

文章编号: 1008-2786-(2011)3-306-06

基于遥感技术的三峡库区土壤侵蚀量评估 及影响因素分析

范建容¹, 刘 飞^{1,2}, 郭芬芬^{1,2}, 张怀珍^{1,2}

(1 中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川 成都 610041; 2 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘 要: 基于遥感和地理信息系统技术, 利用修正通用土壤流失方程对三峡库区的土壤侵蚀进行定量评估, 并进一步分别利用 MODIS、TRMM 遥感数据对其变化影响的主要因子植被覆盖和降雨侵蚀力变化进行了分析。结果表明: 2005 年土壤侵蚀总量为 $11\,979.19 \times 10^4 \text{ t}$, 平均土壤侵蚀模数为 $2\,087 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 与 2000 年土壤侵蚀模数 $2\,381 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 相比, 减少了 $294 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。库区东部长江两岸大部分地区植被出现增长趋势, 位于研究区边缘附近植被变化不明显; 库区降雨侵蚀力总体呈增加趋势, 同时降雨侵蚀力年际变化存在较明显的空间差异性。

关键词: 三峡库区; 土壤侵蚀量; 植被覆盖; 降雨侵蚀力

中图分类号: S157, TP79

文献标识码: A

三峡库区是一个特定的现代地理空间范畴, 其生态环境备受世人关注, 土壤侵蚀是这一地区最为严重的生态问题。土壤侵蚀导致大量泥沙进入库区, 会使水库的死库容及部分有效库容寿命大大缩短^[1]。张生等^[2]认为水土流失已成为引发和加剧长江洪灾的重要因素。若没有快速的监测和及时的防治措施, 库区的水土流失一方面会大大缩短三峡电站的运行寿命, 一方面会对长江防洪工作产生消极影响, 给经济和社会带来严重后果。

修正通用土壤流失方程 RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) 模型是美国通用土壤流失方程 USLE (Universal Soil Loss Equation) 的修正版本^[3-4], 是目前世界上应用最广泛的水蚀预报经验模型^[5]。本文基于遥感和地理信息系统技术, 利用修正通用土壤流失方程对三峡库区的土壤侵蚀量进行评估。短时期内, 库区地形、土壤无明显变化, 对土壤侵蚀影响较大的是植被覆盖和降雨变化, 而相关研究甚少, 利用遥感数据分析整个库区的植被覆

盖变化及降雨侵蚀力的变化研究未见报道。

1 研究区概况与数据源

1.1 研究区概况

三峡库区是指三峡大坝建成后受回水影响的水库淹没区和移民搬迁安置所涉及的区域, 位于长江上游的下段, 东迄湖北宜昌市, 西至重庆市, 沿长江狭长分布, 是长江经济带的重要组成部分。库区地处四川盆地与长江中下游平原的结合部, 跨越鄂中山区峡谷及川东岭谷地带, 北屏大巴山麓、南依云贵高原北缘。研究区为三峡库区汇流入长江的流域区域, 流域面积 $57\,387.32 \text{ km}^2$, 以山地为主, 占总面积的 74%, 丘陵占 22%, 平原或坝地仅占 4%。出露的主要岩石为碳酸盐岩、紫色砂岩、泥岩。紫色砂岩、泥岩多呈互层状, 较易风化, 且遇水软化, 同时强度严重降低。气候属亚热带湿润季风气候, 全年温暖湿润、四季分明、热量丰富、雨量充沛、无霜期

收稿日期 (Received date): 2011-01-05。

基金项目 (Foundation item): 中国科学院西部行动计划项目 (K2CX2-X132-07-04)。[Supported by the Action-plan Program for west Development of Chinese Academy of Sciences (K2CX2-X132-07-04).]

作者简介 (Biography): 范建容 (1969-), 女, 汉族, 四川省井研县人, 博士, 副研究员, 主要从事遥感与地理信息系统应用及山地土壤侵蚀、荒漠化等生态问题的研究。[Fan Jianrong (1969-), female, PH. D., Associate Professor, major in technologies of remote sensing, GIS and their applications for soil erosion and desertification.] E-mail: fjrong@imde.ac.cn

长,具有多种作物终年生长的气候特征。年平均气温 13.1~18.6℃,年平均降雨量 1 000~1 400 mm,且降水集中,4—10 月的降水量在宜昌等地占全年降水量的 85%,且多以暴雨形式出现,年均日降水量 ≥50 mm 的暴雨日数为 2~3 d。由于本区未受第四纪冰川侵袭,植物资源极为丰富,据调查有 2 859 种,且多属珍稀种属;天然植被受人为破坏较严重,亚热带常绿阔叶林仅在陡坡沟谷中有少量分布。在低山丘陵、沿江河谷大量存在的是近几十年人工营造的以马尾松、柏木、杉木、栎类为主,中山以华山松、日本落叶松为主的人工林群落。该区经济林植被十分发达,以柑桔、脐橙、甜柚、油桐、乌桕、茶叶、杜仲、黄蘗、厚朴、板栗、猕猴桃、五倍子等为主要林特产品。

1.2 数据源

针对 RUSLE 模型的 5 个因子,收集了三峡库区的土壤、DEM、降雨以及相关遥感影像等数据。其中,土壤数据包括表层土壤的颗粒组成与有机质含量;DEM 为 30 m 分辨率数据;降雨包括库区气象站的日降雨数据和测雨卫星 TRMM 数据,测雨卫星数据为根据 TRMM 3B42 综合降水评估算法得到的 2000 年至 2008 年系列数据,时间分辨率为 3 h,空间分辨率为 0.25°。遥感影像数据包括 2000 年和 2005 年 ETM 和 TM 遥感数据(分辨率 15 m、20 m),MODISndvi 数据(分辨率 250 m)。2000 年和 2005 年的土地利用数据由遥感影像经人机交互解译获得。并通过野外考察以及前人研究成果,了解了研究区的土地种植制度、农田经营与水土保持措施等实际情况。在此基础上,建立了三峡库区的流域环境背景数据库。

2 土壤侵蚀量估算

2.1 评估模型

采用修正通用土壤流失方程(RUSLE),它是目前世界上应用最广泛的水蚀预报经验模型,其基本形式如下

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

式中 A 为年平均土壤流失量(t/hm^2), R 为降雨侵蚀因子($MJ \cdot mm/(hm^2 \cdot h)$), K 为土壤可蚀性因子($t \cdot h/(MJ \cdot mm)$), LS 为坡度坡长因子, C 为植被覆盖因子, P 为水土保持措施因子,包括工程措施和耕作措施因子。

2.2 模型各因子的计算

2.2.1 土壤可蚀性因子 K 值估算

土壤可蚀性研究方法大体可归纳为土壤理化性质测定法、仪器测定法、小区观测法、数学模型和图解法、水动力学模型求解法五种。前两种方法只能作为对土壤特性的研究,没有将可蚀性指标与土壤侵蚀直接联系起来,所得结果只是不同类型土壤对侵蚀敏感性某程度的反应,而且指标值随试验设计有明显差异,所以不能用于土壤侵蚀评价。后三种方法能直接用于侵蚀预报,其中第三种方法是基础,但实验费用很高。第四种方法测定容易,所得结果也比较稳定,便于应用。第五种方法用于土壤侵蚀过程模型,但方法还不够成熟,有待于进一步研究。

研究采用第四种方法,即数学模型法,利用 1990 年 Williams 等人在侵蚀-生产力影响评价模型(EPIC)中发展形成的土壤可蚀性因子 K 值计算公式^[6]

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256SAN(1 - SIL/100)]\} [SIL/(CLA + SIL)]^{0.3} \{1.0 - 0.025C/[C + \exp(3.72 - 2.95C)]\} \{1.0 - 0.7SN1/[SN1 + \exp(-5.51 + 22.9SN1)]\} \quad (2)$$

式中 SAN 、 SIL 、 CLA 和 C 是砂粒、粉粒、粘粒和有机碳含量(%), $SN1 = 1 - SAN/100$ 。研究区土壤可蚀性因子分布见图 1。

2.2.2 降雨侵蚀力因子 R 值估算

章文波等^[7]对利用年平均降雨量、月平均降雨量、逐年年雨量、逐年月雨量及逐年日雨量等 5 种代表性雨量资料估算降雨侵蚀力的结果进行对比分析,以日雨量模型计算侵蚀力的精度最高。USLE 中降雨侵蚀力指标是以次降雨总动能 E 与 30 min 最大雨强 I_{30} 的乘积 EI_{30} 为基础进行计算的。由于次降雨过程观测资料很难获取,在利用日雨量资料估算降雨侵蚀力时,采用以半月时段为步长,对日雨量资料进行合并后进行计算的降雨侵蚀力的简易算法模型如下^[5]

$$M_i = \alpha \sum_{j=1}^k (D_j)^\beta \quad (3)$$

式中 M_i 为第 i 个半月时段的侵蚀力值($mj \cdot mm/(hm \cdot h)$); k 为该半月时段内的天数; D_j 为半月时段内第 j 天的侵蚀性日降水量(日降水量 ≥ 10 mm),否则以 0 计算; α 和 β 为模型待定参数,利用日雨量参数估计模型参数 α 和 β 的公式

$$\beta = 0.8363 + 18.144 \cdot P_{d10}^{-1} + 24.455 \cdot P_{y10}^{-1} \quad (4)$$

$$\alpha = 21.586 \cdot \beta^{-7.1891} \quad (5)$$

式中 P_{d10} 为日降水量 ≥ 10 mm 的日平均降水量 (mm), P_{y10} 为日降水量 ≥ 10 mm 的年平均降水量 (mm)。对年内 24 个半月时段侵蚀力求和便得到年降雨侵蚀力。

利用测雨卫星 TRMM 数据结合库区气象站的日降雨数据, 计算得到研究区年降雨侵蚀力分布见图 2。

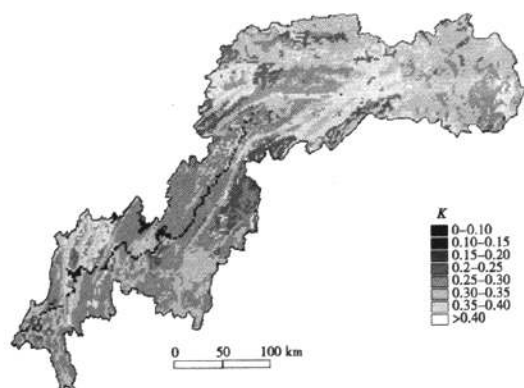


图 1 三峡库区土壤可蚀性 K 值图

Fig. 1 The map of soil erodibility in Three Gorges Reservoir area

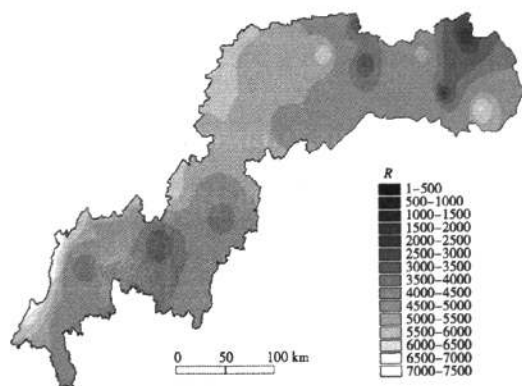


图 2 三峡库区降雨侵蚀力 R 值图

Fig. 2 The map of rainfall erosivity in Three Gorges Reservoir area

2.2.3 坡度坡长因子 LS 估算

坡度坡长因子反映地形地貌特征对土壤侵蚀的影响, 表示其他因子相同时, 一定坡度坡长的坡面上, 土壤流失量与标准径流小区典型坡面土壤流失量的比值。选取 Desmet 等提出的以基于不规则坡面的坡度坡长因子算法^[8], 其计算公式为

$$LS = (f \cdot g / 22.1)^{0.6} \cdot (\sin(slope) / 0.09)^{1.3} \quad (6)$$

式中 f 为利用 ArcGIS 计算得到的汇流累积栅格图层, g 为栅格图层分辨率, $slope$ 为坡度 (弧度)。研究区坡度坡长因子分布见图 3。

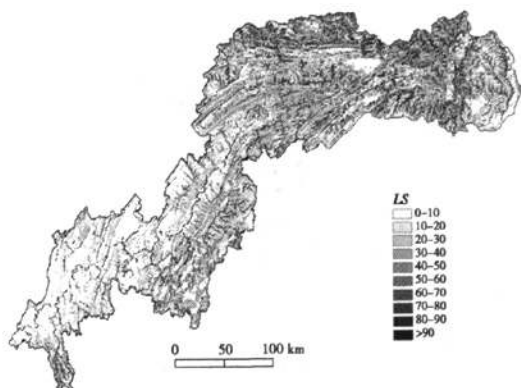


图 3 三峡库区坡度坡长因子 LS 值图

Fig. 3 The map of LS value in Three Gorges Reservoir area

2.2.4 植被覆盖因子 C 和水土保持措施因子 P 的估算

植被覆盖因子 C 是在相同的土壤、坡度和降雨条件下, 某一特定作物或植被情况时的土壤流失量与耕种过后连续休闲地的土壤流失量的比值。水土保持因子 P 是采取水保措施后, 土壤流失量与顺坡种植时的土壤流失量的比值, 其值均变化于 0 ~ 1 间。对于 C 而言, 基本没有土壤侵蚀危险的地区被赋予 0; 1 值被赋给那些最容易受到侵蚀的地区, 如裸地; 而对于 P 而言, 0 值代表无侵蚀地区; 1 值则用于表示未采取任何水保措施的地区。根据土地利用现状图和当地农田经营情况调查, 参考前人研究结果^[9-12], 按表 1 确定 C 值和 P 值。土地利用图由 Landsat TM 影像获取, 利用表 1 计算得到三峡库区 C 因子与 P 因子乘积值, 见图 4。

2.3 三峡库区土壤侵蚀估算结果

三峡库区流域面积 57 387.32 km², 2005 年土壤侵蚀总量 11 979.19 × 10⁴ t, 平均土壤侵蚀模数为 2 087 t/(km² · a), 土壤侵蚀分布见图 5。2000 年土壤侵蚀总量 13 588.95 × 10⁴ t, 平均土壤侵蚀模数为 2 381 t/(km² · a)。与 2000 年相比, 2005 年减少了 294 t/(km² · a)。土壤侵蚀较严重的地区主要分布在三峡库区中部的开县、云阳、奉节、巫山, 其次是涪陵、丰都、忠县、万州秭归等县区。

表1 不同土地利用类型C因子和P因子值

Table1 Factors C and P of different land use types in Three Gorges reservoir area

因子	土地利用类型										
	水田	旱地	有林地	疏林地	其他林地	高覆盖 度草地	中覆盖 度草地	低覆盖 度草地	水域	居民点 建设用地	裸岩
C	0.12	0.31	0.006	0.02	0.05	0.02	0.03	0.04	0	0	0
P	0.01	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

3 土壤侵蚀变化影响因子分析

在三峡库区较短的一定时期内,地形、土壤变化无明显变化,对土壤侵蚀影响较大的是植被覆盖和降雨变化。由于土地利用发生改变及采取的生态建设水土保持措施导致植被覆盖的变化,其次是降雨变化,并由此引起降雨侵蚀力发生变化(图4~7)。

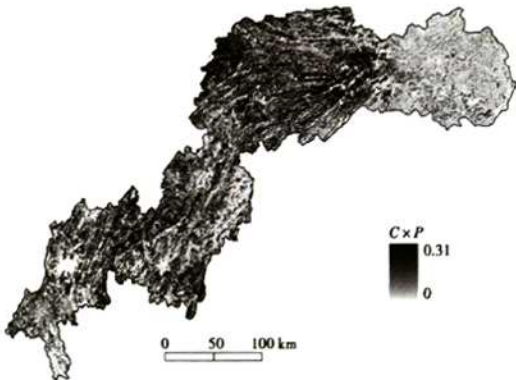


图4 2005年三峡库区C因子与P因子乘积值
Fig. 4 The product value of factors C and P in Three Gorges Reservoir area in 2005

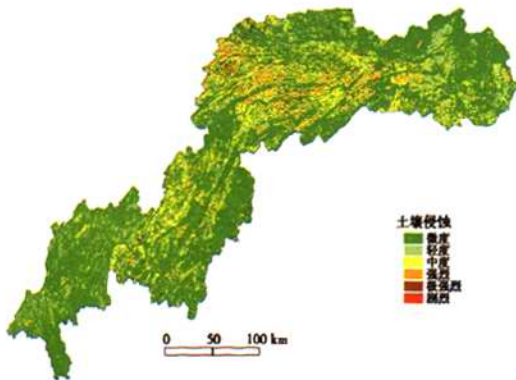


图5 三峡库区2005年土壤侵蚀图
Fig.5 Spatial distribution map of soil erosion degrees in Three Gorges Reservoir area in 2005

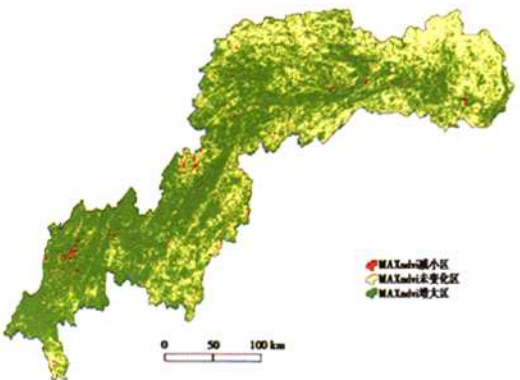


图6 三峡库区植被覆盖变化趋势图
Fig.6 Trend map of vegetation coverage change in Three Gorges Reservoir area

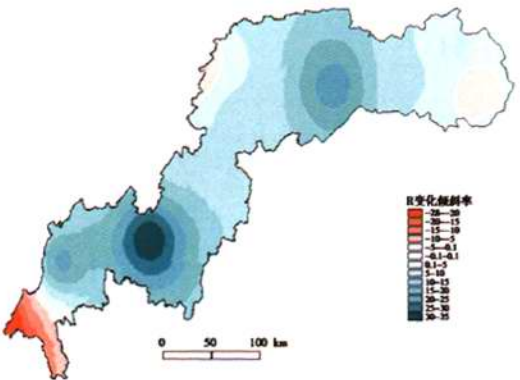


图7 三峡库区降雨侵蚀力变化趋势图
Fig.7 Trend map of rainfall erosivity change in Three Gorges Reservoir area

3.1 植被覆盖变化趋势

利用2000年到2008年的MODIS植被指数产品,空间分辨率250 m,每年24期,从中提取每年每个像元的植被指数最大值MAXndvi,发现研究区内各年份的MAXndvi总体呈增长趋势。为了更加直观的反映研究区植被的年际变化,依据一元线性回归原理计算得到多年MAXndvi的变化倾斜率b值

图,见图6。 $b > 0$ 表示9a中MAXndvi呈增长趋势; b 位于0附近说明9a内MAXndvi变化不明显。 $b < 0$ 表示9a中MAXndvi呈减少趋势。由图5可以看出,由于城镇扩建,城镇及其附近 **b** 值出现少量负值,以江北区和忠县较明显;研究区的西部地区 **b** 多为正值,植被呈现增长趋势。研究区东部长江两岸大部分地区植被出现增长趋势,位于研究区边缘附近植被变化不明显。

3.2 降雨侵蚀力变化趋势

利用1960年代至2008年的年降雨侵蚀力R值图计算生成长江上游近40a的降雨侵蚀力变化趋势图,从图7中可以看出三峡库区降雨侵蚀力总体呈增加趋势,同时降雨侵蚀力年际变化存在较明显的空间差异性。重庆市渝中区、江北区、涪陵区、长寿区以及奉节县降雨侵蚀力均有明显的增强,江津区、宜昌市以及开县西北部均表现出减少趋势,其余地方降雨侵蚀力有所增强但不明显。

4 结论

利用遥感技术结合GIS空间分析功能,能快速实现土壤侵蚀量评估,并实现短期影响因子变化分析,对三峡库区土壤侵蚀量评估及其变化影响因子分析结论如下:

1. 2005年土壤侵蚀量相较2000年有所降低。2005年土壤侵蚀总量为 $11\,979.19 \times 10^4 \text{ t}$,平均土壤侵蚀模数为 $2\,087 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$,与2000年土壤侵蚀模数 $2\,381 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 相比,2005年减少了 $294 \text{ t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。

2. 库区植被覆盖总体呈增加趋势。城镇及其附近植被覆盖出现少量减少,以江北区和忠县较明显;研究区的西部地区植被呈现增长趋势。研究区东部长江两岸大部分地区植被出现增长趋势,位于研究区边缘附近植被变化不明显。

3. 库区降雨侵蚀力总体呈增加趋势,同时降雨侵蚀力年际变化存在较明显的空间差异性。重庆市渝中区、江北区、涪陵区、长寿区以及奉节县降雨侵蚀力均有明显的增强,江津区、宜昌市以及开县西北部均表现出减少趋势,其余地方降雨侵蚀力有所增强但不明显。

参考文献(References)

- [1] Huang Runquan, Yuan Chuanwu. Discuss about the affection of soil erosion in the upper reaches of Yangtze River on Three Gorges Pro-

ject [J]. Hubei Forestry Science and Technology, 1999, 110(4): 34-37[黄闰泉,袁传武.长江上游水土流失对三峡工程的影响之探讨[J].湖北林业科技,1999,110(4):34-37]

- [2] Zhang Sheng, Zhu Cheng. Soil loss and its effect on flooding catastrophe in Yangtze drainage basin[J]. 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[J].水土保持学报,2001,15(6):9-13]
- [3] 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, United States Department of Agriculture, Washington: 1997, 105-107
- [4] Wang Dongchuan, Lu Yudong. Development of soil erosion models abroad [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2004, 2(2): 35-40[汪东川,卢玉东.国外土壤侵蚀模型发展概述[J].中国水土保持科学,2004,2(2):35-40]
- [5] Li Wenhong, Liu Huiping. Advance of GIS applications in research of soil erosion [J]. Science of Soil and Water Conservation, 2003, 1(3): 89-94[李文航,刘慧平. GIS在土壤侵蚀分析中的应用研究进展.中国水土保持科学,2003,1(3):89-94]
- [6] Williams J R, Sharply A N. EPIC - erosion/productivity impact calculator 1. Model Documentation, Technical Bulletin Number 1768 [M]. Washington, D. C: USDA - ARS, 1990: 8-9
- [7] Zhang Wenbo, Fu Jinsheng. Rainfall erosivity estimation under different rainfall amount [J]. Resources Science, 2003, 25(1): 35-41[章文波,付金生.不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[J].资源科学,2003,25(1):35-41]
- [8] Desmet P J, Govers G. A GIS procedure for the automated calculation of the USLE LS factor on topographically complex landscape units [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1996, 51: 427-433
- [9] Cai Chongfa, Ding Shuwen, Shi Zhihua, et al. Study of applying USLE and geographical information system IDRISI to predict soil erosion in small watershed [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2000, 14(2): 19-24[蔡崇法,丁树文,史志华,等.应用USLE模型与地理信息系统IDRISI预测小流域土壤侵蚀量的研究[J].水土保持学报,2000,14(2):19-24]
- [10] You Songcai, Li Wenqing. Estimation of soil erosion supported by GIS: A case study in Guanji township, Taihe, Jiangxi [J]. Journal of Natural Resources, 1999, 14(1): 62-68[游松财,李文卿. GIS支持下的土壤侵蚀量估算——以江西省泰和县灌溪乡为例[J].自然资源学报,1999,14(1):62-68]
- [11] Wang Wanzhong, Jiao Juying. Quantitative evolution on factors influencing soil erosion in China [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1996, 16(5): 12-20[王万忠,焦菊英.中国的土壤侵蚀因子定量评价研究[J].水土保持通报,1996,16(5):12-20]
- [12] Liu Aixia, Wang Jing, Liu Zhengjun. Remote sensing quantitative monitoring of soil erosion in Three Gorges Reservoir area: a GIS/RUSLE-based research [J]. Journal of Natural Disasters, 2009, 18(4): 25-30[刘爱霞,王静,刘正军.三峡库区土壤侵蚀遥感定量监测[J].自然灾害学报,2009,18(4):25-30]

Soil Erosion Assessment and Cause Analysis in Three Gorges Reservoir Area Based on Remote Sensing

FAN Jianrong¹, LIU Fei^{1,2}, GUO Fenfen^{1,2}, ZHANG Huaizhen^{1,2}

(1. Institute of Mountain Hazards and Environment, Chinese Academy of Sciences & Ministry of Water Conservancy, Chengdu 610041, China;

2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: Based on remote sensing (RS) and geographic information system (GIS), this paper employed the revised universal soil loss equation (RUSLE) to assess quantitatively the soil erosion amount in Three Gorges Reservoir Area. Furthermore, we applied the MODIS and TEMM datasets to analyze the most primary factors, which affected the erosion results in short period, the vegetation coverage and rainfall erosivity. The results were as follows: 1) the total amount of soil erosion in this area was $11\,979.19 \times 10^4$ t in 2005, and the average annual modulus of soil erosion was $2\,087$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in 2005 reduced by 294 t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) compared with the $2\,381$ t/($\text{km}^2 \cdot \text{a}$) in 2000; 2) for the great proportion in east region and the beach of Yangtze river, the vegetation coverage increased, but the edge of reservoir area was non-significant; 3) on the whole, the rainfall erosivity had being increased, and the spatial characteristics of annual rainfall erosivity was very obvious.

Key words: Three Gorges Reservoir Area; soil erosion amount; vegetation coverage; rainfall erosivity

作者: 范建容, 刘飞, 郭芬芬, 张怀珍, FAN Jianrong, LIU Fei, GUO Fenfen, ZHANG Huaizhen
作者单位: 范建容, FAN Jianrong (中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川, 成都, 610041), 刘飞, 郭芬芬, 张怀珍, LIU Fei, GUO Fenfen, ZHANG Huaizhen (中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所, 四川, 成都, 610041中; 国科学院研究生院, 北京, 100049)
刊名: 山地学报 ISTIC PKU
英文刊名: JOURNAL OF MOUNTAIN SCIENCE
年, 卷(期): 2011, 29 (3)
被引用次数: 3次

参考文献(12条)

1. 黄闰泉;袁传武 长江上游水土流失对三峡工程的影响之探讨 1999 (04)
2. 张生;朱诚 长江流域水土流失及其对洪灾的影响[期刊论文]-水土保持学报 2001 (06)
3. Ranard K G;Foster G R;Weesies G A Predicting Soil Erosion by Water:A Guide te Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation(RUSLE), Asricultural Handbook No. 537 1997
4. 汪东川;卢玉东 国外土壤侵蚀模型发展概述[期刊论文]-中国水土保持科学 2004 (02)
5. 李文航;刘慧平 GIS在土壤侵蚀分析中的应用研究进展[期刊论文]-中国水土保持科学 2003 (03)
6. Williams J R;Sharply A N EPIC-erosion/productivity impact calculator 1. Model Documentation, Technical Bulletin Number 1768 1990
7. 章文波;付金生 不同类型雨量资料估算降雨侵蚀力[期刊论文]-资源科学 2003 (01)
8. Desmet P J;Govern G A GIS procedure for the automated calculation of the USLE LS factor on topographically complex landscape units[外文期刊] 1996 (5)
9. 蔡崇法;丁树文;史志华 应用USLE模型与地理信息系统IDR ISI预测小流域土壤侵蚀量的研究[期刊论文]-水土保持学报 2000 (02)
10. 游松财;李文卿 GIS支持下的土壤侵蚀量估算—以江西省泰和县灌溪乡为例[期刊论文]-自然资源学报 1999 (01)
11. 王万忠;焦菊英 中国的土壤侵蚀因子定量评价研究 1996 (05)
12. 刘爱霞;王静;刘正军 三峡库区土壤侵蚀遥感定量监测[期刊论文]-自然灾害学报 2009 (04)

本文读者也读过(10条)

1. 范建容, 柴宗新, 刘淑珍, 陶和平, 高攀 基于RS和GIS的四川省李子溪流域土壤侵蚀动态变化[期刊论文]-水土保持学报2001, 15 (4)
2. 郑小波, 罗宇翔, 陈娟, 周成霞 贵州MODIS植被叶面积指数对山地气候的响应[会议论文]-2010
3. 喻铮铮, 吴国玺, 刘良云 基于RS的区域植被景观格局研究[期刊论文]-安徽农业科学2011, 39 (12)
4. 柴宗新, 范建容 长江上游未来50年水土流失变化预测[期刊论文]-自然灾害学报2001, 10 (4)
5. 童庆禧 求索人生奉献无限——沉痛悼念陈述彭先生[期刊论文]-遥感学报2009, 13 (1)
6. 范建容, 刘淑珍, 钟祥浩, 李勇 金沙江干热河谷土地荒漠化评价方法研究[期刊论文]-地理科学2002, 22 (2)
7. 陈述彭 地球信息科学的全新之作——《地球信息科学导论》序言[期刊论文]-测绘科学2007, 32 (3)
8. 李登科 陕北黄土高原丘陵沟壑区植被覆盖变化及其对气候的响应[会议论文]-2010
9. 王小丹, 钟祥浩, 范建容 西藏水土流失敏感性评价及其空间分异规律[期刊论文]-地理学报2004, 59 (2)
10. 陈述彭 中巴地球资源卫星数据的推广应用[期刊论文]-地球信息科学2008, 10 (3)

引证文献(3条)

1. [赵维军](#), [朱清科](#), [马欢](#), [姚文俊](#), [刘蕾蕾](#), [王瑜](#) [不同抽样比例的土壤侵蚀因子调查精度比较](#)[期刊论文]-[西北林学院学报](#) 2013(3)
2. [赵岩洁](#), [李阳兵](#), [冯永丽](#) [三峡库区紫色岩小流域土壤侵蚀强度动态监测](#)[期刊论文]-[资源科学](#) 2012(6)
3. [黄凤琴](#), [第宝锋](#), [黄成敏](#), [谭琼](#) [基于日降雨量的年均降雨侵蚀力估算模型及其应用——以四川省凉山州为例](#)[期刊论文]-[山地学报](#) 2013(1)

本文链接: http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_sdx201103007.aspx