

丹江口库区西河小流域水土流失定量遥感监测研究

张锦凰¹, 刘丹强², 姜小三³, 卞新民¹

(1. 南京农业大学 农学院, 南京 210095;

2. 商南县水务局, 陕西 商南 726300; 3. 南京农业大学 资源环境信息工程中心, 南京 210095)

摘要:研究选用中国科学院南京土壤研究所卜兆宏水土流失定量监测模型 QRSM, 应用“3S”技术, 选用高分辨率 1:1 万地形图和 ALOS 遥感数据, 将影响水土流失的各因子值可精确计算到每个像元, 以丹江口库区西河小流域为重点试验研究区在长江上游地区进行了研究。对模型各因子计算进行了误差处理和参数调整, 并对 QRSM 模型中雨量预报 PI 算法与 USLE 模型经典算法 EI 两种不同算法得出的 R 值进行了精度对比, 结果表明 PI 算法雨量预报准确率达到 86.2%。监测结果得出, 西河小流域水土流失面积 1 901.00 hm^2 , 占总面积的 48.4%, 其中轻度流失面积 685.64 hm^2 , 中度流失面积 253.86 hm^2 , 强度流失面积 428.16 hm^2 , 极强度流失面积 450.04 hm^2 , 剧烈流失面积 83.30 hm^2 , 分别占流失总面积的 36.1%, 13.4%, 22.5%, 23.7%, 4.3%。流域内年土壤侵蚀总量为 10 350 t, 侵蚀模数为 2 633 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$, 属中度水土流失类型区。流域的北部是治理区, 南部是对照区, 北部治理区水土流失面积降低到了 15% 以下。选择侵蚀程度严重的马槽沟子流域, 通过模型监测水土流失量与实测泥沙量数据比较, 模型水土流失预报精度高达 89.6%。该研究将监测模型推广应用到长江流域上游地区, 对逐步实现对长江流域水土流失的监测预报具有前瞻性, 并对其它小流域也有一定的理论参考和实践推广示范及技术支撑等价值。

关键词:水土流失; 定量遥感; 监测; 西河小流域

中图分类号: S127

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2015)03-0067-06

Study on Soil Erosion Monitoring of Xihe Small Watershed in Danjiangkou Reservoir Based on the Technique of Quantitative Remote Sensing

ZHANG Jinhuang¹, LIU Danqiang², JIANG Xiaosan³, BIAN Xinmin¹

(1. College of Agronomy, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. Water Management Bureau of Shangnan County, Shangnan, Shaanxi 726300, China;

3. Center of Resources and Environment Information Engineering, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: In this study, quantitative monitoring of soil erosion model QRSM developed by Bu Zhaohong of Nanjing Institute of Soil Science was used to precisely calculate the values of each factor of soil erosion of each monitoring pixel in Xihe small watershed of Danjiangkou reservoir on the upper reaches of Yangtze River through the support of 3S technologies, the high-resolution 1:10 000 topographic maps and ALOS remote sensing data. The study addressed the error and adjusted the parameters about calculation each factor of the model, and compared precision of values of R of two different algorithms of the results between PI algorithms of QRSM model rainfall forecast and EI classical algorithms of USLE model. The results showed that forecast accuracy was 86.2% of PI algorithm of the rainfall. The results also showed that the area of soil erosion in Xihe small watershed was 1 901.00 km^2 , accounting for 48.4% of the total area, the mild erosion area was 685.64 hm^2 , moderate loss area was 253.86 hm^2 , severe loss area was 428.16 hm^2 , intensely severe loss area was 450.04 hm^2 , severe loss extremely area was 83.30 hm^2 , accounting for 36.1%, 13.4%, 22.5%, 23.7%, 4.3% of the total area of the valley, respectively. The total amount of soil erosion in the watershed was 10 350 t, erosion modulus was 2 633 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$. It was the moderate erosion area. The northern area of the watershed is the control part and the southern area is the comparison part, the soil erosion area of northern

收稿日期: 2015-01-21

修回日期: 2015-03-25

资助项目: 水利部长江水利委员会“长江流域上游土壤侵蚀定量计算检测方法研究”(2009112803)

第一作者: 张锦凰(1970—), 男, 陕西榆林人, 高级讲师, 博士研究生, 研究方向: 生态农业。E-mail: zhangbs8228@126.com

通信作者: 卞新民(1951—), 男, 江苏东台人, 教授, 博士生导师, 主要从事农业生态研究。E-mail: bxjml@163.com

姜小三(1967—), 男, 江苏泰州人, 教授, 博士生导师, 主要从事资源环境信息系统研究。E-mail: xsjiang@163.com

control part reduced to less than 15%. Macaogou watershed with severe soil erosion was selected as the case, the soil erosion prediction accuracy of this model was up to 89.6% with respect to the comparison of the data of soil erosion sediment obtained from the monitoring model and the measured data in this watershed. The monitoring model will be extended and applied to the upper reaches of the Yangtze River. It has a forward-looking in terms of soil erosion monitoring and forecast in the upper reaches of the Yangtze River, and has certain theoretical reference and practical demonstration and promotion of technical support and other value for the other small watersheds.

Keywords: soil and water loss; quantitative remote sensing; monitoring; Xihe small watershed

水土资源是立国之本,是人类赖以生存和发展的最基本物质基础,我国是世界上水土流失最严重的国家之一。长江是中国第一大河,丹江口库区是南水北调主要水源地,丹江口库区水土流失综合治理主要在秦巴山区,总面积 9.52 万 km²,水土流失面积 5.07 万 km²,对该区进行水土流失综合治理,有助于控制面源污染、涵养库区水源和保护南水北调中线工程良好的水质。在 20 世纪 50 年代我国就开始在小流域建立水土保持综合试验站,现已发展到以小流域为单元开展水土保持综合治理试验示范研究^[1]。小流域综合治理是世界各国治理水土流失、提高流域可持续发展的主要形式。随着地球信息技术的进步,综合运用“3S”技术与水土流失模型有效结合,开展水土流失定量监测研究,已成为水土保持领域的研究热点课题^[2-4]。

美国通用土壤流失方程 USLE 和修订的通用土壤侵蚀计算方程 RUSLE^[5-8]是目前世界上应用最广泛的土壤侵蚀计算方程。80 年代以后我国关于水土流失模型的研究一直是关注的热点与前沿,刘宝元等^[9]根据 USLE 的建模思路,提出中国土壤流失预报方程;江忠善等^[10]利用地理信息系统和水土流失模型相结合的方法进行了水土流失的空间变化定量研究;蔡崇法^[11]依据实地调查资料,建立了典型小流域地理数据库,确定了定量计算通用土壤流失方程 USLE 因子指标的方法;姜小三等^[12]对土壤可蚀性 K 值的计算和 K 值图的制作方法做了进一步的研究。从 1990 年以来,中国科学院南京土壤研究所卜兆宏^[13-14]研究员等在我国南北方水蚀区开展了土壤年流失量及其影响因素的周年实测,建立了符合我国流失实际的监测模型(QRSM)。

1 研究区概况、野外观测站点布设及模型因子计算

1.1 研究区概况

西河小流域位于长江上游丹江口库区商南县,位于东经 110°52′16″—110°55′30″、北纬 33°29′55″—33°33′50″,南北长 7.7 km,东西宽 7.4 km,最高海拔 1 156 m,最低海拔 427 m,相对高差 729 m,总面积

39.31 km²。有 7 个行政村,3 669 户,总人口 9 649 人。该流域位于秦岭南坡余脉低山区,地质、地貌类型属中、低山土石山区,地层主要为奥陶系灰岩及第四系冲洪积卵砾石层。土壤以黄棕壤、风化砂壤土为主,多年平均日照时数 1 974 h,最高气温 40.9℃,最低-12.2℃,年平均气温 14℃,无霜期 216 d,气候温暖,流域内植被乔、灌木品种繁多,主要生长在立地条件较差的陡坡面。

1.2 野外观测站点的布设及数据预处理

1.2.1 雨量站点的布设 在研究区布设 4 个雨量站点,其中马槽沟和鹦鹉沟 2 个站点为商南县气象站代表站,采用雨量自计纸质记录,详细读取自计雨量纸质记录数据,实时记载每天降雨信息资料,在马槽沟和鹦鹉沟附近分别布设 2 个临时雨量观测站,用于降雨侵蚀力因子的精度检验。

1.2.2 水文观测站点的布设 在北部土壤侵蚀比较严重的马槽沟子流域的上下游分别布设 A、B 两个水文观测站,详细监测每一次降雨产生的泥沙量,用来检验水土流失定量监测模型的精度。

1.2.3 资料收集和数据处理 本研究选用 2010 年 ALOS 卫星遥感数据,ALOS 卫星提供 2.5 m 全色和 10 m 多光谱数据,与 1:1 万地形图相结合,应用于 5~30 km² 小流域,可高精度地识别土地类型和地类图斑边,具有更高的分辨率和精度。对其他多种来源、多种类型的各种图件、数据、文字等资料进行一系列必要的预处理。

资料的收集:选用西河小流域 1:1 万地形图三幅,用于数字化等高线、高程点,研究区界线、水系与流域边界,创建研究区数字高程模型,用于提取坡度坡长因子以及精确校正遥感图像。同时收集研究区土地利用图、土壤图与土壤志,用于研究当地土壤可蚀性因子的基础资料。

数据预处理:对收集的地形图、土壤图、土地利用图分别进行扫描、几何配准、地图拼接、全要素矢量化、分层保存管理。对各类数据进行检查、入库,分别保存为 ArcGIS 的 shape、coverage、grid 格式、ERDAS 的

tiff,img 格式、IDRISI 数据的 img 格式和定量监测模型软件的数据格式等,供相关软件运行时调用。

卫星遥感数据处理:选用 2010 年 ALOS 和环境小卫星图像数据资料,用于植被覆盖与水土保持因子以及土地利用解译等方面的研究。ALOS 卫星影像数据包含 4 个光谱波段地表信息,其中第 4,3,2 波段光谱范围为 0.52~0.90 μm,处于地表植被光谱特征范围。对遥感图像进行必要的几何精校正、去除干扰信息、图像增强、信息提取、图像分类和格式转换,依据遥感图像的灰度值细分成 21 类建立训练区,进行监督分类,提取不同植被覆盖度信息,建立在统一的投影与坐标系统。

2 方法原理与土壤侵蚀各因子计算

2.1 研究方法 with 原理

本研究选用水土流失定量遥感监测模型(QRSM,Quantitative Remote Sensing Model),是由中国科学院南京土壤研究所卜兆宏主持的国家自然科学基金委批准资助的“水土流失量监测与防治强度预报的遥感方法研究”项目的总成果及其相关成果^[15-17],该方法在我国 20 万 km²,包括江苏、山东、云

南、江西 UNDP、福建、密云水库流域等,进行了大量的应用研究^[18-20]。水土流失定量遥感方法由其土壤年流失量监测模型、防治强度预报模型、模型各流失因子算式算法及其软件组成。其土壤年流失量 A 的监测模型为:

A_i=f_i\cdot R_i\cdot K_i\cdot SL_i\cdot CP_i\tag{1}

式中:A——年平均失量;R——降雨侵蚀力因子;K——土壤可蚀性因子;SL——地形因子;C——植被覆盖因子;P——水土保持措施因子;i——栅格像元符;f——常数等于 224.2,单位转换为 t/km² 综合常数。

2.2 土壤侵蚀各因子计算方法

2.2.1 降雨侵蚀力 R 值计算及精度评价 本研究在西河小流域布设 4 个雨量站点,其中马槽沟和鹦鹉沟的 2 个雨量为代表观测站,详细读取代表雨量站点逐日逐次降雨自记纸质雨量信息,一般雨量站点按照卜兆宏提出的侵蚀性降雨标准的 3 条原则进行摘读,仅读取一定降雨量或者降雨强度的侵蚀性降雨量。分别用 USLE 模型 R 值经典算法 EI 和 QRSM 模型 R 值 PI 算法计算 2 个代表站点的 R 值。一般站点 R 值的计算,由于没有详细读取一般站点的降雨量数据资料,用代表站点 I₃₀ 年代表值进行新算法计算 R 值(表 1)。

表 1 USLE 模型 R 值经典算法 EI 计算方法与 QRSM 模型 R 值 PI 计算方法比较

| USLE 模型 R 值经典算法 EI 计算方法 | QRSM 模型 R 值 PI 计算方法 |
|---|--|
| $100R=\sum E\cdot I_{30}$ <p>式中:R——次降雨的侵蚀力值[(100·m·t·cm)/(hm²·h)]; E——一次降雨的总动能[(m·t)/hm²]; I₃₀——次降雨最大 30 min 降雨强度(cm/h); 全年每一次降雨某一时段降雨量计算土壤侵蚀力</p> | $R=0.128P_fI_{30B}-0.192I_{30B}$ <p>式中:R——年降雨侵蚀力值(美制习用单位); P_f——汛期雨量(mm); I_{30B}— I₃₀ 的年代表值(cm/h); 乘 17.02—R 值转为中国单位[(MJ·mm)/(hm²·h·a)] 汛期可侵蚀性雨量 P_f 和年 I_{30B} 计算土壤侵蚀力</p> |
| 精度评价:F=1- R _i -R ₀ /R ₀ ×100(F——精度值;R _i ——不同降雨侵蚀力模型计算值;R ₀ ——降雨侵蚀力的基准值) | |

用卜兆宏 QRSM 模型 R 值新算法 PI 模型得出两个代表站点的数据与 USLE 模型 R 值经典算法 EI 模型经典算法得出的数据进行精度对比,研究结果表明 2 个代表站点的平均精度 89.9% 以上,新算法 PI 模型 R 值预报效果与经典算法 EI 模型 R 值的一致性相当高。在 ArcGIS 软件平台下利用 Kriging 模块,用内插外延法,给每个像元 R_i 属性赋值,与数字高程模型 DEM 精确配准后生成 R 值的空间分布图。

从降雨侵蚀力空间分布图分析,2010 年西河小流域降雨侵蚀力北部比南部高,最大值在商南站,为 311.09 (MJ·mm)/(hm²·a·h);最小值在鹦鹉沟,为 244.56 (MJ·mm)/(hm²·a·h);降雨侵蚀力总体上从南到北形成从低到高过渡区域。

2.2.2 粒径制转换与土壤可蚀性因子 K 值计算 西河小流域土壤类型较多,主要有 6 个土类,21 个土

属,将西河小流域土壤类型图进行数字化。依据第二次土壤普查《陕西省土壤志》土壤理化性质资料,运用三次样条插值函数土壤粒径转换,得出土壤机械组成含量,集合实地不同土壤类型的土壤样品分析,重点分析观测小流域土壤可蚀性因子的影响因素。将土壤结构 b 的级别分为 1—4 级,按照黏粒含量,将土壤可蚀性因子 K 值计算公式中 c 划分 6 个等级,计算出土壤可蚀性因子 K 值。

在 ArcGIS 数据平台下,与建立的数字高程模型 DEM 配准求取出各类土壤 K 值,研制出研究区 K 值分布图,借助 ArcGIS 中的空间分析模块 Spatial Analyst 通过空间插值,将各个土壤样点的数据应用地统计学方法,对未测点进行插值,形成间距较小的样点数据或者不同面积单元的面状数据,然后将 K 值结果连续到完成的相应数字化土壤图上,进行分类

分级,得出研究区 K 值和 K 值分布图。

2.2.3 地形像元因子 SL' 计算及 SL 值空间分布

按照 QRSM 模型算法原理,主要算式有:

像元坡度因子算式:

$$S_i=0.8341\times1.0359_{\text{年}i} \tag{2}$$

像元坡长因子算式:

$$L_i=[D_i/22.13\cos a_i]m \tag{3}$$

式中:22.13 的单位是 m,表示标准径流小区的坡长值。 m 表示指数, m 值随坡度而变化,当 $a\geq5.14^\circ$ 时, $m=0.5$;当 $5.14^\circ>a>1.72^\circ$ 时, $m=0.4$;当 $1.72^\circ>a\geq0.57^\circ$ 时, $m=0.3$;当 $a<0.57^\circ$ 时, $m=0.2$; S_i ——像元 i 的坡度; L_i ——像元 i 的坡长; D_i ——两邻像元的中心距, $D_i=d$ 或 $D_i=\sqrt{2}d$; a_i ——像元 i 的坡度。

像元地形因子 SL 算式:

$$SL_i=S_i\times L_i \tag{4}$$

在 GIS 软件和地形坡度专用软件平台下,将建立的数字高程模型 DEM 文件用专制 SL 算式软件 $SL.exe$,自动计算出坡长与坡度及其像元坡度图。在已生成的像元坡度图中可直接提取坡度坡长像元因子 SL' 和 SL_i 因子值像元图,快速地制作出研究区 SL 因子图。计算结果表明,流域内北部地势较高,属中低山区, SL 因子值比较高,在 4.167~50 范围之间变动;南部地势较低, SL 值绝大部分在 4.167~25 之间。

2.2.4 CP 的算法原理和方法 在所有的水土流失因子中,地表覆盖状况对侵蚀量的影响最大。在水土流失定量遥感监测模型中,本研究采用卜兆宏等提出的“用于土壤流失量遥感监测的植被因子算式”的植被因子与植被覆盖度关系式算法,求得植被因子值,CP 的具体计算过程:

$$C=0.4149\sim0.00520c \tag{5}$$

$$C=0.43999\sim0.00578c \tag{6}$$

$$C=0.450\sim0.00786c \tag{7}$$

式(5),(6),(7)中的 c 分别为 7 月、8 月和全年平均植被覆盖度,以百分数表示。 C 因子值与植被覆盖度成反比,其变化范围随覆盖度在 76.1%~0% 内, C 因子值在 0~0.45 间变动。当式(4) c 值大于 79.7%,式(5) c 值大于 76.1%,式(6)年平均 c 值大于 57.2%时,作为植被高覆盖度,取 C 值为 0.001。当地表植被覆盖度较低时,三个算式 C 值分别取最大值为 0.42,0.44,0.45,这与 USLE 查表所得的 C 值为 0.45 相一致。

CP 因子是降雨侵蚀动力的抑制因子,当地面完全裸露时, C 值为 1.0,当地面有良好植被覆盖时, C 值为 0.001,即 C 值在 0.001~1 之间;对于 P 而言,0 值代表无侵蚀地区,1 值表示未采取任何水保措施。研究中将土地利用图归并为平地、坡耕地和山地三大类,用三大类切割遥感分类图,依据各地周年实测获得的土壤流失规律和覆盖率的类别对遥感分类图进行 CP 因子赋值,研制出植被覆盖与保土措施因子乘积 CP 图。

从 CP 因子分布图看出西河小流域北部治理区和南部山区 CP 值相当低,在河道两岸局部区域出现了 CP 因子高值区,主要是由于居民房屋建设和道路建设破坏了植被;中部出现了集中连片的高值区,原因是中部人口集中,治理程度较低,植被覆盖度较低。

3 结果与分析

3.1 重点观测区水土流失定量监测结果

本研究选取西河小流域的马槽沟子流域和鹦鹉沟子流域进行重点观测,结果表明马槽沟子流域侵蚀程度严重,主要是因为该区人口居住密集,通往县城的公路由此经过等原因造成的,监测结果统计见表 2。

表 2 不同流域水土流失量监测结果

| 侵蚀等级 | 侵蚀模数/ ($t\cdot km^{-2}\cdot a^{-1}$) | 马槽沟子流域 | | 鹦鹉沟子流域 | |
|-------|---|------------|----------|------------|----------|
| | | 面积/ km^2 | 流失量/ t | 面积/ km^2 | 流失量/ t |
| 水域 | 0 | 0.2997 | 0.0 | 0.1107 | 0.0 |
| 微度 | ≤ 500 | 0.9234 | 29.2 | 0.6021 | 9.8 |
| 轻度 | 500~2500 | 0.6462 | 1053.8 | 0.1017 | 155.8 |
| 中度 | 2500~5000 | 1.0782 | 4024.6 | 0.1413 | 529.2 |
| 强度 | 5000~8000 | 1.1493 | 7327.7 | 0.1944 | 1271.1 |
| 极强度 | 8000~15000 | 1.3095 | 14202.4 | 0.3744 | 4232.4 |
| 剧烈 | ≥ 15000 | 2.0817 | 75194.7 | 0.4806 | 13277.8 |
| 小流域统计 | 16313.0 | 7.3260 | 102228.4 | 1.8945 | 19551.6 |

3.2 西河小流域地面坡度组成

应用 ArcGIS 空间分析工具,进行地面坡度提取与分析统计得出,小于 5° 缓坡面积为 532.2 hm^2 ,占

13.5% ; $5^\circ\sim15^\circ$ 较缓坡面积为 943.48 hm^2 ,占 24.0% ; $15^\circ\sim25^\circ$ 中坡面积为 930.64 hm^2 ,占 23.7% ; $25^\circ\sim35^\circ$ 较陡坡面积为 841.81 hm^2 ,占 21.4% ; 35° 以

上陡坡面积为 682.84 hm²,占 17.4%。坡度分析表明,西河流域超过 25°以上陡坡占 38.78%。进一步对耕地数据提取分析得出,耕地中坡度在 15°以上坡耕地占 45.1%。

3.3 西河小流域土地利用情况

西河小流域土地总面积 3 931.00 hm²,有生产用地 1 080.32 hm²;生态用地 2 611.18,居民及交通用地 239.50 hm²,分别占总土地面积的 27.5%,66.4%,6.1%,农用地主要分布在沟道两边,林地大多分布在海拔较高偏远的中低山区。

3.4 水土流失监测精度评价

本研究选择有代表性的马槽沟子流域进行野外现

场同步观测,在马槽沟子流域上、下游中分别布设 A、B 两个野外水文观测站,A 点观测断面为该研究布置的水文观测站点,B 点观测断面是马槽沟子流域已有的固定水文观测站。主要观测每次降雨过程形成地表径流,产生泥沙汇聚沟谷的泥沙量,计算经过河道流经观测站点一年的泥沙量,野外观测结果统计见表 3。

结合水土流失分级图,选择侵蚀程度严重的马槽沟子流域监测数据评价水土流失定量监测的精度,以重点研究数据检验模型监测的水土流失量与野外现场观测结果的一致性。该子流域剧烈侵蚀面积占西河小流域总面积的 11.44%,其土壤流失量占剧烈侵蚀面积总流失量的 77.89%,模型监测结果见表 4。

表 3 断面洪水观察统计

| 洪水 编号 | 上游 A 点 | | | | 下游 B 点 | | | |
|----------|-------------------|---------------------------------|------|--------------|-------------------|---------------------------------|------|--------------|
| | 径流/m ³ | 径流含沙量/ (kg·m ⁻³) | | 洪水输沙 总量/t | 径流/m ³ | 径流含沙量/ (kg·m ⁻³) | | 洪水输沙 总量/t |
| 1 | 229 | 0.939 | 0.69 | 0.2 | 243 | 1.244 | 0.65 | 0.2 |
| 2 | 1102 | 2.17 | 1.23 | 1.4 | 1520 | 2.512 | 1.41 | 2.1 |
| 3 | 316 | 7.58 | 3.86 | 1.2 | 347 | 7.242 | 4.77 | 1.7 |
| 4 | 21223 | 9.92 | 1.14 | 24.2 | 22450 | 8.81 | 1.48 | 33.2 |
| 5 | 133098 | 8.08 | 1.43 | 190.3 | 135960 | 6.06 | 1.71 | 232.5 |

表 4 流域流失量模型监测结果

| 侵蚀等级 | 侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹) | 上游子流域 | | 全部流域 | |
|-------|---|--------------------|----------|--------------------|----------|
| | | 面积/km ² | 流失量/t | 面积/km ² | 流失量/t |
| 水域 | 0 | 0.27 | 0.0 | 0.30 | 0.00 |
| 微度 | ≤500 | 1.98 | 447.05 | 2.10 | 455.22 |
| 轻度 | 500~2500 | 3.22 | 3735.29 | 3.32 | 3854.79 |
| 中度 | 2500~5000 | 0.35 | 1157.78 | 0.38 | 1243.06 |
| 强度 | 5000~8000 | 0.09 | 619.44 | 0.12 | 796.48 |
| 极强度 | 8000~15000 | 0.23 | 2615.51 | 0.28 | 3120.08 |
| 剧烈 | ≥15000 | 0.71 | 34824.17 | 0.84 | 39091.59 |
| 小流域统计 | 9678.19 | 6.86 | 45000.60 | 7.34 | 50191.09 |

通过水土流失监测模型的运算,马槽沟子流域 A 断面以上控制面积模型监测得出的上游全年水土流失泥沙量为 45 000.60 t,其观测断面实测入库泥沙量为 217.3 t,泥沙输移比为 syb1=0.004 83。模型监测得出马槽沟 B 断面以上控制面积全年上下游整个流域水土流失量是 50 191.09 t,以该泥沙输移比数值估算下游 B 断面入库泥沙的模型估算数值为 50 191.09×0.004 83=242.36 t。从下游观测断面实测全年入库泥沙量为 269.7 t,通过上下游输沙实测值可检验模型监测的精度:

监测精度=(模型监测入库泥沙量/实测入库泥沙量)×100%=(242.36/269.7)×100%=89.9%

3.5 西河小流域水土流失监测结果

在降雨侵蚀力 R、土壤可蚀性因子 K、地形因子

SL、地表覆盖与水土保持措施因子 CP 优化计算以后,利用 GIS 软件,可以获得西河小流域的 2010 年度的水土流失监测结果见表 5。

表 5 水土流失定量监测结果统计

| 蚀等级 | | 侵蚀模数/ (t·km ⁻² ·a ⁻¹) | 面积/hm ² | 流失量/t |
|-------|-----|---|--------------------|---------|
| | | | | |
| 1 | 微度 | ≤500 | 5.10 | 90.8 |
| 2 | 轻度 | 500~2500 | 680.54 | 31462 |
| 3 | 中度 | 2500~5000 | 253.86 | 15290.8 |
| 4 | 强度 | 5000~8000 | 428.16 | 21726.2 |
| 5 | 极强度 | 8000~15000 | 450.04 | 32366.4 |
| 6 | 剧烈 | ≥15000 | 83.30 | 2563.8 |
| 小流域统计 | | 2633 | 1901.00 | 103500 |
| 土地总面积 | | | 3931.00 | |

流域内水土流失的面积为 19.01 km², 占总面积的 48.4%。北部是治理区, 南部是对照区。北部治理区水土流失明显低于南部对照区, 治理区流失面积降低到了 15% 以下, 充分说明治理区生态治理与恢复的成效, 治理区水土流失主要集中在沟道两边, 仍需进一步加强治理。水土流失主要发生在夏季和秋季, 常以山洪形式表现, 坡耕地水土流失强度大, 北部降雨侵蚀力大于南部, 但总体上中部和南部土壤侵蚀严重。

4 结论与讨论

水土流失定量监测模型 QRSM 在我国江苏、山东、云南、江西 UNDP、福建、密云水库流域等进行了大量的应用研究, 但是至今为止, 对长江流域上游并没有应用研究的报道, 本研究利用收集的资料与野外小区的监测资料对模型进行验证和参数修正, 重点在长江流域上游进行了适用性研究。选用 1:1 万的地形图和 ALOS 遥感数据, 像元精度提高到 10 m×10 m, 具有更高的像元分辨率和像元精度; 对 2 个代表性雨量站点降雨侵蚀力因子 R 值经典算法 EI 和新算法 PI 得出的数据进行了精度检验, 平均精度接近 90%, 证明了新算法 PI 模型 R 值的预报效果相当高; 在现有土壤资料的基础上, 结合土壤样品分析数据, 分析了不同类型土壤可蚀性因子的影响因素; 用 SL_i.exe 专用软件计算地形像元 SL_i 因子时, 进行了误差处理和参数调整, 使其更具有实用性; 依据遥感图像不同覆盖物的灰度值细分成 21 类植被覆盖度, 以 7 月、8 月和年平均植被覆盖度计算植被覆盖因子 C , 具有更高的精确度和更符合汛期降雨侵蚀量的监测。研究中采取多源遥感数据融合技术进行因子参数的提取与计算, 优化了模型因子的算法, 使模型因子的计算进一步得到完善和应用。

结果表明, 研究区北部治理区水土流失面积降低到了 15% 以下。用模型监测数据与地面实测数据进行对比, 精度值达到 89.9%, 体现出模型监测较高的精度。监测模型推广应用到长江流域上游地区, 对逐步实现对长江流域水土流失的监测预报具有前瞻性。并且对其他小流域也有示范作用, 对我国水土流失监测从定性水平走向定量水平, 水土流失监测的信息化、系统化、量化, 具有一定的理论参考与实践推广示范和技术支撑等价值。

参考文献:

- [1] 唐克丽. 中国水土保持[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] 史明昌, 姜德文, 等. 3S 技术在水土保持中的应用[J]. 中国水土保持, 2002(5): 42-43.

- [3] 许峰, 郭索彦. 我国水土保持管理领域中 3S 技术的应用与发展方向[J]. 山地农业生物学报, 2001, 20(4): 297-300.
- [4] 倪含斌, 张丽萍, 倪含辉. 基于 GIS 的小流域水土流失综合治理研究进展[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2): 66-68.
- [5] Wishmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A guide to conservation planning[M]. US Government Print Office Agriculture Handbook, Washington D C, 1978.
- [6] Wishmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses: A guide to conservation planning[M]. USDA Agriculture Handbook, 1987.
- [7] Renard K G. Revised universal soil loss equation[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 1991(1/2): 30-33.
- [8] 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 [M]. USDA Handbook, No1537, 1997.
- [9] 刘宝元, 张科利, 焦菊英. 土壤可蚀性及其在侵蚀预报中的应用[J]. 自然资源学报, 1999, 14(4): 345-350.
- [10] 江忠善, 王志强, 刘志. 应用地理信息系统评价黄土丘陵区小流域土壤侵蚀的研究[J]. 水土保持研究, 1996, 3(2): 84-97.
- [11] 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.
- [12] 姜小三, 潘剑君, 杨林章, 等. 土壤可蚀性 K 值的计算和 K 值图的制作方法研究: 以南京市方便水库小流域为例[J]. 土壤, 2004, 36(2): 177-180.
- [13] 卜兆宏, 席承藩, 李士鸿. 水土流失量遥感监测的研究设想与初步进展[J]. 遥感技术动态, 1990(4): 31-37.
- [14] 卜兆宏, 唐万龙, 席承藩, 等. 水土流失定量遥感方法应用与研究的新进展[J]. 世界科技研究与发展, 2000, 22(增刊): 64-67.
- [15] 卜兆宏, 杨晓勇, 王库, 等. 水土流失定量监测中的 DEM 精度评价新方法[J]. 土壤学报, 2004, 41(5): 661-668.
- [16] 姜小三, 卜兆宏, 杨林章, 等. 水土流失与水质污染一体化定量监测的初步研究: 以江苏省方便流域为例[J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 529-536.
- [17] 卜兆宏, 董勤瑞, 周伏建, 等. 降雨侵蚀力因子新算法的初步研究[J]. 土壤学报, 1992, 29(4): 408-417.
- [18] 卜兆宏, 孙金庄. 应用水土流失定量遥感方法监测山东全省山丘区的研究[J]. 土壤学报, 1999, 36(1): 1-8.
- [19] 卜兆宏, 刘复新. 水土流失定量遥感方法新进展及其在太湖流域的应用[J]. 土壤学报, 2003, 40(1): 1-9.
- [20] 卜兆宏, 卜宇行, 陈炳贵, 等. 用定量遥感方法监测 UNDP 试区小流域水土流失研究[J]. 水科学进展, 1999, 10(1): 32-37.