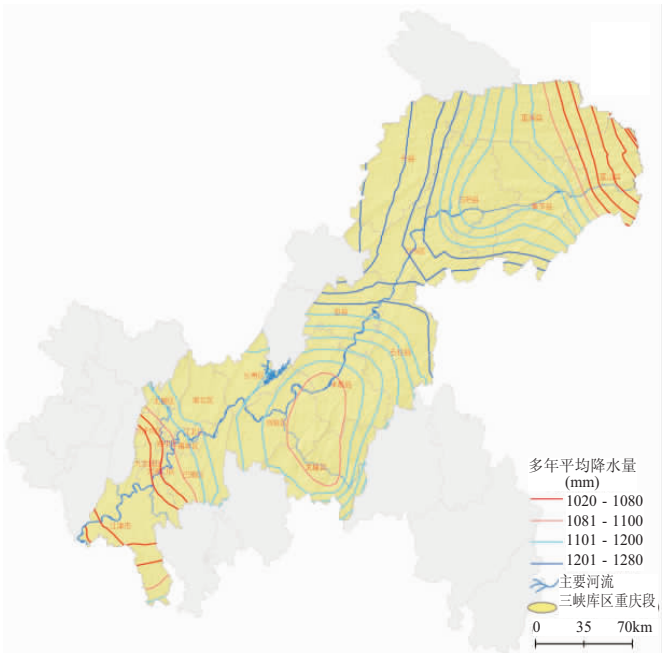


图 1 重庆市三峡库区图  
Fig. 1 Location of the Three Gorges Reservoir area of Chongqing

表 1 重庆市三峡库区水土流失变化统计表

Tab. 1 The statistics of soil and water loss (SWL) in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing														
年份	微度 (无明显流失)		水土流失面积											
	小计 km <sup>2</sup>	占总 面积%	水土流失 面积小计	占总 面积%	轻度 km <sup>2</sup>	占流失 面积%	中度 km <sup>2</sup>	占流失 面积%	强度 km <sup>2</sup>	占流失 面积%	极强度 km <sup>2</sup>	占流失 面积 %	剧烈 km <sup>2</sup>	占流失 面积%
1999	15620.57	33.84	30537.96	66.16	5967.94	19.54	15739.21	51.54	6401.32	20.96	2226.64	7.29	202.85	0.66
2004	22288.37	48.29	23870.16	51.71	5819.53	24.38	11030.98	46.21	5880.17	24.63	1009.10	4.23	130.38	0.55

重庆市气象局提供的研究区各气象站点多年月平均降雨统计数据 (1971-2000 年), 根据气象站点数据, 参考相关资料计算出各站点降雨侵蚀力 (R), 利用 GIS 进行空间内插, 生成研究区降雨侵蚀力空间分布图。三是由以上数据派生的数据, 如坡度、坡向等; 以及一些相关的辅助数据, 如行政区划图等。为了便于空间运算, 矢量数据均转化为栅格 (grid) 数据, 且与 DEM 的栅格单元大小一致 (25 m×25 m)。此外, 所有数据均统一转换成 Albers 等积投影参与空间运算。

2.2 研究方法

2.2.1 时间变化特征分析 首先对研究区两期水土流失强度图进行统计, 分析随时间变化三峡库区重庆段水土流失的总体变化特征 (表 1)。然后, 利用转移矩阵对研究区 1999-2004 年时段水土流失类型的变化转移情况进行了度量, 分析研究区水土流失时间变化方向。水土流失类型转移特征的提取可以根据地图代数原理, 对 1999 和 2004 年的水土流失强度图, 利用公式 (1) 的地图代数方法进行转移信息提取 (表 2, 表 3)<sup>[10]</sup>。

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

式中,  $C_{ij}$  表示 1999-2004 年的水土流失强度类型变化图;  $A_{ij}^k$  和  $A_{ij}^{k+1}$  分别表示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 1999 年和 2004 年间研究区各类型水土流失强度间的相互转化信息 (表 2, 表 3)。若  $A_{ij}^k$  代表 1999 年的水土流失强度类型图,  $A_{ij}^{k+1}$  代表 2004 年的水土流失强度类型图, 则叠加结果表达的意义为 1999 年水土流失强度类型  $i$  转化为 2004 年类型  $j$  的转移概率, 其每行元素之和为 1 (表 2)。若  $A_{ij}^k$  代表 2004 年的水土流失强度类型图,  $A_{ij}^{k+1}$  代表 1999 年的水土流失强度类型图, 则叠加结果表达的意义为 2004 年的水土流失强度类型  $j$  由 1999 年的类型  $i$  转化而来的概率, 其每行元素之和为 1 (表 3)<sup>[11]</sup>。

2.2.2 水土流失与地理环境因子的相关分析 土壤质地、降水侵蚀力、地表覆盖、坡度坡向以及人类

表 2 1999-2004 年重庆市三峡库区水土流失强度类型转移矩阵 (%)  
Tab. 2 The transition matrix of the SWL types in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing from 1999 to 2004 (%)

水土流失类型		2004					
		微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
1999	微度	62.92	11.54	16.36	7.51	1.40	0.27
	轻度	52.49	13.82	20.78	11.55	1.09	0.26
	中度	40.31	14.22	29.01	14.02	2.25	0.19
	强度	36.08	9.94	30.48	19.74	3.46	0.31
	极强度	34.15	13.05	26.68	20.14	5.21	0.78
	剧烈	38.33	10.05	17.86	19.67	11.06	3.03
	增长比例	42.69	-2.49	-29.91	-8.14	-54.68	-35.73

注: 增长比例是指 2004 年各水土流失类型相对 1999 年的增长幅度

表 3 2004 年重庆市三峡库区各水土流失强度类型由 1999 年各水土流失强度类型转移而来的面积比 (%)  
Tab. 3 The transition matrix of the SWL types in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing of 2004 from 1999 (%)

水土流失类型		1999					
		微度	轻度	中度	强度	极强度	剧烈
2004	微度	42.34	13.85	29.23	10.73	3.50	0.35
	轻度	29.74	13.97	39.50	11.32	5.13	0.35
	中度	22.25	11.08	42.50	18.32	5.53	0.33
	强度	19.15	11.55	38.54	22.26	7.83	0.67
	极强度	20.88	6.36	36.05	22.70	11.80	2.21
	剧烈	31.19	11.67	23.18	15.66	13.61	4.69

表 4 重庆市三峡库区水土流失与土壤类型的相关特征分析表

Tab. 4 The correlation between SWL and soil types in Three Gorges Reservoir area of Chongqing

年份	类型	水稻土			黄棕壤			黄壤			新积土			石灰(岩)土		
		面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )
1999	微度	2035.07	13.03	1739.12	11.13	3918.46	25.09	2.18	0.01	1505.62	9.64					
	轻度	753.04	12.62	484.42	8.12	1058.77	17.74	0.42	0.01	1140.03	19.10					
	中度	2102.49	13.36	1096.11	6.96	3225.99	20.50	2.10	0.01	1669.10	10.60					
	强度	526.85	8.23	299.33	4.68	1723.72	26.93	7.34	0.11	975.82	15.24					
	极强度	67.01	3.01	305.11	13.70	652.58	29.31	0.75	0.03	436.31	19.59					
	剧烈	2.08	1.02	41.22	20.32	72.03	35.51	0.00	0.00	28.00	13.81					
	%	11.30		7.29		22.05		0.03		13.91						
	类型	紫色土			棕壤			山地草甸土			黄褐土			粗骨土		
		面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )
	微度	5878.68	37.63	248.89	1.59	25.34	0.16	255.44	1.64	11.78	0.08					
	轻度	2465.97	41.32	57.21	0.96	3.15	0.05	3.45	0.06	1.48	0.02					
	中度	7492.52	47.60	103.56	0.66	13.64	0.09	28.71	0.18	4.98	0.03					
	强度	2780.81	43.44	28.20	0.44	7.25	0.11	51.37	0.80	0.63	0.01					
	极强度	660.74	29.67	11.71	0.53	0.83	0.04	84.50	3.80	7.10	0.32					
	剧烈	53.43	26.34	5.10	2.52	0.00	0.00	0.98	0.49	0.00	0.00					
	%	44.05		0.67		0.08		0.55		0.05						
年份	类型	水稻土			黄棕壤			黄壤			新积土			石灰(岩)土		
		面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )
2004	微度	2692.15	12.08	2469.75	11.08	5596.80	25.11	4.68	0.02	2672.84	11.99					
	轻度	991.13	17.03	558.01	9.59	1098.33	18.87	0.00	0.00	549.49	9.44					
	中度	1325.81	12.02	371.10	3.36	1997.10	18.10	3.25	0.03	1527.46	13.85					
	强度	435.34	7.40	228.73	3.89	1397.71	23.77	4.19	0.07	979.40	16.66					
	极强度	48.20	4.78	79.65	7.89	295.67	29.30	0.73	0.07	65.22	6.46					
	剧烈	4.21	3.23	14.44	11.07	37.80	28.99	0.12	0.09	10.96	8.41					
	%	11.75		5.24		20.22		0.03		13.12						
	类型	紫色土			棕壤			山地草甸土			黄褐土			粗骨土		
		面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )	%	面积(km <sup>2</sup> )
	微度	8446.73	37.90	163.15	0.73	16.29	0.07	215.88	0.97	10.10	0.05					
	轻度	2392.58	41.11	144.97	2.49	13.97	0.24	64.92	1.12	6.15	0.11					
	中度	5536.90	50.19	134.88	1.22	23.23	0.21	104.32	0.95	6.92	0.06					
	强度	2781.41	47.30	20.44	0.35	1.12	0.02	28.76	0.49	3.08	0.05					
	极强度	501.61	49.71	7.20	0.71	0.00	0.00	10.58	1.05	0.24	0.02					
	剧烈	61.96	47.52	0.17	0.13	0.00	0.00	0.65	0.50	0.07	0.05					
	%	47.23		1.29		0.16		0.88		0.07						

注：列方向的%表示不同土壤类型占每种水土流失类型的百分比；行方向的%表示不同土壤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

活动等地理环境因子是水土流失产生的重要影响因素<sup>[12]</sup>。为了获得研究区水土流失随各种地理背景环境因子的空间分异规律，利用GIS的空间分析功能，对水土流失按照不同地理环境因子进行梯度分割，并分级统计研究区水土流失沿地理环境因子梯度的分异规律。具体分析了水土流失与土壤类型、土地利用类型、海拔高度、坡度、坡向、降雨等六个地理环境因子的关系。土壤类型主要包括紫色土、黄壤、黄棕壤等10种(表4)；土地利用类型主要分为水田、旱地、有林地、高覆盖度草地等10种(表5)；海拔高度分级标准为<200 m、200~500 m、500~800 m、800~1000 m、1000~1500 m、>1500 m六级(表6)；坡度分级标准为<5°、5~8°、8~15°、15~25°、>25°五级(表7)；坡向分为平缓地、东坡、南坡、西坡和北坡五类(表8)；降雨是引起水土流失的动力和前提条件，降水量多少与侵蚀能力大小的时空格局与水土流失有着直接的关系。降雨侵蚀力是降雨引起土壤侵蚀的潜在能力，降雨侵蚀力因子(R)是评价这种潜在能力的一个动力指标。周伏建等人通过研究提出了适合我国南方地区降雨侵蚀力(R)的简易计算公式<sup>[13]</sup>，因此，研究中借鉴其研究成果，采用1~12月多年月均降雨量计算研究区各气象站点降雨侵蚀力R值，经GIS空间内插获得研究区降雨侵蚀力(R)的空间分布，然后，分析研究区水土流失与R

表 5 重庆市三峡库区水土流失与土地利用类型的相关特征分析表

Tab. 5 The correlation between SWL and land use types in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing

年份	类型	水田		旱地		有林地		灌木林		疏林地	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
1999	微度	5453.50	34.91	298.12	1.91	4271.30	27.34	4165.74	26.67	178.11	1.14
	轻度	64.02	1.07	1751.41	29.35	682.77	11.44	1314.09	22.02	1008.87	16.90
	中度	177.03	1.12	6412.02	40.74	68.84	0.44	413.08	2.62	4128.21	26.23
	强度	18.89	0.30	4222.16	65.96	12.52	0.20	92.37	1.44	1376.24	21.50
	极强度	2.42	0.11	2074.60	93.17	12.24	0.55	6.41	0.29	68.54	3.08
	剧烈	0.11	0.05	190.29	93.81	0.73	0.36	0.26	0.13	0.47	0.23
	%	0.86		47.97		2.54		5.98		21.55	
	类型	高覆盖度草地		中低覆盖度草地		水域 (含滩涂)		城镇建设用地		裸地	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
	微度	183.32	1.17	122.00	0.78	603.09	3.86	345.34	2.21	0.04	0.00
	轻度	957.24	16.04	90.38	1.51	78.69	1.32	20.47	0.34	0.00	0.00
	中度	44.09	0.28	4445.39	28.24	4.62	0.03	44.91	0.29	1.02	0.01
	强度	31.50	0.49	635.94	9.93	0.26	0.00	11.40	0.18	0.03	0.00
	极强度	35.23	1.58	25.86	1.16	0.06	0.00	1.29	0.06	0.00	0.00
	剧烈	0.00	0.00	1.80	0.89	0.36	0.18	0.00	0.00	8.83	4.35
	%	3.50		17.03		0.28		0.26		0.03	
年份	类型	水田		旱地		有林地		灌木林		疏林地	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
2004	微度	5032.45	22.58	758.32	3.40	14327.55	64.28	264.73	1.19	241.62	1.08
	轻度	173.13	2.97	1850.11	31.79	1736.85	29.85	953.06	16.38	659.08	11.33
	中度	423.43	3.84	9863.57	89.42	410.17	3.72	271.54	2.46	47.36	0.43
	强度	151.95	2.58	5646.91	96.03	21.00	0.36	19.57	0.33	2.46	0.04
	极强度	17.44	1.73	987.92	97.90	3.02	0.30	0.10	0.01	0.39	0.04
	剧烈	1.51	1.16	119.21	91.43	9.62	7.38	0.00	0.00	0.01	0.01
	%	3.22		77.37		9.14		5.21		2.97	
	类型	高覆盖度草地		中低覆盖度草地		水域 (含滩涂)		城镇建设用地		裸地	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
	微度	51.57	0.23	0.77	0.00	877.19	3.94	733.85	3.29	0.32	0.00
	轻度	265.12	4.56	181.83	3.12	0.35	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
	中度	13.29	0.12	1.20	0.01	0.18	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00
	强度	0.40	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	37.88	0.64	0.00	0.00
	极强度	0.19	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	剧烈	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
	%	1.17		0.77		0.00		0.16		0.00	

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

的梯度分异规律 (表 9)。R 值的计算公式为：

$$R = \sum_{i=1}^{12} (0.3046P_i - 2.6398)$$

(2)

式中，R 为年降雨侵蚀力 (j·cm/hm<sup>2</sup>·h)，P<sub>i</sub> 为 1-12 月多年月平均降雨量 (mm)。

分析时可利用 GIS 栅格叠加分析功能，通过地理背景环境因子分级类型栅格数据与水土流失强度类型栅格数据叠加，进而分析各地理环境因子与水土流失的相关特征。

3 结果分析

3.1 水土流失的总体特征



表 6 重庆市三峡库区水土流失与海拔高度的相关特征分析表

Tab. 6 The correlation between SWL and elevation in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing

年份	类型	< 200 m		200-500 m		500-800 m		800-1000 m		1000-1500 m		> 1500 m	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
1999	微度	783.01	5.01	5149.95	32.97	3207.94	20.54	1722.58	11.03	3045.93	19.50	1711.15	10.95
	轻度	222.79	3.73	2109.29	35.34	1293.51	21.67	622.30	10.43	1167.59	19.56	552.46	9.26
	中度	403.16	2.56	6139.17	39.01	4349.19	27.63	1518.21	9.65	2288.41	14.54	1041.07	6.61
	强度	144.77	2.26	2041.56	31.89	1919.13	29.98	860.83	13.45	1113.81	17.40	321.22	5.02
	极强度	26.96	1.21	414.64	18.62	499.23	22.42	389.44	17.49	711.46	31.95	184.92	8.30
	剧烈	4.51	2.22	27.40	13.51	41.86	20.64	29.96	14.77	66.85	32.96	32.27	15.91
	%	2.63		35.14		26.53		11.20		17.51		6.98	
年份	类型	< 200 m		200-500 m		500-800 m		800-1000 m		1000-1500 m		> 1500 m	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
2004	微度	1016.52	4.56	7001.72	31.41	4830.07	21.67	2334.33	10.47	4753.47	21.33	2352.26	10.55
	轻度	141.32	2.43	2565.60	44.09	1173.72	20.17	498.45	8.57	820.24	14.09	620.21	10.66
	中度	254.06	2.30	4466.55	40.49	3153.91	28.59	1311.58	11.89	1434.13	13.00	410.74	3.72
	强度	93.04	1.58	1862.00	31.67	1973.02	33.55	858.32	14.60	910.36	15.48	183.42	3.12
	极强度	10.38	1.03	264.81	26.24	340.04	33.70	162.17	16.07	184.30	18.26	47.40	4.70
	剧烈	1.50	1.15	25.47	19.53	43.41	33.29	20.57	15.78	27.43	21.04	12.01	9.21
	%	2.10		38.48		28.00		11.94		14.15		5.34	

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 7 重庆市三峡库区水土流失与坡度的相关特征分析表

Tab. 7 The correlation between SWL and slope in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing

年份	类型	<5°		5-8°		8-15°		15-25°		> 25°	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
1999	微度	1767.46	11.31	1067.34	6.83	2971.64	19.02	4105.44	26.28	5708.69	36.55
	轻度	494.10	8.28	406.20	6.81	1245.43	20.87	1780.33	29.83	2041.89	34.21
	中度	935.20	5.94	938.32	5.96	3479.91	22.11	5568.03	35.38	4817.75	30.61
	强度	225.29	3.52	236.48	3.69	1094.30	17.09	2420.79	37.82	2424.46	37.87
	极强度	43.10	1.94	47.38	2.13	241.19	10.83	684.60	30.75	1210.37	54.36
	剧烈	4.84	2.38	3.13	1.54	15.53	7.66	46.72	23.03	132.63	65.38
	%	5.58		5.34		19.90		34.38		34.80	
年份	类型	<5°		5-8°		8-15°		15-25°		> 25°	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
2004	微度	2205.43	9.89	1369.50	6.14	3909.84	17.54	6119.37	27.46	8684.23	38.96
	轻度	451.21	7.75	494.23	8.49	1388.35	23.86	1734.78	29.81	1750.95	30.09
	中度	513.65	4.66	666.66	6.04	3286.33	29.79	4230.16	38.35	2334.18	21.16
	强度	131.48	2.24	159.18	2.71	815.57	13.87	2602.16	44.25	2171.78	36.93
	极强度	10.24	1.01	13.09	1.30	61.25	6.07	230.05	22.80	694.47	68.82
	剧烈	0.77	0.59	0.88	0.67	3.88	2.98	13.22	10.14	111.63	85.62
	%	4.64		5.59		23.27		36.91		29.59	

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

研究区水土流失时空格局的总体特征表现为：(1) 空间上，研究区东北部的开县、云阳、奉节、巫溪、巫山，万州是水土流失最为严重的地区，水土流失的面积大，强度高。根据 1999 年水土流失遥感调查结果，以上六个区县占研究区水土流失面积的近 51% (约 15561.16 km<sup>2</sup>)，强度以上水土流失面积比则达到近 70% (约 6133.53 km<sup>2</sup>)。2004 年这些区县水土流失总面积和强度以上总面积都有所减少 (约 11845.00 km<sup>2</sup> 和 5167.82 km<sup>2</sup>)，但其所占比例则有所增加，分别为 57.04%和 71.22% (图 2，图 3)。(2) 5 年间 (1999-2004) 研

究区水土流失总体呈现好转趋势。水土流失面积由 1999 年的 30537.96 km<sup>2</sup> 减少到 2004 年的 23870.16 km<sup>2</sup>, 面积比减少了 14.45% (表 1), 从轻度到剧烈各种强度的水土流失类型面积均有所减少 (表 2), 以极强度和剧烈水土流失面积变化幅度最大, 分别比 1999 年减少了 54.68%和 35.73%。很多区域水土流失强度表现出明显降低趋势, 水土流失降低的地区面积为 23014.00 km<sup>2</sup>, 占幅员面积的比例为 44.01%; 未发生变化的区域面积为 16321.32 km<sup>2</sup>, 比例为 35.36%; 水土流失加剧的地区面积仅约为 20.63% (图 4)。(3) 1999 到 2004 年各类型水土流失的主要转移方向表现为: 剧烈—微度 (无明显流失)—强度—中度; 极强度—微度—中度—强度; 强度—微度—中度; 中度—微度—轻度—强度; 轻度—微度—中度; 微度—中度—轻度, 总体上表现为强度减弱趋势 (表 2)。表明多年来三峡库区水土保持等生态环境措施已经一定程度上发挥了效果。(4) 水土流失加剧的地区主要为原无明显流失地区。2004 年各水土流失强度类型中有 31.19%的剧烈流失面积、20.88%的极强度流失面积、19.15%的强度流失面积、22.25%的中度流失面积和 29.74%的轻度水土流失面积由 1999 年的无明显流失类型转化而来 (表 3)。这些地区主要分布在库区移民迁建频繁的区县 (图 4), 如开县、云阳、奉节、巫山、万州等。移民迁建带来的大量人类干扰活动是水土流失加剧的主要原因之一。

3.2 水土流失时空格局的土壤类型相关分析

不同的土壤类型其松散程度以及土层厚度等物理特性不同, 因此, 水土流失与土壤质地有着十分密切的关系。三峡库区重庆段水土流失与土壤类型的相关特征主要表现在: (1) 水土流失主要分布在紫色土、黄壤、石灰 (岩) 土、水稻土和黄棕壤分布区, 1999 年以上五种土壤类型区水土流失面积比分别为 44.05%、22.05%、13.91%、11.30%、7.29%; 2004 年则分别为 47.23%、20.22%、13.12%、11.75%、5.24% (表 4)。这些土壤类型的质地多以疏松的壤质土为主。水土流失的敏感性较高, 易发生中度以上的片蚀和沟蚀<sup>[14]</sup>。其中, 紫色土和水稻土分布区水土流失面积略有上升, 其余均呈下降趋势。(2) 中强度以上的水土流失主要集中在紫色土和黄壤分布区, 二者所分布的中强度以上水土流

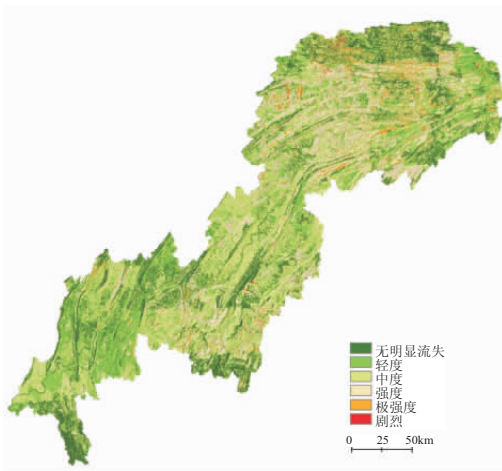


图 2 重庆市三峡库区水土流失图 (1999)  
Fig. 2 The map of soil and water loss (1999)



图 3 重庆市三峡库区水土流失图 (2004)  
Fig. 3 The map of soil and water loss (2004)

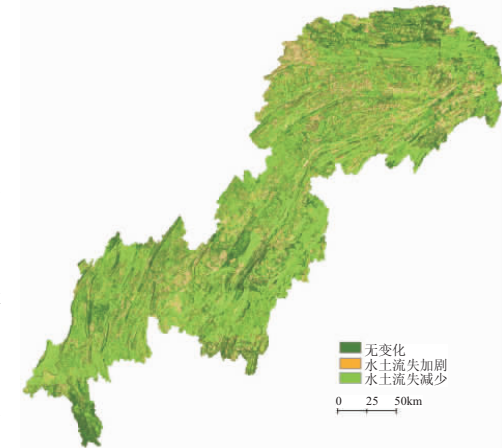


图 4 重庆三峡库区水土流失变化 (1999-2004)  
Fig. 4 The soil and water loss dynamic map (1999-2004)

失面积比基本超过了 65% (表 4)。且随着时间的变化,黄壤等林业土壤分布区中强度以上水土流失面积明显减少,而紫色土,水稻土等耕作土壤中强度以上水土流失面积则明显增加。这些特征充分说明了研究区植树种草、封山育林等生态恢复工程取得的成效,但同时也表明,人类不合理的耕作活动是研究区耕作土壤分布区水土流失加剧的最为主要的原因。

3.3 水土流失时空格局的土地利用相关分析

土地利用是人类活动的集中体现方式。因此,土地利用方式的不同很大程度上影响着区域水土流失的发生面积和强度特征<sup>[15-17]</sup>。通过表 5 可以明显看出,1999 年水土流失主要发生在人类负向干扰活动最强烈的旱地和疏林地分布区,水土流失面积比分别为 47.97%和 21.55%。而强度以上的水土流失则集中于旱地,基本超过了 90%。2004 年有林地、灌木林、疏林地、高覆盖度草地、中低覆盖度草地等土地利用类型区水土流失面积均明显下降 (尽管有的土地利用类型上水土流失面积比有所增加),进一步表明了国家在三峡库区执行的封山育林,种草种树等生态修复政策的积极效应。但旱地和水田分布区的水土流失面积则显著增加,分别由 1999 年的 14650.48 km<sup>2</sup> 和 262.47 km<sup>2</sup> 增加到 2004 年的 18467.72 km<sup>2</sup> 和 767.46 km<sup>2</sup>,所占水土流失面积比例也由 47.97%和 0.86%增长到 77.37%和 3.50%。更突出的是几乎所有强度以上的水土流失都集中在旱地上。充分表明了人类不合理的耕作活动是导致水土流失发生的主要动因。

3.4 水土流失时空格局的地形相关分析

地形因子既是区域环境分异的主要因素之一,同时也对人类的土地利用强度和方式以及生态环境产生着显著的影响<sup>[18, 19]</sup>。因此,分析水土流失时空格局随地形地貌的梯度变化,有助于理解区域水土流失时空格局的规律性及其驱动因素<sup>[20]</sup>。

3.4.1 水土流失的海拔梯度分析 利用 DEM 高程分级图与水土流失强度类型图叠加,分别统计各水土流失强度类型在不同海拔高程段的分布情况,以及不同高程分级上水土流失的分布情况 (表 6)。区内水土流失类型随海拔高度的变化表现出明显的垂直分异特征:(1) 水土流失主要集中于高程 200~1500 m 的低山、丘陵地区,面积比超过 90%,尤其以 200~500 m 和 500~800 m 最为集中。1999 年和 2004 年两个高程分级范围内水土流失所占百分比分别为 35.14%、26.53%和 38.48%、28.00%。高程 200 m 以下多为河谷阶地或缓丘平坝,地形平缓;1500 m 以上地区植被发育较为良好,这些地区多为无明显侵蚀或轻度侵蚀。(2) 就强度随高程的梯度分布特征而言,1999 年极强度和剧烈水土流失主要分布于 1000~1500 m 和 500~800 m 高程范围,所占比例接近 60%以上;而中强度水土流失则主要分布在 200~500 m 和 500~800 m 范围内,两个高程范围内中强度水土流失面积比也超过了 60%。2004 年各强度水土流失绝对面积均有所降低,分布的高程区间也有所变化。中度以上强度的水土流失面积均集中分布在 500~800 m 和 200~500 m 高程范围,这些地区恰好也是研究区耕作活动的主要地区;1000 m 以上的中低山区,在国家退耕还林还草、封山育林等生态政策的作用下,水土流失大幅减少。这些进一步验证了人类不合理的耕作活动对水土流失的负面作用和生态修复工程的正面效应<sup>[21]</sup>。

3.4.2 水土流失的坡度梯度分析 分类统计不同水土流失强度类型在不同坡度分级中的分布情况,以及不同坡度分级中水土流失的分布情况 (表 7)。坡度因子是水土流失敏感性中非常重要的因子,通过表 7 可以明显看出,1999 年和 2004 年无论是水土流失面积还是水土流失强度都基本表现出随坡度的增大而增加的特征。1999 年 < 5°、5~8°、8~15°、15~25°、> 25° 各坡度级水土流失面积比分别为 5.58%、5.34%、19.90%、34.38%、34.80%,极强度以上的水土流失面积高度集中于 > 25° 坡度范围,面积比在 55%以上;2004 年的各坡度级水土流失面积的比例为 4.64%、5.59%、23.27%、36.91%、29.59%,极强度以上的水土流失面积总体下降,但分布更加集中于 > 25° 范围,比例超过了 70%。



表 8 重庆市三峡库区水土流失与坡向的相关特征分析表

Tab. 8 The correlation between SWL and aspect in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing

年份	类型	平缓地		东坡		南坡		西坡		北坡	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
1999	微度	277.19	1.77	3729.74	23.88	3478.00	22.27	4239.13	27.14	3896.52	24.94
	轻度	55.29	0.93	1570.27	26.31	1467.41	24.59	1437.23	24.08	1437.74	24.09
	中度	99.21	0.63	3916.16	24.88	3819.85	24.27	4095.41	26.02	3808.58	24.20
	强度	28.04	0.44	1658.61	25.91	1656.25	25.87	1639.58	25.61	1418.84	22.16
	极强度	6.44	0.29	532.19	23.90	653.54	29.35	540.23	24.26	494.24	22.20
	剧烈	0.68	0.33	50.25	24.77	59.72	29.44	49.20	24.25	43.01	21.20
	%	0.62		25.30		25.07		25.42		23.59	
年份	类型	平缓地		东坡		南坡		西坡		北坡	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
2004	微度	321.45	1.44	5387.42	24.17	4986.60	22.37	6009.95	26.96	5582.94	25.05
	轻度	40.66	0.70	1510.48	25.96	1435.56	24.67	1485.26	25.52	1347.56	23.16
	中度	54.21	0.49	2780.08	25.20	2912.82	26.41	2703.20	24.51	2580.67	23.39
	强度	19.15	0.33	1468.44	24.97	1585.75	26.97	1465.77	24.93	1341.07	22.81
	极强度	1.68	0.17	300.95	29.82	298.76	29.61	233.00	23.09	174.72	17.31
	剧烈	0.22	0.17	42.39	32.51	40.69	31.21	25.15	19.29	21.93	16.82
	%	0.49		25.56		26.28		24.77		22.90	

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

**3.4.3 水土流失的坡向梯度分析** 从不同水土流失类型在不同坡向的分布情况以及不同坡向上水土流失的分布 (表 8)可以发现, 1999 年与 2004 年研究区水土流失与坡向无明显相关特征, 东、南、西、北各坡向水土流失分布基本相当, 以北坡略低。表明水土流失对坡向不敏感。

**3.5 水土流失时空格局与降雨因子的相关分析**

分别统计各水土流失类型在不同降雨侵蚀力分级中的分布情况和不同降雨侵蚀力分级中水土流失的分布情况 (表 9)。1999 年与 2004 年研究区水土流失主要集中在 300~320 和 320~340 j.cm/hm<sup>2</sup>.h 的 R 值分布区, 两个年份两个区间水土流失的面积比分别为 44.62%、26.70%和 43.99%、27.33%, 而降雨侵蚀力最高的 340~357 j.cm/hm<sup>2</sup>.h 地区水土流失分布相对较少。分析其原因, 一方面降雨侵蚀力在 340~357 区间的地区本身面积就较小; 另一方面, 降雨随海拔高度的变化具有梯度效应, 海拔高的地方降雨较多, 而这些地方往往是植被覆盖较好的地区, 植被通过林冠的截留降雨作用、枯枝落叶层的蓄水保土作用, 根系的固土作用等减缓地表径流的强度、提高土壤的抗侵蚀能力、减少水土流失。但是, 如果有些地区植被一旦受到破坏, 由于坡度陡、降雨侵蚀力大则表现出非常严重的水土流失。因此, 剧烈水土流失与高降雨侵蚀力具有较好的对应关系。尤其是 2004 年, 剧烈侵蚀面积中有 60%以上是分布在降雨侵蚀力 (R) 值最高的地区。虽然 300~320 j.cm/hm<sup>2</sup>.h 的 R 值区间降雨侵蚀力并不是最大, 但通过观察降雨侵蚀力 (R) 的空间分布特征可以发现, 这一区间与人类耕作以及移民迁建, 各种开发建设活动具有很好的对应关系, 因此, 无论水土流失面积还是强度这一区间均表现出明显的集中趋势。

**4 结论与讨论**

三峡库区重庆段占整个三峡库区的近 80%, 水土流失是这一区域头号生态环境问题。鉴于研究区重要的生态地理位置以及目前相关研究的局限性, 本文对研究区 1999-2004 年

表 9 重庆市三峡库区水土流失与降雨侵蚀力 (R) 的相关特征分析表

Tab. 9 The correlation between SWL and R in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing

年份	类型	279-300 (j·cm/hm <sup>2</sup> ·h)		300-320 (j·cm/hm <sup>2</sup> ·h)		320-340 (j·cm/hm <sup>2</sup> ·h)		340-357 (j·cm/hm <sup>2</sup> ·h)	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
1999	微度	1954.24	12.51	7826.52	50.10	3966.27	25.39	1873.53	11.99
	轻度	1798.80	30.14	2508.04	42.03	1262.50	21.15	398.60	6.68
	中度	1839.42	11.69	7161.34	45.50	4542.03	28.86	2196.41	13.96
	强度	602.11	9.41	2750.15	42.96	1731.39	27.05	1317.68	20.58
	极强度	171.72	7.71	1126.41	50.59	600.33	26.96	328.18	14.74
	剧烈	29.28	14.43	79.09	38.99	16.41	8.09	78.07	38.49
	%	14.54		44.62		26.70		14.14	
年份	类型	279-300 (j·cm/hm <sup>2</sup> ·h)		300-320 (j·cm/hm <sup>2</sup> ·h)		320-340 (j·cm/hm <sup>2</sup> ·h)		340-357 (j·cm/hm <sup>2</sup> ·h)	
		面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%	面积 (km <sup>2</sup> )	%
2004	微度	3279.04	14.71	10805.62	48.48	5748.38	25.79	2455.32	11.02
	轻度	1282.77	22.04	2537.10	43.60	1542.63	26.51	457.03	7.85
	中度	936.99	8.49	4839.43	43.87	3340.88	30.29	1913.68	17.35
	强度	676.60	11.51	2703.34	45.97	1377.12	23.42	1123.11	19.10
	极强度	11.56	1.15	398.09	39.45	245.91	24.37	353.53	35.03
	剧烈	10.24	7.85	21.63	16.59	16.74	12.84	81.77	62.71
	%	12.23		43.99		27.33		16.46	

注：列方向的%表示不同降雨侵蚀力分级占每种水土流失类型的百分比；行方向的%表示不同降雨侵蚀力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

的水土流失问题，从时空格局演变及其与地学背景要素的相关特征进行了深入细致的分析，从分析中初步得出研究区水土流失时空格局的特征与规律。

研究结果表明：

(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) 水土流失主要分布在紫色土、黄壤、石灰(岩)土、水稻土和黄棕壤分布区，中强度以上的水土流失主要集中在紫色土和黄壤分布区。

(3) 水土流失主要发生在受人类活动影响最为剧烈的坡耕地尤其是陡坡耕地和疏林地，二者水土流失面积比超过了 70%。高强度水土流失 90%以上发生在旱坡地。

(4) 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 200~1500 m 的低山、丘陵地区，面积比超过 90%，表现为强度—剧烈侵蚀；高程 200m 以下多为河谷阶地或缓丘平坝，1500 m 以上植被发育良好，这些区间多无明显侵蚀或轻度侵蚀。

(5) 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 70%左右。高强度水土流失主要也分布在 15° 以上的陡坡地，尤其是极强度以上水土流失，有 80%以上都分布在这一坡度范围。

(6) 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。

(7) 水土流失主要集中在 300~320 和 320~340 j·cm/hm<sup>2</sup>·h 的降雨侵蚀力 (R) 值分布区，而降雨侵蚀力最高的 340~357 j·cm/hm<sup>2</sup>·h 地区水土流失分布相对较少。剧烈水土流失与高降雨侵蚀力具有较好的对应关系。

(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方式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，陡坡旱地是本区水土流失最为严重的地区。再次为降雨侵蚀力和土壤质地因子，降雨是水土流失产生的动力，而土壤质地要素则是影响降雨要素导致水土流失作用大小的影响因子之一。往往是降雨侵蚀力越大，土壤质地越疏松则越易产生水土流失。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,影响程度较大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。

需要说明的是,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,尽管如此,研究区水土流失的时空格局特征仍然能够得以充分反映。同时,由于数据的缺乏,研究时段仅为 1999-2004 五年,若能延长研究时段则更能反映研究区水土流失的时空规律性。此外,水土流失的产生是自然和人类社会活动综合作用叠加的结果,不同地域水土流失的主要驱动机制有所差异。因此,丰富数据来源,延长研究时段,提高数据的准确性,辨识水土流失驱动力,在此基础上,结合实地观测试验,建立合理完善的水土流失模拟与预测模型,进一步研究三峡库区水土流失的生态环境响应是本文改进和下一步研究的重要方向。

## 参考文献 (References)

- [1] Gu Shengzu, Hou Weili. Countermeasure of water and soil erosion in upper reaches of Changjiang River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2000, 9(2): 260-264. [辜胜阻, 侯伟丽. 治理长江上游水土流失的对策. *长江流域资源与环境*, 2000, 9(2): 260-264.]
- [2] Zhou Tinggang, Zhang Qiliang. Factors contributing to soil erosion in upper reaches of the Changjiang River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(1): 89-93. [周廷刚, 张其良. 长江上游水土流失成因及治理模式研究. *长江流域资源与环境*, 2004, 13(1): 89-93.]
- [3] Wu Jianguo, Huang Jianhui, Han Xingguo et al. Three-Gorges dam-experiment in habitat fragmentation? *Science*, 2003, 300: 1239-1240.
- [4] Zhang Sheng, Zhu Cheng. Soil loss and its effect on flooding catastrophe in Yangtze drainage basin. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(6): 9-13. [张生, 朱诚. 长江流域水土流失及其对洪灾的影响. *水土保持学报*, 2001, 15(6): 9-13.]
- [5] Zhan Xiaoguo, Tan Debao. Research on rapid and dynamical supervision on water and soil erosion in Three Gorges Reservoir area based on RS and GIS. *Journal of Yangtze River Scientific Research Institute*, 2003, 20(1): 44-46. [詹小国, 谭德宝. 基于 RS 和 GIS 的三峡库区水土流失快速动态监测研究, *长江科学院院报*, 2003, 20(1): 44-46.]
- [6] Liao Xiaoyong, Chen Zhijian, Liu Shaoquan et al. Study on soil losses in different land use types of purple slope cropland in the Three Gorges Reservoir area. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 12(1): 159-161. [廖小勇, 陈治淦, 刘邵权 等. 三峡库区紫色土破耕地不同利用方式的水土流失特征. *水土保持学报*, 2005, 12(1): 159-161.]
- [7] Fu Tao, Ni Jiupai, Wei Chaofu et al. Research on nutrient loss from Terra Gialla soil in Three Gorges region under different rainfall intensity. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(2): 33-35. [傅涛, 倪九派, 魏朝富 等. 雨强对三峡库区黄色石灰土养分流失的影响. *水土保持学报*, 2002, 16(2): 33-35.]
- [8] Li Hongwei, Peng Buzhuo. Traits of soil and water loss, environmental harmfulness and countermeasures in the forthcoming Three-Gorge Reservoir area. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1993, 2(4): 331-339. [李红卫, 彭补拙. 三峡库区水土流失特定及其环境危害防治措施探讨. *长江流域资源与环境*, 1993, 2(4): 331-339.]
- [9] Du Zuohua, Yan Guoan. Soil and water conservation and improving ecological environment in the Three-Gorge Reservoir area. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 1999, 8(3): 299-304. [杜佐华, 严国安. 三峡库区水土保持与生态环境改善. *长江流域资源与环境*, 1999, 8(3): 299-304.]
- [10] He Chunyang, Shi Peijun, Chen Jin et al. A study on land use/cover change in Beijing area. *Geographical Research*, 2001, 20(6): 679-687. [何春阳, 史培军, 陈晋 等. 北京地区土地利用 / 覆盖变化研究. *地理研究*, 2001, 20(6): 679-687.]
- [11] Li Yuechen, Liu Chunxia. Land use/cover dynamic changes in the northern China. *Scientia Geographica Sinica*, 2007, 27(1): 45-52. [李月臣, 刘春霞. 北方 13 省土地利用 / 覆盖动态变化分析. *地理科学*, 2007, 27(1): 45-52.]
- [12] Shi Deming, Shi Xuezheng, Liang Yin et al. The problems of soil and water loss and conservation in subtropics of China. *Subtropical Soil and Water Conservation*, 2005, 17(3): 1-5. [史德明, 史学正, 梁音 等. 我国亚热带的水土流失与水土保持问题. *亚热带水土保持*, 2005, 17(3): 1-5.]
- [13] Zhou Fujian, Chen Minghua. The rainfall erosivity index in Fujian province. *Journal of Soil and Water Conservation*, 1995, 9(1): 13-18. [周伏建, 陈明华. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值. *水土保持学报*, 1995, 9(1): 13-18.]
- [14] <http://www.cqates.com/newstxt/> 重庆市耕地资源分等定级土种等级结果体系 (旱作土).doc.
- [15] Ni Jinren, Li Yingkui. Dynamic assessment of soil erosion based on land-use structure change. *Acta Geographica Sinica*, 2001, 56(5): 611-621. [倪晋仁, 李英奎. 基于土地利用结构变化的水土流失动态评估. *地理学报*, 2001, 56(5): 611-621.]
- [16] Fu Bojie, Qiu Yang, Wang Jun et al. Effect simulations of land use change on the runoff and erosion for a gully catchment of the Loess Plateau, China. *Acta Geographica Sinica*, 2002, 57(6): 717-722. [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. 地理学报, 2002, 57(6): 717-722.]
- [17] Rai S C, Sharma E. Comparative assessment of runoff characteristics under different land use patterns within a Himalayan watershed. *Hydrological Processes*, 1998, 12: 2235-2248.
- [18] Swanson F J, Kratze T K, Caine N. Landform effects on ecosystem patterns and processes. *Bioscience*, 1988, 38:92-98.
- [19] Wear D N, Bolstad P. Land-use changes in southern Appalachian landscapes. *Ecosystems*, 1998, 1(6): 575-594.
- [20] Shen Zehao, Zhang Quanfa, Yue Chao et al. The spatial pattern of land use/land cover in the water supplying area of the middle-route of the South-to-North Water Diversion (MR-SNWD) Project. *Acta Geographica Sinica*, 2006, 61(6): 633-644. [沈泽昊, 张全发, 岳超 等. 南水北调中线水源区土地利用 / 土地覆被的空间格局. 地理学报, 2006, 61(6): 633-644.]
- [21] Shi Minjun, Wang Tao. An application of bio-economic household model to analysis on man-land relationship behavior in ecologically fragile land of China. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(1): 165-174. [石敏俊, 王涛. 中国生态脆弱带人地关系行为机制模型及应用. 地理学报, 2005, 60(1): 165-174.]

## Spatiotemporal Features of Soil and Water Loss in the Three Gorges Reservoir Area of Chongqing

LI Yuechen<sup>1,2</sup>, LIU Chunxia<sup>1</sup>, ZHAO Chunyong<sup>1</sup>, HUANG Jianhui<sup>3</sup>

(1. *College of Geography Science, Key Laboratory of GIS Application, Chongqing Normal University, Chongqing 400047, China;*

2. *College of Resources and Environmental Science, Chongqing University, Chongqing 400044, China;*

3. *Chongqing General Station of Soil and Water Conservation Monitoring, Chongqing 400015, China)*

**Abstract:** The soil and water loss (SWL) has been the most serious eco-environmental problem in the Three Gorges Reservoir area of Chongqing. In this paper the authors analyze the spatiotemporal features of SWL from 1999 to 2004 based on RS and GIS. The results are shown in the following aspects. (1) The SWL area in the Three Gorges Reservoir area presents a decreasing trend from 1999 to 2004, and the intensity of acute and extremely intense SWL reduces evidently. (2) The SWL mainly exists in purple soil, yellow soil, limestone soil, paddy soil and yellow brown soil distributed areas. The moderate (quite obvious SWL), intense (relatively high SWL), extremely intense (relatively obvious SWL) and acute SWL (high SWL) are mainly distributed in purple soil and yellow soil areas. (3) The dry slope land and sparse woodland that are influenced intensively by human activities are hit by most serious SWL. The total SWL area exceeds 70%. About 90% of the high intense SWL happens on the dry slope land. (4) The SWL in the study area shows an obvious vertical differentiation characteristic. The SWL mainly occurs in the low mountain and hilly regions with an elevation of 200-1500 m, being more than 90% of the total area. The SWL types are mainly intense and extremely intense. There is almost no SWL in the regions of river valleys and terraces where the elevation is lower than 200 m, or in regions where the elevation is higher than 1500 m with high vegetation coverage. (5) SWL is well correlated with slope. About 70% of SWL happens on the steep slope greater than 15° and high intense SWL does as well, especially, above extremely intense SWL occupies over 80%. (6) There is no obvious correlation between SWL and aspect. The affected areas and intensity are similar in different aspects. (7) The SWL concentrates mainly in the regions where the values of R are between 300 and 340. The area of SWL in the regions where the values of R are from 340 to 357 is small, but the extremely intense SWL is relatively well correlated with the high R values.

**Key words:** soil and water loss; Chongqing; Three Gorges Reservoir area