

基于 3S 和 USLE 的沱江流域中游土壤侵蚀定量评价

李 婷¹, 张世熔¹, 廖明辉², 唐丽梅¹

(1. 四川农业大学 资源环境学院, 四川 雅安 625014; 2. 四川省地震局测绘工程院, 四川 雅安 625000)

摘 要:以川中丘陵区沱江流域中游为研究区域,在 3S 的技术支持下,以美国通用土壤流失方程(USLE 模型)为评价模型,利用 ArcGIS 9.2 的栅格数据空间分析功能,对该区域土壤侵蚀强度进行了预测和估算。结果表明:流域的年均土壤侵蚀模数为 1 543 t/(km² · a),侵蚀强度为轻度。其中土壤侵蚀中度以下占到流域面积的 91.5%,强度侵蚀、极强度侵蚀和剧烈侵蚀分别为 3.5%,2.8%和 2.2%,极强度和剧烈侵蚀区分布于区域中西部的低山地带,流域土壤侵蚀与地形、土地利用方式相关性很大。

关键词:土壤侵蚀; 定量评价; 沱江流域

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2011)01-0024-04

Quantitative Assessment of Soil Erosion in the Middle Reach of Tuojiang River Basin Based on 3S and USLE

LI Ting¹, ZHANG Shi-rong¹, LIAO Ming-hui², TANG Li-mei¹

(1. College of Resources and Environment of Sichuan Agricultural University, Ya'an, Sichuan 625014, China;

2. Survey Engineering Institute of Earthquake Administration of Sichuan Province, Ya'an, Sichuan 625000, China)

Abstract: Quantitative research on the soil erosion intensity in the middle reach of Tuojiang River was estimated via utilizing USLE model supported by GIS and RS technology. The results showed that the mean soil erosion rate is 1 543 t/(km² · a) in the study area. The soil erosion intensity below moderately accounted for 91.5% of the area, the highly erosion area account for 3.5%, the very high erosion area account for 2.8%, the severe erosion area account for 2.2%. The very high erosion and severe erosion area was mainly distributed in the middle and western part. The soil erosion was great relatives with terrain and land use type.

Key words: soil erosion; quantitative assessment; Tuojiang River Basin

土壤侵蚀是土地退化的根本原因,也是导致生态环境恶化的重要因素^[1-2]。土壤侵蚀可导致土壤和养分的流失、土层变薄、土地贫瘠、宜耕地减少;流失土壤的堆积,可使河道水库淤塞,加剧洪涝灾害的威胁,其携带的氮、磷营养物质还可加剧水体的富营养化;长期的水土流失还会使裸岩荒山不断增多,引发石漠化问题。我国对土壤侵蚀强度的评价研究多集中在西北黄土高原^[3]、东北黑土区^[4-6]、云贵高原^[7-10]和南方红壤区^[11]。而对人口密集、土地利用强度高的紫色土丘陵区土壤侵蚀研究相对比较薄弱^[12]。

沱江流域中游位于四川盆地中部紫色土丘陵区,区内雨量丰沛,人口密集,土地开发利用强度高,是我国主要的农业生产基地之一,但由于区内生态环境脆弱、垦殖率高、坡耕地多等特点,水土流失较严重,使

得该区的生态环境日益恶化,土地退化、水土流失等现象日益突出。因此,本文针对沱江流域中游的土壤侵蚀问题,运用 3S 技术结合通用水土流失方程(USLE),对其土壤侵蚀进行定量评价,分析土壤侵蚀现状及其空间分布特征,以期区域可持续发展、合理利用水土资源、发展可持续农业、开展水土保持等政府宏观决策行为提供科学依据。

1 研究区概况

研究区位于沱江中游,地理位置介于东经 104°44'48.10"—104°46'34.20",北纬 30°30'23.08"—30°31'28.76",面积为 1 164.98 km²,海拔 385.7~1 010.7 m。区内地形中间高四周低,以丘陵地貌为主。区内气候温暖湿润,属典型亚热带季风气候。全

年光热资源充足,日照时数为 1 298.2 h,年积温 6 220℃,年均温 16.6℃,年均降雨量 874.7 mm,降雨集中在 6—8 月,无霜期 285 d。由于该区跨盆中和盆西两大褶皱带,地貌类型多样,山、丘、坝皆有,呈典型的三分性,西北部属于平坝浅丘区,东南部属于丘陵区,中西部则系龙泉山脉低山地带。土壤类型以水稻土、紫色土、冲积土为主。土地利用方式除未利用地、建设用地之外,以耕地、林地和园地为主。植被类型以常绿针叶林为主,柏树分布较多。研究区内流域面积大于 50 km² 的河流有 13 条,均属沱江水系。

2 材料和方法

2.1 数据来源

本研究采用的数据主要包括 2006 年的 Landsat/TM 影像(空间分辨率 30 m)。采用遥感图像与野外 GPS 相结合的交互检验方法,选取 17 个均匀分布的野外样点作为地面控制点,在遥感图像处理软件 ERDAS 8.6 平台支持下,最终将误差精度减小为 RMS<0.05,同时将投影方式由地理经纬度转换成 UTM 投影下的 WGS84 坐标系。在专家参与下,根据影像光谱特征,结合野外实测资料,同时参照有关地理图件,对地物的几何形状、颜色特征、纹理特征和空间分布情况进行分析,建立统一的判读标志,在 ERDAS 8.6 软件环境下进行人机交互判读解译。最终形成 2006 年的土地利用图。提取的土地利用信息,参考国内外全球变化(包括 LUCC)研究中土地利用分类体系,结合研究目的,数据源的特点和研究区状况,将研究区分为水田、旱地、有林地、荒草地、水体、裸地、农村居民点、果园和建设用地等 9 类。

DEM 数据采用 1:1 万地形图生成,在此基础上,进一步生成坡度、坡长等要素图件。

降雨数据使用自 1989—2006 年金堂县的逐月降水数据。

土壤样点的设计是根据研究区的实际情况并充分考虑其代表性,采用随机采样和重点抽样相结合的方法,既遵照按成土母质、土壤类型、土地利用方式等资料布设样点的原则,又满足统计学的抽样要求。野外采样时取 0—20 cm 的表层土壤,每一采样点周围取 3 个点,混合土样,四分法取样。采样的同时,利用 GPS 获取土壤样点的地理坐标,于 2007 年 8—10 月在区域内水稻和玉米收获后共采集土样 317 个。土壤有机质含量采用重铬酸钾法进行测定,土壤机械组成采用吸管法测定。

2.2 模型选择

目前用来评估土壤侵蚀量的模型有很多,其中最

早建立且较为成熟的侵蚀预报模型是美国 W. H. Wischmeier 等 1965 年提出的通用土壤流失方程 USLE(Universal Soil Loss Equation)^[13],我国自 20 世纪 80 年代以来,开始引进通用土壤流失方程,根据实地观测参数,对通用土壤流失方程进行修订,其核心内容是 6 个因子的计算。

$$A=R \times K \times L \times S \times C \times P \quad (1)$$

式中: A ——侵蚀模数 $[(t/(km^2 \cdot a))]$; R ——降雨和径流因子 $[MJ \cdot mm/(km^2 \cdot h \cdot a)]$; K ——土壤可蚀性因子 $[(t \cdot h/(MJ \cdot mm))]$; L ——坡长坡度因子,无量纲; C ——植被与经营管理因子,无量纲; P ——水土保持因子,无量纲。

3 结果与分析

3.1 降雨径流因子的估算

降雨侵蚀因子 R 值与降雨量、降雨强度、历时、雨滴的大小以及雨滴下降的速度有关,它反映了降雨对土壤的潜在侵蚀能力。降雨侵蚀力难以直接测定,大多用降雨参数,如雨强、雨量等来估算降雨侵蚀力。Wischmeier 提出的 EI 模式方法由于需要详细的降雨时序的雨量和雨强资料难以得到满足,因而未能广泛采用^[14];Arnoldus 提出了一种简便的 R 值计算方法,采用研究区的月降水和年降水资料来修订 Fournier 指数(MFI),然后利用一个普遍使用的 R 因子方程来计算 R 值^[15]。该公式同时考虑了年降水量和降水的分布,数据较为容易获得。其公式为

$$F = \sum_{i=1}^{12} j_i^2 / J \quad (2)$$

式中: i ——月份; j_i ——降水量(mm); J ——年降水量(mm)。 R 与该指数的关系为

$$R = 4.1F - 152 \quad (3)$$

依据金堂县 1989—2006 年的各月降雨资料,计算出年降雨侵蚀因子 R 值的平均值为 3 861 $(MJ \cdot mm)/(km^2 \cdot h \cdot a)$ 。

3.2 土壤可蚀性因子的估算

K 值反映了在其它影响因子不变时,不同类型土壤所具有的不同侵蚀速度。土壤的物理特性,如土壤质地、结构的大小及稳定性、黏粒类型、土壤的渗透性、有机质含量和土壤厚度等影响着土壤的侵蚀速度。本文采用 Williams 等在 EPIC 模型提出的计算方法^[16],根据土壤有机质含量和土壤机械组成资料估算土壤可蚀性因子 K ,其计算公式如下:

$$K = \{0.2 + 0.3 \exp[-0.0256 S_d (1 - S_i/100)] [S_i / (C_i + S_i)]\}^{0.3} \{1.0 - 0.25C / [C + \exp(3.72 -$$

$$2.95C)]\{1.0-0.7(1-S_d)/100[(1-S_d)/100+\exp[-5.51+22.9(1-S_d)/100]]\}$$
 (4)

式中： S_d ——沙粒含量(%)； S_i ——粉粒含量(%)； C_i ——黏粒含量(%)； C ——有机质含量(%)，公式结果需乘以常量 224.2 转化英制单位为公制单位。

将野外测量的采样点数据采用上述公式计算各个采样点的侵蚀性因子 K ，采用克里格插值法得到流域的 K 因子栅格图(图 1)。

3.3 坡度坡长因子的确定

运用 ArcInfo 建立沱江流域的数字高程模型，然后运用 3D 分析工具将地形图转化为 TIN 数据结构，再生成 Grid 格式的 DEM 数据。然后根据 Gregory 等(1973)建立的以下方程，获得了地形因子 LS (LS 为 L 及 S 的综合)的值^[17]。其公式如下：

$$LS=(\lambda/22.13)^m/(65.4\sin^2\theta+4.566\sin\theta+0.065)$$
 (5)

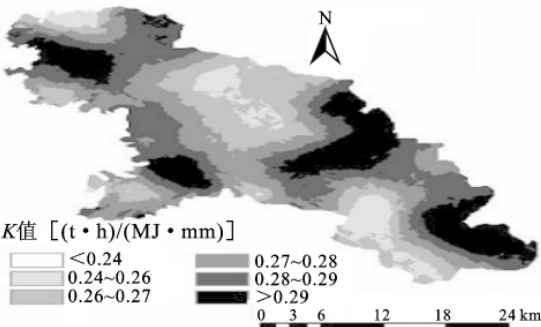


图 1 研究区 K 因子图

式中： $m=\begin{cases} 0.5 & S>5\% \\ 0.4 & 3\%<S\leq 5\% \\ 0.3 & 1\%<S\leq 3\% \\ 0.2 & S\leq 1\% \end{cases}$

式中： λ ——坡长(m)； θ ——倾斜角； S ——百分比坡度，得到区域 LS 因子图(图 2)。

3.4 植被与经营管理因子的确定

C 因子反映的是所有覆盖和管理变量对土壤侵蚀的综合作用，其值大小取决于具体的作物覆盖、轮作顺序及管理措施的综合作用等。 C 因子作为度量土壤侵蚀量的一个重要参数，其值变化于 0~1 之间。基本没有土壤侵蚀危险的地区被赋予 0；1 值被赋予给那些很容易受到侵蚀的地区^[18]。本研究利用 ERDAS 8.6 对遥感影像图进行非监督分类，再根据解译出来的土地利用类型和植被覆盖度，参照其他类似的研究成果^[19-21]，对研究区不同土地利用对应的 C 值进行赋值(表 1)。

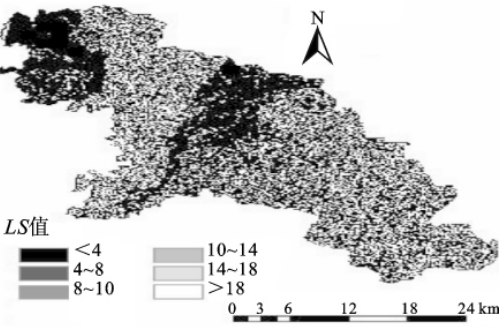


图 2 研究区 LS 因子图

表 1 沱江流域不同土地利用类型的 CP 因子赋值

土地利用类型	水田	旱地	疏林地	荒草地	水体	裸地	农村居民点	果园	建设用地
C 值	0.1800	0.3100	0.0170	0.0150	0	0	0.2000	0.0350	0.2200
P 值	0.0100	0.3000	1	1	1	1	1	0.2000	0
CP 值	0.0018	0.0930	0.0170	0.0150	0	0	0.2000	0.0070	0.2200

3.5 水土保持因子 P 值的确定

水土保持因子 P 是表示采用专门措施后的土壤流失量与顺坡种植时的土壤流失量的比值，一般无任何水土保持措施的土地类型 P 值为 1，其他情况 P 值在 0~1 之间，参照有关研究结果^[19-21]，本文根据解译出来的土地利用类型对 P 值进行赋值(表 1)。将 CP 值添加到土地利用类型属性表，转换图层，得到区域 CP 因子图(图 3)。

利用 ArcGIS 9.2 的空间分析模块，执行图形叠加运算功能，预测土壤侵蚀量，得到各个网格单元的侵蚀模数 A ，并生成土壤侵蚀量图层。在栅格土壤流失量图的基础上，根据水利部颁发的土壤侵蚀强度等级划分标准，对栅格土壤流失量进行分类，将侵蚀量在同一侵蚀等级的栅格进行合并，得到沱江流域中游

土壤侵蚀强度分级表(表 2)和流域土壤侵蚀强度图(图 4)。

对像元土壤侵蚀强度图进行统计结果表明：沱江流域中游雨量充沛，良好的植被覆盖使得该地区年均土壤侵蚀模数为 1 543 t/(km²·a)，侵蚀强度为轻度，但仍大于水利部颁发的西南土石山区土壤允许流失量 500 t/(km²·a)。区域内中度侵蚀以上主要分布在坡度较大的区域，特别是坡度大于 25°的坡度带，如图 4 中的中西部地带，该区属于龙泉山脉低山地带，也是侵蚀最为强烈的区域。不同的土地利用类型土壤侵蚀量的差异也较大，沱江流域中游土地利用除未利用地、建设用地之外，以耕地、林地和园地为主。区域中旱地，建设用地侵蚀较强，中度侵蚀主要分布在荒草地和疏林地，而轻度侵蚀主要分布在坡度较缓的林地。

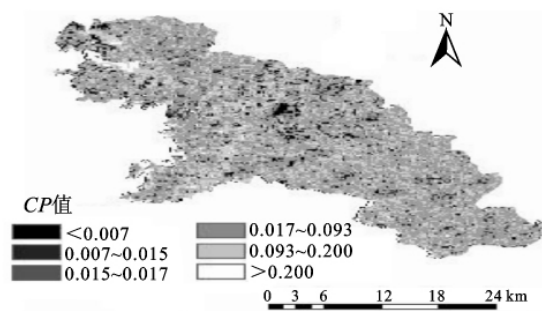


图 3 研究区 CP 因子图

表 2 土壤侵蚀强度分级统计表

级别	侵蚀模数/ ($t \cdot km^{-2} \cdot a^{-1}$)	栅格 数/个	面积所占 百分比/%
微度侵蚀	<500	227098	72.0
轻度侵蚀	500~2500	39223	12.5
中度侵蚀	2500~5000	22161	7.0
强度侵蚀	5000~8000	11106	3.5
极强度侵蚀	8000~15000	8851	2.8
剧烈侵蚀	>15000	6928	2.2

4 结 论

(1)沱江流域中游平均侵蚀强度表现为轻度,研究区西北部虽为平坝浅丘区,但在流域附近由于居民点、各种建筑设施集中,人为影响较大,所以侵蚀较严重。中西部低山地带因为地形复杂,侵蚀强度也较东南丘陵区强。

(2)土壤侵蚀与地形、土地利用类型相关性大,区域内中西部地区属于龙泉山脉低山地带,其坡耕地侵蚀严重。因此,坡度大于 25°的坡度带,以及旱地区域是该区土壤侵蚀防治的重点地区,采取造林种草、封山育林、坡改梯田、等高耕作以及设置前置库等措施调节地表径流、提高土壤持水能力、在坡耕地上开挖截流沟、拦截坡面径流等一系列有利措施,使高等级的土壤侵蚀降低,低等级的土壤侵蚀转变为无侵蚀,使生态系统朝良性方向循环。

参考文献:

[1] Wei W, Chen L D, Fu B J. The effect of land uses and rainfall regimes on runoff and soil erosion in the semi-arid loess hilly area, China[J]. Journal of Hydrology, 2007, 335(3): 247-258.

[2] 赵晓丽,张增祥,周全斌,等. 中国土壤侵蚀现状及综合防治对策研究[J]. 水土保持学报,2002,16(1):40-43.

[3] 贾宁凤,段建南,李保国,等. 基于 AnnAGNPS 模型的黄土高原小流域土壤侵蚀定量评价[J]. 农业工程学报, 2006,22(12):23-27.

[4] 陈建军,张树文,李洪星,等. 吉林省土壤侵蚀敏感性评价[J]. 水土保持通报,2005,25(3):49-53.

[5] 董婷婷,张增祥,左利君. 基于 GIS 和 RS 的辽西地区土壤

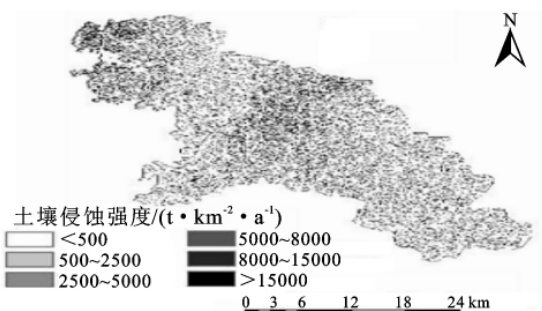


图 4 研究区土壤侵蚀等级图

侵蚀的定量研究[J]. 水土保持研究,2008,15(4):48-52.

[6] 王文娟,张树文,李颖,等. 基于 GIS 和 USLE 的三江平原土壤侵蚀定量评价[J]. 干旱区资源与环境,2008,22(9):112-117.

[7] 赵磊,袁国林. 基于 GIS 和 USLE 模型对滇池宝象河流域土壤侵蚀量的研究[J]. 水土保持通报,2007,27(3):42-46.

[8] 姚华荣,杨志峰,崔保山. GIS 支持下的澜沧江流域云南段土壤侵蚀空间分析[J]. 地理研究,2006,25(3):421-429.

[9] 彭建,李丹丹,张玉清. 基于 GIS 和 RUSLE 的滇西北山区土壤侵蚀空间特征分析[J]. 山地学报,2007,25(5):548-556.

[10] 张雪峰,何政伟,薛东剑. 金沙江流域东川地区水土流失分析[J]. 灾害学,2010,25(1):50-53.

[11] 杨维,刘云国,曾光明,等. 定量遥感支持下的红壤丘陵区土壤侵蚀敏感性评价:以长沙市为例[J]. 环境科学与管理,2007,32(1):120-125.

[12] 张兵,蒋光毅,陈正发,等. 紫色丘陵区土壤可蚀性因子研究[J]. 土壤学报,2010,47(2):354-358.

[13] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains [Z]. USDA Agricultural Handbook,1965.

[14] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning[S]. US-DA Agricultural Handbook,1978.

[15] Arnoldus H M J. Methodology used to determine the maximum potential average soil loss due to Sheet and Rill Erosion in Morocco[J]. FAO Soil Bulletin,1977,34:39-51.

[16] Williams J R, Renard E P. A new method for assessing erosions effect on soil productivity[J]. Journal of Soil and Water Conservation,1983,38(1):381-383.

[17] Gregory K J, Walling D B. Drainage basin form and process: a geomorphological approach[Z]. Edward Arnold,1973.

[18] 许月卿,邵晓梅. 基于 GIS 和 RUSLE 的土壤侵蚀侵蚀量计算: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.

[19] 傅世锋,查轩. 基于 GIS 和 USLE 的东圳库区土壤侵蚀量预测研究[J]. 地球信息科学,2008,10(3):390-395.

[20] 黄金良,洪华生,张珞平,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):75-77.

[21] 彭建,李丹丹,张玉清. 基于 GIS 和 RUSLE 的滇西北山区土壤侵蚀空间特征分析[J]. 山地学报,2007,25(5):548-556.