

# 遥感和GIS辅助下的祖厉河流域 土壤侵蚀空间变化分析

张小文

(兰州商学院农林经济管理学院,甘肃 兰州 730020)

**摘要:**以遥感数据和观测数据为数据源,基于改进的SEMMED土壤侵蚀模型,对祖厉河流域1999年和2001年土壤侵蚀的空间变换进行了模拟和对比。结果表明,流域土壤侵蚀最严重的区域主要集中在葛家岔站点附近、草滩站附近和北部葛家寨和靖远一带,流域中南部的土壤侵蚀通常小于北部。在北部的屈吴山,以及与宁夏交界的月亮山还有华家岭由于植被覆盖度较高,很好的起到了减少径流,抑制土壤侵蚀的作用。降水的年际差异导致本区的土壤侵蚀年际差异较大。

**关键词:**土壤侵蚀;SEMMED模型;遥感GIS

**中图分类号:**P208;TP 79 **文献标志码:**A **文章编号:**1004-0323(2009)06-0772-05

## 1 引言

土壤侵蚀是土壤和土地退化最主要形式。在亚洲,约74.9亿 $\text{hm}^2$ 的土地遭受土壤退化,其中,89%是由土壤侵蚀引起<sup>[1]</sup>。人口的巨大压力和长久的开发历史使中国成为目前全球生态环境问题最为严重的国家之一<sup>[2]</sup>。严重的水土流失使黄土高原的土地资源遭到了严重的破坏,土地日益贫瘠,生态环境严重恶化。强烈的土壤侵蚀既是该区生态环境恶化的起因,又是生态环境恶化的结果。这种恶性循环使黄土高原成为中国最贫困的地区之一,土壤侵蚀引起的土地退化影响了农业经济的发展,成为困扰该区可持续发展和农民脱贫致富的主要问题。近年来围绕着黄土高原退耕还林、植被建设、生态恢复和防治水土流失的科学问题和实践问题做过多次广泛的理论性和政策性讨论。然而,由于受科学认识的限制和盲目政策的误导,再加上人口的压力和落后的经济水平,生态环境恶化状况并没有得到有效控制。问题的关键在于生态环境恢复和重建过程中必须解决的许多重要科学问题依然没有答案<sup>[3]</sup>,其中对于不同区域/流域的土壤侵蚀的空间差异的分析还缺乏快速有效的手段。因此,迫切需要解决这些理论上和科学上存在的问题,以便在科学理论指

导下,对黄土高原进行有效的生态环境建设,控制水土流失,为区域的可持续发展和生态环境系统的良性循环奠定基础。目前,对黄土高原西部的土壤侵蚀空间分布研究还相对较少。

祖厉河流域尺度上土壤侵蚀模拟研究选用了SEMMED (Soil Erosion Model for Mediterranean Regions) 模型<sup>[4]</sup>。该模型通过与地理信息系统(GIS)技术与遥感(RS)数据的集成,以遥感影像和DEM作为重要的输入参数输入源,分析和评估区域年尺度的土壤侵蚀。SEMMED模型已经成功的运用于12个国家66个实验区,多种自然条件(湿润区、半湿润区、干旱区、半干旱区)。除了特别高(侵蚀模数 $>20\,000\text{ t/km}^2$ )和特别低的侵蚀区(侵蚀模数 $<100\text{ t/km}^2$ )外,都得到了可靠的预测结果<sup>[5]</sup>。De Jong<sup>[6]</sup>利用SEMMED模型成功的对欧洲干旱区和半干旱区土地退化进行了研究,证明其为适合干旱区、半干旱区条件的区域尺度侵蚀模型。与物理过程模型相比,SEMMED模型具有简单、灵活和比较强的物理基础的特点,而且相比较大多数的过程模型来说需要较少的参数数据<sup>[7]</sup>,适合于祖厉河流域的资料情况。基于以上两点,SEMMED模型被选择为祖厉河流域尺度年土壤侵蚀模拟的基础模型。SEMMED模型基于栅格分别计算产水和侵蚀

过程。张小文<sup>[8]</sup>根据祖厉河流域的 4 个水文站的泥沙观测结果对 SEMMED 模型的部分过程进行了改进。

因此,本文以祖厉河流域为研究区,利用改进的 SEMMED 模型为基础,分析了具有不同降水特征的 1999 年和 2001 年的土壤侵蚀空间分布特征。

## 2 SEMMED 土壤侵蚀模型及参数空间分布

模型运行需要的数据包括降水数据、地形数据、遥感数据、土壤数据和土地利用数据。在 GIS 环境下,模型输入的各种参数根据在点上的观测数据插值获得。参数的意义如表 1 所示。

表 1 SEMMED 模型需要输入的参数  
Table 1 Input parameters of SEMMED

因子	参数	描述
降水	$R$	年侵蚀性降雨量(mm)
	$R_n$	降雨的天数(d)
	$I$	侵蚀性降雨的典型强度(mm/h)
土壤	$MS$	在田间持水量下的土壤湿度
	$MD$	表层土壤的容重( $Mg/m^3$ )
	$K$	土壤分离指数( $g/J$ ):是单位降雨动能分离的土壤的权重
	$RD$	根的深度(Rooting Depth),判断有效水文深度
	$E_t/E_0$	实际蒸散发与潜在蒸散发的比值
	$K_s$	土壤的饱和传导率
DEM	$S$	坡度
	$CF$	累积面流
	$CH$	河道
土地利用	$C$	植被覆盖因子
遥感	$P$	降雨截留因子
	$V_i$	植被因子

### 2.1 降水数据

详细的降雨信息是 SEMMED 模型模拟成功的关键<sup>[5]</sup>。SEMMED 模型中,降水数据主要用来计算日平均降水量和降雨动能。研究过程中,由于只有个别站点有有限年份的几次降雨过程数据,难以精确计算流域降雨动能变化。因而只挑选了个别站点有降雨过程记录的 1999 年和 2001 年进行了研究。1999 年是丰水年,2001 年则相对偏枯。

降雨日的日均降雨量获取过程如下:先挑出各个降水站点 $>10\text{ mm}$ 的降水量,并统计日数,得到每个站点每个侵蚀降雨日的平均降雨量,然后通过空间反距离加权插值获得;降雨强度则是通过读取

有降水过程资料站点的典型的降雨强度,然后通过反距离加权空间插值,获得流域面上的降雨强度空间分布。

### 2.2 地形数据

数字地形数据比例尺为 1:50 000,坡度( $S$ )、累积面流( $CF$ )和河道( $CH$ )均通过地形数据和 GIS 技术直接计算。

### 2.3 土壤数据

模型对于土壤类型信息非常敏感<sup>[5]</sup>。研究区的土壤类型图是获得土壤物理属性的基础数据。可以获得的参数包括:MD(容重)、 $K$ (土壤分离指数)、 $RD$ (植被根深,有效水文深度)、 $E_t/E_0$ (实际蒸散发与潜在蒸散发的比值)和  $K_s$ (土壤的饱和传导率)。 $K_s$ (土壤的饱和传导率)根据土壤的粒径组成进行估算。 $RD$ 和  $E_t/E_0$ 根据文献<sup>[5]</sup>赋值。 $K$ 是非常复杂的,Quansah<sup>[9]</sup>等通过实验室分析确定  $K$  值的范围在 0.01~0.8 之间,并给出了不同土壤类型的值。

### 2.4 土地利用和植被参数

流域的土地利用现状图和截留因子  $P$  由遥感数据获得。祖厉河流域的土地利用现状图以 1999 年 6 月 21 日的 Landsat ETM+遥感影像为数据源,通过对图像进行辐射校正、几何校正和地形修正,进而地理编码,最后进行遥感目视解译和后处理分析获得。对于典型地物,与数字化的 1996 年的 1:50 000 甘肃省土地利用图进行了对比,确定了地物的典型光谱特征<sup>[10,11]</sup>。NDVI 归一化植被指数直接利用辐射校正后的图像计算获得,并归一化为 $[0,1]$ 范围。

植被覆盖因子,即 USLE 中的  $C$  因子,根据不同土地利用数据类型获得,由于没有野外观测的结果,参照了文献<sup>[12]</sup>在陕北延河流域的研究结果,获得了祖厉河流域不同土地利用类型的  $C$  值。

### 2.5 土壤侵蚀建模环境

本研究中所采用的 SEMMED 模型为与 GIS 紧密耦合的土壤侵蚀模型。图 1 是 SEMMED 模型通过“VBA”开发语言集成在 ARCMAP 的运行环境下的运行界面。

## 3 结果与讨论

### 3.1 降雨动能

从两年的降雨动能插值结果看,降雨的空间插值结果和降雨站点的空间分布密切相关。1999 年

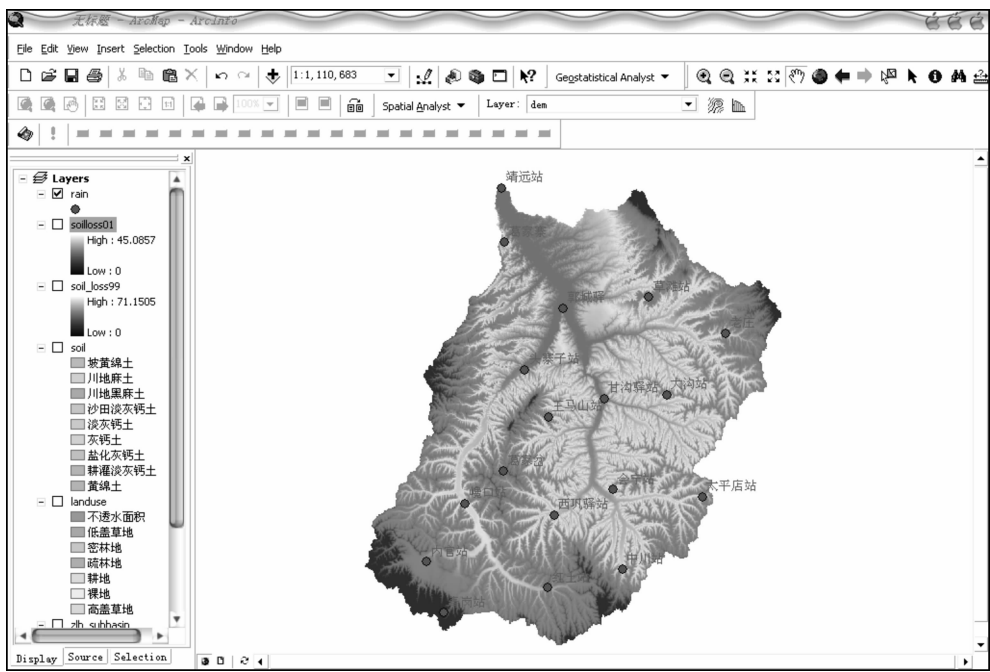


图 1 SEMMED 模型的运行界面

Fig. 1 The interface of SEMMED under GIS environment

在草滩站和葛家岔站形成了一个降雨强度中心,在岷口站周围形成了一个次强度中心,南部的青岗站、内官站、西巩驿站、甘沟驿站、红土站周围是一个较低的降雨动能带,东北部的老庄站周围也是一个较低的降雨动能区,总体来说流域南部的降雨动能比流域北部的低。2001 年流域的降雨动能与 1999 年的分布不同,在流域东南部的中川站附近形成了流域最大的降雨强度中心;其次,太平店站、葛家岔站、草滩站、葛家寨、葛家岔站、岷口站等都有比较高的降雨动能。流域南部的青岗、内官、红土形成了一个低的降雨动能区,中部的头寨子、甘沟驿站、郭城是一个较低的降雨动能区,东北部的老庄周围仍然是一个低的降雨动能分布区。

3.2 分离能力和搬运能力

从 1999 年和 2001 年的结果看,分离能力最高的地方都是出现在土壤分离指数“K”最高的 2 个区域(葛家寨附近区域和草滩站附近区域)。流域中南部的土壤分离能力要比北部的分离能力小。高山区(如胡麻岭、月亮山、华家岭等)具有较好的植被覆盖(高的植被截留率和植被降低降雨动能对土壤的直接打击)和低的土壤分离指数,因此也是土壤分离能力较低的区域。另外,1999 年的降水较 2001 年多,降雨动能也比 2001 年大,流域的土壤分离能力整体明显高于 2001 年。

径流的搬运能力受累积面流、坡度和植被覆盖因子的综合影响。面流越大,坡度越陡,植被覆盖因子越大,径流的搬运能力越大。从 1999 年的累积面流量分布来看,空间分异非常明显,流域中大部分的面流量分布在 0~2 mm 之间。在流域的中部和北部,35~61 mm 的区域分布也比较广泛,并且其与 0~2 mm 的分布范围具有相似的特征,0~2 mm 主要出现在山脊上,而 35~61 mm 的出现在沟道里,这主要与祖厉河地形沟壑纵横的局部地形有关。另外,在与宁夏交界的月亮山和屈吴山附近累积面流量都在 0~2 mm 之间,说明植被区有很好的持水能力,有降低径流的作用。南部的曲麻岭和华家岭比月亮山和屈吴山累积面流稍高的原因,可能与南部的降水要比北部大有关。2001 年的面流分布与 1999 年基本呈相同的分布特点。整体上,1999 年的累积面流量高于 2001 年。从流域的坡度分级图来看,流域的坡度大部分在 10°~15°之间,地势比较平缓,流域较陡的部分出现在流域的西北部。

从 1999 年的搬运能力结果看,流域平缓部分搬运能力大部分在 0~1kg/m<sup>2</sup> 之间;搬运能力大的区域都是出现在沟道中,沟道中的水量越大,搬运能力越大。2001 年由于水量较 1999 的小,整体的搬运能力低于 1999 年。

### 3.3 土壤侵蚀空间差异

从1999年的流域土壤侵蚀空间分布图(图2,见图版II)看,1999年土壤侵蚀的空间分异比较明显,最大侵蚀量 $50.85\sim 57.21\text{ kg/m}^2$ 出现在草滩和葛家岔附近,这和前面的最大降雨动能分布区是一致的。流域中南部的土壤侵蚀比流域北部的侵蚀小,中南部大部分区域的土壤侵蚀在 $0\sim 6.36\text{ kg/m}^2$ 之间,而北部靖远、郭城驿一带在 $38.14\sim 44.5\text{ kg/m}^2$ 之间,是土壤侵蚀较为严重的区域。另外,流域中等侵蚀 $6.36\sim 12.71\text{ kg/m}^2$ 分布也比较广泛,流域计算平均侵蚀量为 $5\ 020\text{ t/km}^2\cdot\text{year}$ ,这和文献中关于陇西黄土高原的侵蚀模数基本是一致的。

从2001年的流域土壤侵蚀空间分布图(图3,见图版II)上,由于降雨动能的空间分布的不同,2001年的空间分布和1999年的空间分布有差异。流域最高侵蚀量 $24.26\sim 27.29\text{ kg/m}^2$ 出现在靖远和草滩站附近以及葛家岔附近的一小部分区域,而不是出现在2001年降雨强度最大的中川站和太平店附近。这可能是两个方面的原因,一方面中川站和太平店一带的土壤的降雨和径流的分离能力低于靖远、草滩站附近以及葛家岔附近区域的降雨和径流的分离能力。另一方面是由于中川站和太平店一带在华家岭附近,受华家岭植被的影响,植被截留较多,面流较小。总体来说,流域中南部的土壤侵蚀仍然比北部的土壤侵蚀小,中南部的土壤侵蚀多数在 $0\sim 3.03\text{ kg/m}^2$ 的范围,是最轻级别的土壤侵蚀分布区。而北部的土壤侵蚀,特别是在靖远、葛家寨区,土壤侵蚀非常严重,侵蚀在 $24\ 260\sim 27\ 290\text{ t/(km}^2\cdot\text{a)}$ 之间,是流域侵蚀最严重的区域之一。计算2001年平均土壤侵蚀量为 $2\ 056\text{ t/(km}^2\cdot\text{a)}$ ,大大低于1999年的平均土壤侵蚀,说明受降水因素的影响,祖厉河流域的侵蚀年际变化还是比较大的。

## 4 结 语

本研究利用观测数据、遥感数据和改进的SEMMED模型,在GIS技术支持下对祖厉河流域土壤侵蚀进行了模拟,分析了整个祖厉河流域侵蚀风险区的空间分布及其年际变化。研究发现土壤侵蚀的空间分布受降水的变化影响较大,区域土壤侵蚀的年际变化明显。从1999年和2001年的模拟结果来看,流域土壤侵蚀最严重的区域主要集中在葛

家岔站点附近、草滩站附近和北部葛家寨和靖远一带,流域的中南部的土壤侵蚀通常小于北部。在北部的屈吴山,以及与宁夏交界的月亮山还有华家岭,由于植被覆盖度较高,很好的起到了减少径流,抑制土壤侵蚀的作用。

### 参考文献:

- [1] Oldeman L R, Hakkeling R T A, Sombroek W G. World Map of the Status of Human-induced Soil Degradation: An Explanatory Note[C]. Global Assessment of Soil Degradation GLASOD (Second Revised ed.). Wageningen; Nairobi: International Soil Reference and Information Centre (ISRIC), United Nations Environment Programme (UNEP), 1991.
- [2] Zhang Jiaen, Xu Qi. Major Issues in Restoration Ecology Researches[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 1999, 10(1): 109-113. [章家恩, 徐琪. 恢复生态学研究的一些基本问题探讨[J]. 应用生态学报, 1999, 10(1): 109-113.]
- [3] Feng Zhaodong. American Experience in Flood Control and Floodplain Management in the Mississippi Basin[C]. Lin Jianzhi, Eds, 21st Century of Chinese Geography. Hong Kong: Hong Kong Chinese University Press, 1999, 202-211. [冯兆东. 美国密西西比流域洪水控制的历史及对中国洪水平原管理的启示[C]. 林键枝编. 迈向21世纪的中国地理. 香港: 香港中文大学出版社, 1999, 202-211.]
- [4] De Jong S M. Vegetation Parameters Derived from Satellite Image for Erosion Modeling[J]. Earth Surface Processes and Landforms, 1994, 19: 1-14.
- [5] Morgan R P C, Morgan D D V, Finney H J. A Predictive Model for the Assessment of Erosion Risk[J]. Journal of Agricultural Engineering Research, 1984, 30: 245-253.
- [6] De Jong S M, Paracchini M L, Bertolo F, et al. Regional Assessment of Soil Rrosion Using the Distributed Model SEMMED and Remote Sensing Data[J]. Catena, 1999, 37(3-4): 291-308.
- [7] Shrestha T K. The Mahseer in the Rivers of Nepal Disrupted by Dams and Ranching Strategies[M]. Kathmandu, Nepal: Bimala Shrestha, 1997.
- [8] Zhang Xiaowen. GIS Assisted Modeling of Soil Erosion and Hydro-geomorphic Processes in the Zuli River Basin[D]. Lanzhou University, 2006. [张小文. 祖厉河流域土壤侵蚀与水文—地貌过程变化的GIS辅助模拟[D]. 兰州大学, 2006.]
- [9] Quansah C. The Effect of Soil Type, Slope, Rain Intensity and their Interactions on Splash Detachment and Transport[J]. Journal of Soil Science, 1981, 32: 215-224.
- [10] Peng Wenfu, Zhou Jieming, Yang Cunjian, et al. Analysis on Changes of County Class Land Ues Based on the RS and GIS[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 23(1): 24-30. [彭文甫, 周介铭, 杨存建, 等. 基于RS与GIS的县级土地利用

变化分析[J]. 遥感技术与应用,2008,23(1):24-30. ]

[11] Liu Shifeng,Li Laizhi,Pan Jianjun,*et al.* The Land Use Change Based on the Technology of Remote Sensing with the Urbanization in Pukou District, Nanjing City[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2008, 2(2): 166-172. [刘世峰,李来芝,潘剑君,等. 基于遥感技术的城市化进程中南京浦口区土地利用变化[J]. 遥感技术与应用,2008,23(2):166-172. ]

[12] Fu B J,Zhao W W,Chen L D,*et al.* Assessment of Soil Erosion at Large Watershed Scale Using RUSLE and GIS: A Case Study in the Loess Plateau of China[J]. Land Degradation and Development,2005,16(1):73-85.

Spatial Analyze of Soil Erosion Assisted by Remote Sensing Data and GIS in Zuli River Basin

ZHANG Xiao-wen

(Lanzhou Commercial College,Lanzhou 730020,China )

**Abstract:**Serious soil erosion is both the cause and the result of Eco-environment degradation in Chinese Loess Plateau. In this paper,the soil erosion of Zuli River Basin in 1999 and 2001 were estimated by modified SEMMED model which input the remote sensing data and observed precipitation data and under GIS environment. It indicates that the most serious soil erosion areas include Gejiacha, Caotan, Gejiazai and Jingyuan. The soil erosion in central and Southern part is less than that of Northern part. The Quwu Mountain, Yueliang Mountain and Huajialing have high vegetation cover and less soil erosion. The results suggest that the great annual fluctuation of soil erosion due to the fluctuation of precipitation.

**Key words:** Soil erosion;SEMMED;Remote sensing;GIS