

三峡库区(重庆段)土壤侵蚀敏感性评价 及其空间分异特征

李月臣^{1,2}, 刘春霞^{1,*}, 赵纯勇¹, 王才军¹, 张 虹¹, 闵 捷¹, 汪 洋¹

(1. 重庆师范大学地理科学学院, GIS 应用研究重庆市高校重点实验室, 重庆 400047; 2. 重庆大学资源及环境学院, 重庆 400044)

摘要:三峡库区(重庆段)具有重要的生态地理位置。土壤侵蚀是这一地区最为严重的生态环境问题。以通用水土流失方程为基础,运用 GIS 技术,分别分析了土壤可蚀性、降水、地形、植被覆盖因子对研究区土壤侵蚀敏感性的影响程度,并生成单要素敏感性评价图。在此基础上,基于 ArcGIS 的空间叠加分析,完成单要素的叠加运算,实现研究区土壤侵蚀敏感性的综合评价。探讨了三峡库区(重庆段)这一特殊生态地理区域土壤侵蚀敏感性的高低分布规律及其在不同主导因子作用下的土壤侵蚀的空间分异特征。结果表明:研究区土壤侵蚀敏感性以高度敏感、中度敏感和极敏感为主,轻度敏感和不敏感比例相对较小。空间分布具有水平地域特征,东北部最为敏感、西部最不敏感。研究区土壤侵蚀现状与土壤侵蚀敏感性分布总体上是一致的,表明降雨、地形起伏、土壤可蚀性以及自然植被状况等自然因素是土壤侵蚀发生、发展的潜在条件,而人类活动是土壤侵蚀发生、发展或减弱的主导因素。植被覆盖受人类活动影响最大。因此,转变不合理的土地利用方式,加强植被的保育和植被生态系统的重建是防治土壤侵蚀的关键环节。

关键词:三峡库区(重庆段);土壤侵蚀;敏感性;空间分异

文章编号:1000-0933(2009)02-0788-09 中图分类号:Q149, S154.1 文献标识码:A

Assessment and spatial differentiation of sensitivity of soil erosion in Three Gorges Reservoir area of Chongqing

LI Yue-Chen^{1,2}, LIU Chun-Xia^{1,*}, ZHAO Chun-Yong¹, WANG Cai-Jun¹, ZHANG Hong¹, MIN Jie¹, WANG Yang¹

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

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(2): 0788 ~ 0796.

Abstract: Soil erosion has been the most serious eco-environmental problem in Three Gorges Reservoir area of Chongqing. The study area, Three Gorges Reservoir area, is the ecological barrier of the Yangtze River basin and one of the seventeen key regions globally for protecting biodiversity. Eco-environment problems in the study area influence not only the security of Three Gorges Reservoir and steady of migrant but also the ecological security and the socio-economy sustainable development of the Yangtze River basin. So many scholars paid much attention to the soil erosion problems in the study area. Their research results improve our understanding about the water and soil loss problems. However, these researches still have some shortcomings. Based on the Universal Soil Loss Equation (USLE), four natural factors affecting soil erosion were chosen as assessment indices, which are precipitation, soil texture, topography and vegetation cover. We classified the influences of the four factors into five degrees based on GIS analysis. Then, assessment map of each factor was produced. An integrated sensitivity assessment map of soil erosion was created by overlapping function with ArcGIS. Furthermore,

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40801077);重庆市教育委员会科学技术研究资助项目(KJ070811);重庆师范大学博士科研启动基金资助项目(06XLB004);重庆市环保局资助项目

收稿日期:2007-09-04; 修订日期:2008-02-18

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuchunxia_2004@163.com

distribution characteristics and spatial difference of sensitivity of soil erosion in study area were analyzed. The results showed that strong, moderate and intense sensitivities are the main types of soil sensitivities and the area proportions with slight or non-sensitivity are small. The northeast of study area is the most sensitive area and the west is not sensitive. The proposed soil erosion sensitivities were found to be consistent with real soil erosion. The natural factors such as precipitation, topography, soil texture and vegetation are dominant factors for soil erosion while human activities are the inducement of soil erosion. Vegetation is mostly affected by human activities. So conservation and renewal of vegetation are key measurements to prevent soil erosion.

Key Words: Three Gorges Reservoir area of Chongqing; soil erosion; sensitivity; spatial difference

三峡库区(重庆段)具有重要的生态地理位置。本区位于长江上游的末端,位于长江流域生态屏障的咽喉地带,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,也是东部经济发达地区支援西部地区发展的桥头堡,是消除东西部经济差异,实现东西部社会经济融合的支撑点。其生态环境的优劣,不仅直接关系到三峡工程的安全,百万移民的安稳,更关系到整个长江流域的生态安全与区域社会经济的可持续发展。水土流失是这一地区最为严重的生态环境问题,其水土流失面积比高达 51.7%,流失强度也远高于长江流域以及四川、贵州、湖北等地区,是三峡库区入库泥沙的主要来源^①,大量的水土流失降底了水源涵养能力;使土壤薄层化,“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^[1],严重影响三峡工程的使用寿命和防洪发电功能的发挥。此外,淤积泥沙携带的大量污染物对水环境的污染以及泥沙淤积后缓慢释放造成的水体环境二次污染也十分严重。可见,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国内外学者的高度重视^[2~10]。这些研究无疑提高了人们对三峡库区乃至长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,大多是定性的分区描述和现状评价。本文主要从分析研究区水土流失的自然和社会基底的角度出发,分别对水土流失的每个潜在影响因子的敏感性进行了评价,探讨了主要影响因子对研究区水土流失敏感性的影响规律以及不同敏感程度的空间分异规律,以及水土流失敏感性与现状之间的相互关系。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)位于长江上游末端,地理范围在北纬 28°31′~31°44′、东经 105°49′~110°12′之间。东南、东北与鄂西交界,西南与川黔接壤,西北与川陕相邻,包括重庆市 22 个区、县(自治县),幅员面积 46158.53km²,其下辖 260 个乡、333 个镇。2005 年末总人口为 1858.98 万人,其中农业人口 1284.63 万人。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(含重庆市主城区)。

研究区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,具有冬暖春早、夏热秋迟的特点。多年平均降雨量为 1150.26mm,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(紫色湿润锥形土)、黄壤(铁质常湿淋溶土)、黄棕壤(铁质湿润淋溶土)、棕壤(筒育湿润锥形土)、石灰(岩)土(钙质湿润淋溶土)、潮土(淡色湿润锥形土)、水稻土(水耕人为土)、粗骨土(石质湿润正常新成土)、新积土(新成土)、山地草甸土(暗色湿润锥形土)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。

三峡库区是长江上游主要的生态脆弱区之一。三峡库区是中国乃至世界最为特殊的生态功能区,其水土

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.

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 研究方法

土壤侵蚀敏感性评价是为了识别容易形成土壤侵蚀的区域, 评价土壤侵蚀对人类活动的敏感程度。由 W. H. Wischmeier 等在 20 世纪 60 年代提出的通用水土流失方程, 建立了水土流失量及其各影响因子的统计关系/模型, 其因子解释具有较强的物理意义^[11,12]。因此, 到目前为止, 通用水土流失方程仍然是研究土壤侵蚀最为常用的方法^[13-17]。其公式为:

$$A = R \cdot K \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

式中, A 为土壤侵蚀量; R 为降雨侵蚀力指标; K 为土壤可蚀性因子; LS 为坡长坡度因子; C 为地表植被覆盖因子; P 为土壤保持措施因子。研究中根据通用水土流失通用方程的基本原理, 结合三峡库区(重庆段)的自然和社会经济实际情况, 并参考国家环保总局发布的《生态功能区划技术暂行规程》(2002, 7), 选择了降雨侵蚀力(R)、土壤可蚀性(K)、坡长坡度因子(LS)以及地表植被覆盖因子(C), 对研究区的土壤侵蚀敏感性进行评价。土壤侵蚀敏感性是自然因素所决定的生态系统对人为影响反应的敏感程度。农业措施因子(P)是与人类活动密切相关的因子, 与生态系统的自然敏感性关系不大, 本文不做考虑。

2.1 降雨侵蚀力敏感性评价方法

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^[18], 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, R 值的计算公式为:

$$R = \sum_{i=1}^{12} (0.3046P_i - 2.6398) \quad (2)$$

式中, R 为年降雨侵蚀力($J \cdot cm / (hm^2 \cdot h)$), P_i 为 1~12 月份多年月平均降雨量(mm)。根据气象站点的空间分布, 运用 ArcGIS 空间内插功能, 采用 Kriging 方法对研究区降雨侵蚀力(R)进行空间化处理, 经误差修正后得到 R 值的空间分布图, 并依据表 1 中的分级标准绘制水土流失对降水侵蚀的敏感性分级图(图 1)。

表 1 R 因子对土壤侵蚀敏感性影响分级赋值标准

Table 1 Classification of influence grades of precipitation on soil erosion

分级 Classification	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Slight sensitive	中度敏感 Moderate sensitive	高度敏感 Strong sensitive	极敏感 Extremely sensitive
降水侵蚀力(R) Rainfall erosivity (R)	< 250	250 ~ 300	300 ~ 350	350 ~ 400	> 400
分级赋值(S) Classification value (S)	1	3	5	7	9

2.2 土壤可蚀性敏感性评价方法

通用水土流失方程中, 土壤可蚀性因子 K , 是一个由试验确定的定量数值, 它的最初测定是在标准连续休闲的裸露小区(坡长 22.13 m, 宽 1.85 m, 坡度 5°)上单位侵蚀指标($\sum E \cdot I_{30}$)的土壤流失率。显然在大范围内直接测定 K 值既费时间又费财力, 可行性较差。因此, 研究中参考已有的相关研究成果^[19,20], 以三峡库区(重庆段)土壤分布图为底图, 按表 2 中的分级标准绘制水土流失对土壤可蚀性因子(K)的敏感性分级图(图 2)。

2.3 地形因子敏感性评价方法

对于大尺度的分析, 坡度坡长因子 LS 是很难计算的。这里采用地形的起伏大小与土壤侵蚀敏感性的关

表 2 K 因子对土壤侵蚀敏感性影响分级赋值标准

Table 2 Classification of influence grades of soil texture on soil erosion

分级 Classification	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Slight sensitive	中度敏感 Moderate sensitive	高度敏感 Strong sensitive	极敏感 Extremely sensitive
土壤类型 Soil type	水稻土 Paddy soil	新积土、山地草甸土 New alluvial soil 、Meadow soil	棕壤、黄褐土、 石灰(岩)土 Brown soil、 Yellowish-brown soil、 Limestone soil	黄壤、黄棕壤、 粗骨土 Yellow soil、 Yellow-brown soil、 Roughness soil	紫色土 Purple soil
分级赋值(S) Classification value(S)	1	3	5	7	9

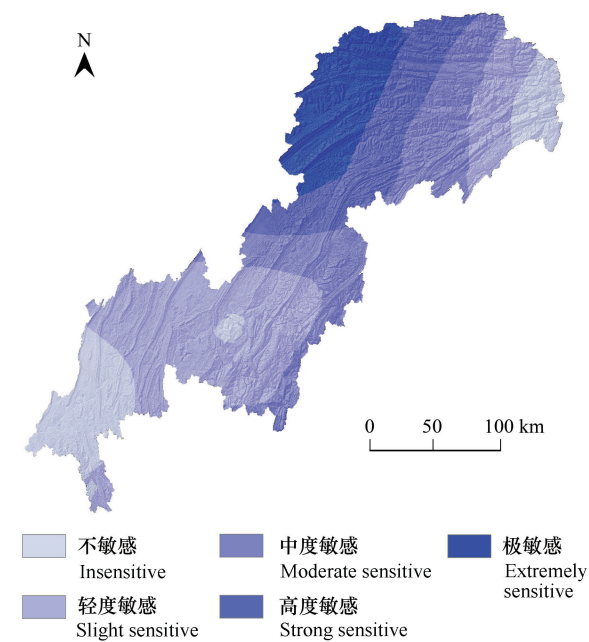


图 1 降水敏感性分布图
Fig. 1 Sensitivities of the precipitation factor

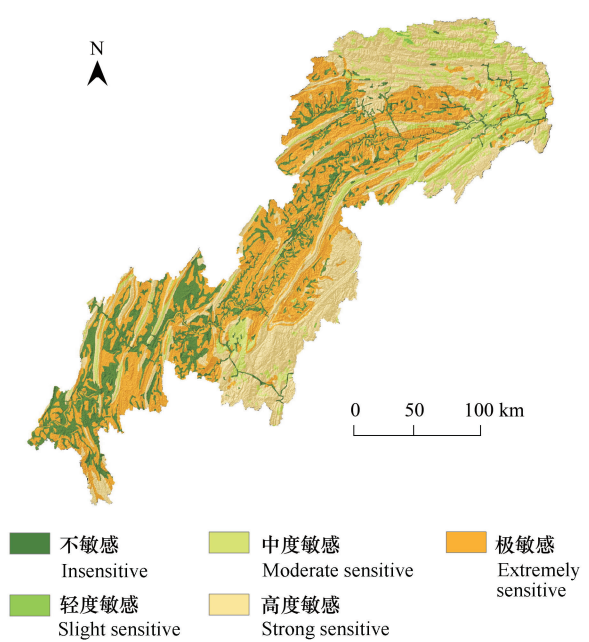


图 2 土壤敏感性分布图
Fig. 2 Sensitivities of the soil influencing factor

系来估计。在评价中,应用地形起伏度,即地面一定距离范围内最大高差,作为区域土壤侵蚀敏感性评价的地形指标。以 1:5 万 DEM 数据为基本信息源,在 ArcGIS 空间分析模块的支持下,使用栅格邻域计算工具 (neighborhood statistics),分别提取邻域为 11 × 11 的矩形窗口的最大值与最小值,二者的差值即为邻域范围内的地形起伏度。然后,按表 3 的分级标准绘制水土流失的地形因子 (LS) 的敏感性分级图 (图 3)。

表 3 地形因子对土壤侵蚀敏感性影响分级赋值标准

Table 3 Classification of influence grades of topography on soil erosion

分级 Classification	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Slight sensitive	中度敏感 Moderate sensitive	高度敏感 Strong sensitive	极敏感 Extremely sensitive
地表起伏度 Relief	0 ~ 20m	20 ~ 50 m	50 ~ 100 m	100 ~ 300 m	> 300 m
分级赋值(S) Classification value(S)	1	3	5	7	9

2.4 覆盖因子敏感性评价方法

根据研究区植被覆盖图对覆盖因子对研究区水土流失敏感性进行级赋值 (表 4),并绘制植被对土壤侵蚀敏感性分级图 (图 4)。

表 4 覆盖因子对土壤侵蚀敏感性影响分级赋值标准

Table 4 Classification of influence grades of vegetation on soil erosion

分级 Classification	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Slight sensitive	中度敏感 Moderate sensitive	高度敏感 Strong sensitive	极敏感 Extremely sensitive
覆盖类型 Vegetation cover	水体、滩地、稻田 Water area、Wetland、Paddy land	阔叶林、针阔混交林、针叶林、高覆盖度草地 Broad-leaved forest、Conifer-broadleaved mixed forest、Coniferous forest、High cover grassland	灌丛、稀疏林地、中低覆盖度草地 Shrubbery、Spare woodland、Moderate-low cover grassland	旱地 Dryland	无植被 Bare land
分级赋值(S) Classification value(S)	1	3	5	7	9

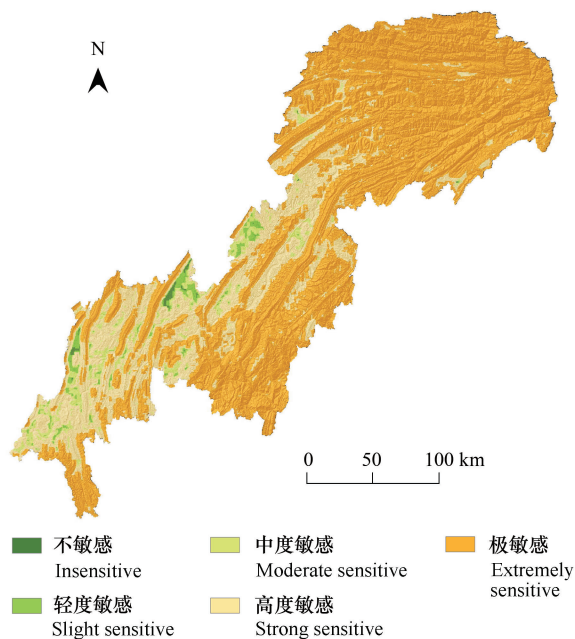


图 3 地形敏感性分布图

Fig. 3 Sensitivities of the topography factor

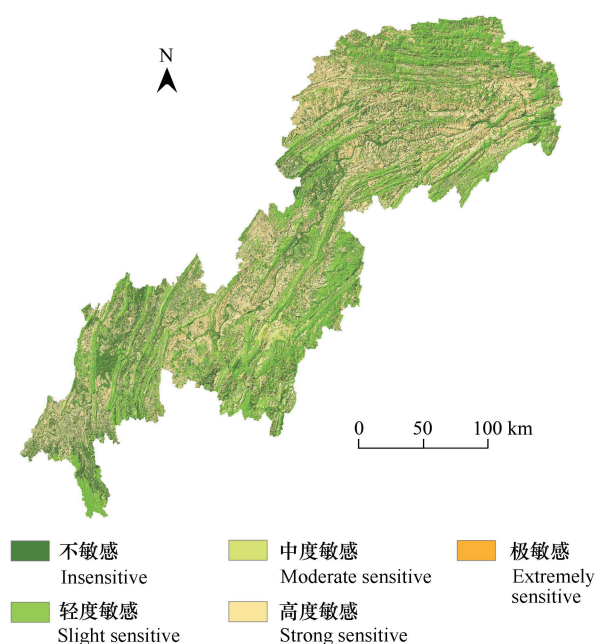


图 4 覆盖因子敏感性分布图

Fig. 4 Sensitivities of the vegetation factor

2.5 土壤侵蚀敏感性综合评价方法

单因子的土壤侵蚀敏感性仅反映了某一因子对土壤侵蚀的作用程度或敏感性,没有将研究区土壤侵蚀敏感性的空间变异特征综合反映出来。根据各因子的分级及赋值,利用 ArcGIS 的空间叠加功能,将上述各单因子敏感性影响分布图进行乘积计算,公式如下:

$$SS_j = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 S_i} \quad (3)$$

式中, SS_j 为 j 空间单元土壤侵蚀敏感性指数, S_i 为 i 因素敏感性等级值。然后采用自然分界法 (Natural break, ArcGIS 的这种分类方法是利用统计学的 Jenk 最优化法得出的分界点,能够使各级的内部方差之和最小) 将 SS 分为 5 级^[21],绘制出三峡库区 (重庆段) 土壤侵蚀敏感性综合评价图 (图 5)。

3 数据获取与处理

所用数据包括研究区 1:10 万土壤类型图, 1:5 万 DEM 数据, 2004 年 1:10 万土地利用类型图, 1:10 万植被覆盖图, 重庆市 34 个气象站点 1971 ~ 2000 年 1 ~ 12 月多年平均降雨量。数据处理使用 ArcGIS 软件。数据处理流程如图 6。

4 结果分析

4.1 降雨敏感性评价

研究区土壤侵蚀对降雨的敏感性以轻中度为主,二者所占比例接近 70%(表 5)。不敏感、高度敏感和极敏感所占面积必基本相当,高度敏感略强。空间上,研究区东北部的开县降雨侵蚀力最强,其次为巫溪西部、云阳西部、万州、忠县北部,这些地区土壤侵蚀对降雨的敏感性都在高度以上。研究区的中、西部各区县以及最东端的巫山降雨侵蚀力最低,以轻度和不敏感为主(图 1)。

4.2 土壤可蚀性敏感性评价

由于研究区大部分土壤以砂壤质地的紫色土和黄壤为主,因此土壤可蚀性的敏感性较高。极敏感面积最大,为 16636.39km²,占研究区总面积的 36.04%。其次为高度敏感区,面积比为 31.77%。轻度敏感最少,比例不到 1%(表 6)。空间上,东北-西南的平行岭谷区是土壤侵蚀的高度敏感区(其中水稻土分布区为不敏感区),而周边的中低山区则以中轻度敏感为主(图 2)。

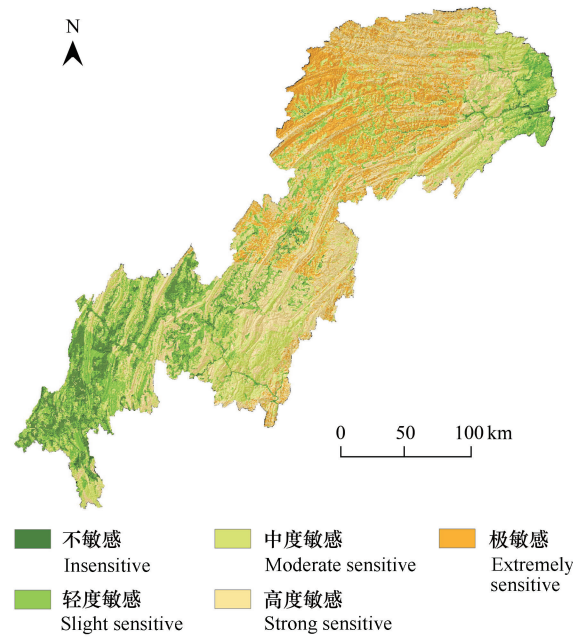


图 5 土壤侵蚀敏感性综合评价图
Fig. 5 Integrated assessment of sensitivity

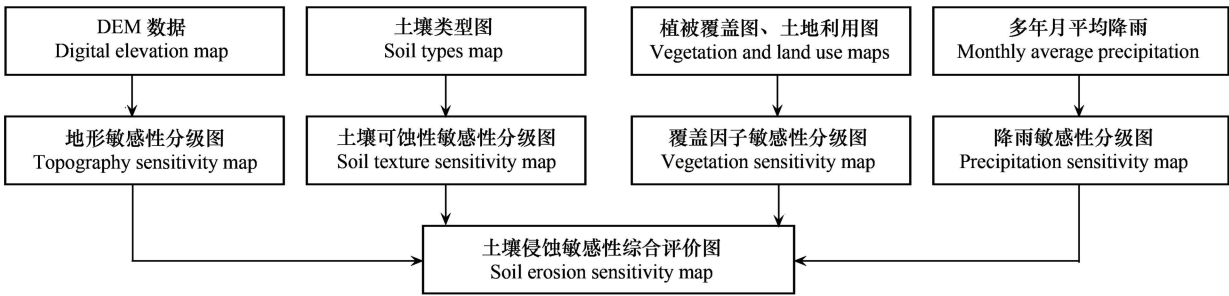


图 6 数据处理技术路线
Fig. 6 Data processing techniques

表 5 降雨对土壤侵蚀的敏感性评价结果表

Table 5 The sensitivity assessment of precipitation on soil erosion					
分级 Classification	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Slight sensitive	中度敏感 Moderate sensitive	高度敏感 Strong sensitive	极敏感 Extremely sensitive
面积 Area(km ²)	6802.19	16044.49	10163.91	7010.90	6137.04
百分比 Proportion(%)	14.74	34.76	22.02	15.19	13.30

表 6 土壤类型对土壤侵蚀的敏感性评价结果表

Table 6 The sensitivity assessment of soil texture on soil erosion					
分级 Classification	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Slight sensitive	中度敏感 Moderate sensitive	高度敏感 Strong sensitive	极敏感 Extremely sensitive
面积 Area(km ²)	8177.61	63.37	6617.49	14663.67	16636.39
百分比 Proportion(%)	17.72	0.14	14.34	31.77	36.04

4.3 地形敏感性评价

研究区地形对土壤的敏感性较大,超过 71% 的地区均表现为极敏感,高度敏感区也接近 23%(表 7)。只

有中部和西部的平行岭谷区的较平坦的谷地、平坝土壤侵蚀的敏感性较低在中度敏感以下(图3)。

表7 地形对土壤侵蚀的敏感性评价结果表

Table 7 The sensitivity assessment of topography on soil erosion

分级 Classification	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Slight sensitive	中度敏感 Moderate sensitive	高度敏感 Strong sensitive	极敏感 Extremely sensitive
面积 Area(km ²)	107.41	616.14	1904.77	10540.06	32990.16
百分比 Proportion(%)	0.23	1.33	4.13	22.83	71.47

4.4 覆盖因子敏感性评价

研究区植被覆盖的土壤侵蚀敏感性以轻度敏感和高度敏感占绝对优势比例,二者所占的比例分别为43.98%和35.91%,其次为不敏感区,比例为17.88%。极敏感区比例几乎为0(表8)。东北部的开县、云阳、万州、奉节、巫山,以及中部的忠县、丰都、涪陵是高度敏感的主要分布区(图4)。

表8 植被覆盖对土壤侵蚀的敏感性评价结果表

Table 8 The sensitivity assessment of vegetation on soil erosion

分级 Classification	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Slight sensitive	中度敏感 Moderate sensitive	高度敏感 Strong sensitive	极敏感 Extremely sensitive
面积 Area(km ²)	8254.28	20298.34	1030.51	16575.02	0.37
百分比 Proportion(%)	17.88	43.98	2.23	35.91	0.00

4.5 土壤侵蚀敏感性综合评价

就土壤侵蚀敏感性的数量特征而言,研究区土壤侵蚀以高度敏感(15883.15km²)、中度敏感(10946.96km²)和极敏感(8696.27km²)为主,所占比例分别为34.41%、23.72%和18.84%。轻度敏感区面积为7597.69km²,比例为16.46%。不敏感区面积比最少为6.57%,总面积约为3034.46km²(表9)。空间上,研究区的土壤侵蚀敏感性具有明显的水平地域特点。东北部属土壤侵蚀高度敏感区域,主要包括极敏感、高度敏感;中部属于土壤侵蚀中等敏感区,主要类型为中度、高度和轻度敏感区;西部和最东部的巫山为土壤侵蚀低敏感区,主要是不敏感和轻度敏感类型区。土壤侵蚀极敏感区主要分布在东北部的开县、云阳、奉节、万州等区县(图5)。这些地区降雨侵蚀力强、地形高差大、土壤可蚀性也比较敏感,此外,这些地区是三峡库区移民迁建工程最为集中的地区,大量工程活动以及农业陡坡旱作都是这些地区成为土壤侵蚀最为敏感的重要原因。

表9 土壤侵蚀的敏感性综合评价结果表

Table 9 The integrated sensitivity assessment on soil erosion

分级 Classification	不敏感 Insensitive	轻度敏感 Slight sensitive	中度敏感 Moderate sensitive	高度敏感 Strong sensitive	极敏感 Extremely sensitive
面积 Area(km ²)	3034.46	7597.69	10946.96	15883.15	8696.27
百分比 Proportion(%)	6.57	16.46	23.72	34.41	18.84

4.6 土壤侵蚀现状与土壤侵蚀敏感性的关系

以上分析的土壤侵蚀敏感性区主要是从自然角度评价了土壤侵蚀的易发区。文章研究了土壤侵蚀现状与土壤侵蚀敏感性分布区的相互对应关系,从一定程度上解释土壤侵蚀发生的根本诱发因子。从表10中可以看出,土壤侵蚀现状与土壤侵蚀敏感性具有很好的对应关系,从极敏感到不敏感区土壤侵蚀的比例依次降低。其中,中度以上土壤侵蚀区与土壤侵蚀高度和极敏感区具有很好的对应关系。中度土壤侵蚀区有38.63%和34.71%分别发生在土壤侵蚀的极敏感和高度敏感区;强度侵蚀区有48.14%和27.20%发生在土壤侵蚀的极敏感和高度敏感区;极强度和剧烈土壤侵蚀区与土壤侵蚀的敏感性的正相关关系更为明显,极强

度土壤侵蚀有 65.69% 和 22.11% 发生在极敏感和高度敏感区;而剧烈侵蚀则有 77.78% 分布在极敏感区。在敏感性与现状特征具有较好的对应关系的同时,也表现出一定的差异特征,微度和轻度土壤侵蚀区也分别有 34.89% 和 42.05% 分布在高度敏感区,表明尽管土壤侵蚀高度敏感但土壤侵蚀的发生并不是必然的,只要采取适当的水土保持措施,仍然可以构建良好的水土保持生态环境,避免水土流失的发生。此外,研究区中度以下土壤侵蚀敏感区仍然分布有一定比例(10% 以上)的极强度和剧烈土壤侵蚀。很显然这些地区的土壤侵蚀主要是受到不合理的人类干扰活动产生的。

表 10 土壤侵蚀现状与土壤侵蚀敏感性的关系

Table 10 The correlation between soil erosion actuality with soil erosion sensitivity

分级 Classification	不敏感 Insensitive		轻度敏感 Slight sensitive		中度敏感 Moderate sensitive		高度敏感 Strong sensitive		极敏感 Extremely sensitive	
	面积		面积		面积		面积		面积	
	Area(km ²)	(%)	Area(km ²)	(%)	Area(km ²)	(%)	Area(km ²)	(%)	Area(km ²)	(%)
微度侵蚀 No erosion	2673.56	12.00	4568.13	20.50	6735.36	30.23	7773.76	34.89	530.57	2.38
轻度侵蚀 Slight erosion	245.46	4.22	1391.01	23.90	1428.99	24.55	2447.95	42.05	307.70	5.29
中度侵蚀 Moderate erosion	81.20	0.74	1191.30	10.80	1670.10	15.14	3829.70	34.71	4262.32	38.63
强度侵蚀 Strong erosion	29.62	0.50	403.39	6.86	1017.70	17.30	1599.81	27.20	2831.26	48.14
极强度侵蚀 Intensive erosion	0.25	0.02	39.46	3.91	83.43	8.27	223.14	22.11	663.01	65.69
剧烈侵蚀 Extrem erosion	4.37	3.35	4.40	3.38	11.39	8.73	8.81	6.76	101.40	77.78
土壤侵蚀面积比(%) Area proportion of soil erosion	1.51	12.69	17.64	33.96	34.2					

土壤侵蚀面积 = 剧烈侵蚀 + 极强度侵蚀 + 强度侵蚀 + 中度侵蚀 + 轻度侵蚀

5 结论与讨论

本研究根据通用水土流失方程的基本原理,结合三峡库区(重庆段)的自然环境特征,选择降雨侵蚀力、地形起伏度、土壤可蚀性、植被覆盖等 4 个评价指标,在 GIS 技术的支持下对研究区土壤侵蚀敏感性进行了评价,并比较了土壤侵蚀现状与土壤侵蚀敏感性的关系。结果表明,研究区土壤侵蚀敏感性以高度敏感、中度敏感和极敏感为主,轻度敏感和不敏感比例相对较小。空间分布具有水平地域特征,东北部最为敏感、西部最不敏感。研究区土壤侵蚀现状与土壤侵蚀敏感性分布总体上是一致的,表明降雨、地形起伏、土壤可蚀性以及自然植被状况等自然因素对土壤侵蚀的分布有着重要影响,但在局部地区土壤侵蚀现状与侵蚀敏感性并不完全一致。这主要是由于人类不合理的干扰活动造成的。土壤侵蚀现状是自然因子和人为因子综合作用的结果,自然因素是土壤侵蚀发生、发展的潜在条件,而人类活动是土壤侵蚀发生、发展或减弱的主导因素。人类活动改变自然因子的特性,导致土壤侵蚀的发生、发展或使土壤侵蚀减弱,而在自然因子中,植被覆盖受人类活动影响最大。因此,转变不合理的土地利用方式,加强植被的保育和植被生态系统的重建是防治土壤侵蚀的关键环节。

References:

- [1] Zhang S, Zhu C. Soil loss and its effect on flooding catastrophe in Yangtze Drainage Basin. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2001, 15(6): 9—13.
- [2] Gu S Z, Hou W L. Countermeasure of water and soil erosion in upper reaches of Changjiang River. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2000, 9(2): 260—264.
- [3] Zhou T G, Zhang Q L. Factors contributing to soil erosion in upper reaches of the Changjiang River — Taking Chenkou County as An Example. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2004, 13(1): 89—93.
- [4] Wu J G, Huang J H, Han X G, *et al.* Three-Gorges dam-experiment in Habitat Fragmentation? *Science*, 2003, 300: 1239—1240.
- [5] Zhan X G, Tan D B, Zhu Y Q, *et al.* Research on rapid and dynamical supervising 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.
- [6] Liao X Y, Chen Z J, Liu S Q, *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.
- [7] Fu T, Ni J P, Wei C F, *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.
- [8] Li H W, Peng B Z. 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.
- [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.
- [10] Shi Z H, Cai C F, Ding S W, *et al.* Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: A case study in the Three Gorge Area of China. Catena, 2004, 55: 33—48.
- [11] Renard K G, Foster G R, Weesies G A, *et al.* Predicting Soil Erosion by water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). Agricultural Handbook No. 537. Washington: United States Department of Agriculture, 1997.
- [12] Wang X D, Zhong X H, Fan J R. Assessment and spatial distribution of sensitivity of soil erosion in Tibet. Journal of Geographical Sciences, 2003, 14(1): 41—46.
- [13] Yu X X, Yang G S. Advances in research on evaluating the factors of universal soil Loss Equation. Journal of Natural Disasters, 2003, 12(3): 14—18.
- [14] Wang G, Wentz S, Gertner G Z, *et al.* Improvement in mapping vegetation cover factor for the universal soil loss equation by geostatistical methods with Landsat Thematic Mapper images. International Journal of Remote Sensing, 2002, 23(18): 3649—3667.
- [15] Matthew J C, Keith D S, Markus G W. Empirical reformulation of the universal soil loss equation for erosion risk assessment in a tropical watershed. Gederma, 2005, 124: 235—252.
- [16] Nearing M A, Jetten V, Baffaut C, *et al.* Modeling response of soil erosion and runoff to changes in precipitation and cover. Catena, 2005, 61: 131—154.
- [17] Nunes J P, Seixas J. Impacts of extreme rainfall events on hydrological soil erosion patterns?: application to a Mediterranean watershed. World Resource Review, 2004, 15(3): 336—351.
- [18] Zhou F J, Chen Mi H, Lin F X. The rainfall erosivity index in Fujian Province. Journal of Soil and Water Conservation, 1995, 9(1): 13—18.
- [19] Yang Z S. Soil erosibility factor of sloping cultivated land in the Northeast Mountain Region of Yunnan Province. Journal of Mountain Science, 1999, 17(Sup): 10—15.
- [20] Yang Z S. Study on soil Loss Equation of Cultivated Slope land in Northeast Mountain Region of Yunnan Province. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1999, 19(1): 1—9.
- [21] Tang X H, Wang C J. Assessment of soil erosion sensitivity in Fujian Province. Journal of Fujian Normal University (Natural Science Edition), 2006, 22(4): 1—4.

参考文献:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] 周廷刚, 张其良. 长江上游水土流失成因及治理模式研究——以重庆市城口县为例. 长江流域资源与环境, 2004, 13(1): 89—93.
- [5] 詹小国, 谭德宝, 朱永清, 等. 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] 廖小勇, 陈治谏, 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] 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] 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] 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.
- [13] 于兴修, 杨桂山. 通用水土流失方程因子定量研究进展与展望. 自然灾害学报, 2003, 12(3): 14—18.
- [18] 周伏建, 陈明华, 林福兴. 福建省降雨侵蚀力指标 R 值. 水土保持学报, 1995, 9(1): 13—18.
- [19] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤可蚀性因子. 山地学报, 1999, 17(增刊): 10—15.
- [20] 杨子生. 滇东北山区坡耕地土壤流失方程研究. 水土保持通报, 1999, 19(1): 1—9.
- [21] 汤小华, 王春菊. 福建省土壤侵蚀敏感性评价. 福建师范大学学报(自然科学版), 2006, 22(4): 1—4.