

基于GIS下的西宁市土壤侵蚀预测

李若东¹, 刘得俊^{2,3}, 冯玲正^{2,3}, 蒋波⁴, 李润杰^{2,3}

(1. 青海大学, 西宁 810001; 2. 青海省水利水电科学研究所, 西宁 810001; 3. 青海省流域水资源与生态环境保护重点实验室, 西宁 810001; 4. 青海省水管局, 西宁 810016)

摘 要:以西宁市周边小流域为研究区域,在GIS软件Arcview和Microimages TNT的支持下,建立流域的空间数据库,利用GIS的栅格数据空间分析功能,将流域空间按10 m×10 m栅格化,根据合适的USLE因子算法生成各因子栅格图,借助GIS空间数据分析功能,实现了西宁市土壤侵蚀量估算和土壤侵蚀强度分级,为西宁市土地利用和水土保持提供科学依据。

关键词:GIS; 土壤侵蚀; 小流域

中图分类号:S157.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2008)02-0001-03

Prediction of Soil Erosion Based on GIS of Xi'ning

LI Ruo-dong¹, LIU De-jun^{2,3}, FENG Ling-zheng^{2,3}, JIANG Bo⁴, LI Run-jie^{2,3}

(1. Qinghai University, Xi'ning 810001, China; 2. Qinghai Institute of Water Resources and Hydropower Research, Xi'ning 810001, China; 3. Key Laboratory of Water Resources and Eco-environment Protection Qinghai Province, Xi'ning 810001, China; 4. Qinghai Water Administration, Xi'ning 810016, China)

Abstract: The paper researched estimation of soil erosion on the base of GIS platform by integrating USLE. Taking suburb watershed of Xi'ning city as research area, spatial database of watershed have been established by GIS soft, i. e. Arcview and Micro images TNT. Based on the GIS's function of raster spatial analysis, the watershed is discretized into uniform grids with the cell of 10 m×10 m and established Grid data after selecting reasonable USLE factor values. Prediction of soil erosion and classification have been achieved and spatial analysis function, scientific basis for land-use and soil conservation in suburb watershed of Xi'ning city will be provided.

Key words: GIS; soil erosion; small watershed

利用GIS进行各类地理信息的采集和分析,以及进行地理过程的模拟,如水土保持和资源调查,在很大程度上提高了工作效率,降低了工作量,同时也增强了科学性和准确性。运用GIS的栅格数据分析功能,与USLE相结合,可预测出每个栅格的土壤侵蚀量,便于管理者找出较为严重的土壤侵蚀区,从而针对性地提出最佳管理措施,有效地提高了土壤侵蚀量的预测效率和结果的显示度。因此,选用USLE模型合适因子算法的前提下,运用GIS软件arcview和Micro-image TNT,建立西宁市小流域的空间数据库,以生成USLE的因子图,在Arcview空间数据管理和分析运算功能的支持下,实现对西宁市土壤侵蚀量的预测和土壤侵蚀强度的分等定级,为水土流失治理提供有效依据,并针对性地提供土壤侵蚀的控制措施,同时实现信息管理和分析成图的自动化水平,为区域综合规划提供强有力的技术支撑。

1 西宁市基本概况

西宁地处青藏高原东部边缘,黄河支流湟水上游,东经101°49'17",北纬36°34'13",最高海拔2 808 m,最低为2 261 m,相对高差547 m,市区平均海拔为2 275 m;属大陆高原半

干旱气候,经35 a实测资料统计,多年平均气温5.8℃,7月平均最高气温17.2℃,极端最高气温7月39℃,1月极端最低气温-26.6℃;年气温日较差13℃,年较差25.6℃;多年平均降雨量372.6 mm。年内分布极不均匀,一年中80%以上的降水集中于6-9月,且多以暴雨和阵雨形式出现,具有历时短、强度大、降雨集中等特点。

2 GIS平台介绍

应用ESRI公司的Arcview 3.2软件进行空间数据的采集、管理以及空间数据分析运算,生成各类USLE因子图及土壤侵蚀分布图,同时应用Micro image公司TNT软件,对西宁市进行地形分析和小流域的划分和信息输入。

3 西宁市地理数据库的建立

图形数据库包括:地形图、流域数字高程模型(DEM)、土壤类型图、土地利用图等。其中,土地利用现状图根据遥感影响图解译而成;土壤类型图采用全国第二次土壤普查成果图,以土属为成图单元;数字高程模型根据等高线图制成。图形库中所有地图的投影坐标系统一设置,均采用高斯克里

收稿日期:2007-05-09

基金项目:水利部“948”项目(200748)

作者简介:李若东(1962-),男,副教授,主要从事水利工程研究。E-mail:LRD0664@0664@Tom.com

格投影,坐标系为北京 54 坐标,单位为 m,属性数据库包括:各月降雨量等气象数据,土壤质地、有机质含量等土壤属性数据。

4 基于 GIS 和 USLE 的土壤侵蚀量计算

4.1 技术路线

(1)利用现实性强的卫星遥感(Remote sensing 即 RS)获得 TM 数据,解译得到矢量图件。

(2)收集已有图件资料(土地利用、土壤、地形图等)及部分实测资料(点雨量站资料、水文资料等)。

(3)利用 GIS 技术,进行扫描数字化、栅矢化、配准矫正及内插与因子运算等,生成各相关因子图。

(4)GIS 平台和 USLE 算式为基础构架,求出以像元点为单元的土壤流失量(或侵蚀量图)。

(5)按部颁规程实现由“流失量→流失等级”的转换,得到水土流失现状图。

(6)统计出各级土壤流失量、流失面积等数据。

(7)依据水土流失防治的紧迫程度和水土保持经费的可能投入量等实际情况,通过调整 Δ 值生成防治预报图,从而确定来年或近期水土流失防治的重点或防治力度。

4.2 USLE 模型与运算基本流程

估算土壤侵蚀量是基于以下 3 个理由:①确认需采取水土保护的地域;②通过确定引起水土流失的关键因子,制定相应的措施;③探讨土壤侵蚀与土地生产力之间的关系。到目前为止,最为广泛应用的经验模型是通用土壤侵蚀方程(Wischmeier 和 Smith,1978)^[1],该模型是建立在土壤侵蚀理论及大量实地观测数据统计分析的基础上。其表达式为:

$$E = f \cdot R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot P \cdot C \quad (1)$$

式中: E ——年平均土壤侵蚀量 (t/hm^2); f ——单位转化系数($f=224.2$); R ——降水及径流因子; K ——土壤侵蚀性因子; L, S ——地形因子; P ——水土保持措施因子; C ——地表植被覆盖因子。

4.3 USLU 模型的因子值确定

(1) R 因子的估算。降雨因子的计算应用 FAO(Arnoldus,1980)建立的通过修订 Fournier 指数求算 R 值的方法,既考虑了年降水总量,又考虑了降水的年内分布,数据也容易获取,具有较好的应用价值。

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

式中: I ——月份; j_i ——降水量; J ——年降水量。然后建立 R 与该指数的关系为

$$R = a \cdot F + b \quad (3)$$

式中: a 与 b 的值取决于气候条件。依据研究地区气候条件与世界其它地区的类比分析, a 及 b 的值分别取 4.17 和 -152。可以认定西宁市区降水的分布是均一的。

(2) L 及 S 因子的估算。坡长的提取根据水流分析得出,根据 DEM 图(西宁市数字等高线图)求出流域负地形的水流方向和水流长度即求出正地形的山脊线和坡长。但是由于水流的方向不是严格与山脊线成 90° ,大多数水流方向只是接近 90° ,实际坡长应是沿水流方向的长度。采用负地

形求出水流长度获得坡长的方法是快速、近似的。

坡度是通过比例尺为 1:10 000 的数字高程模型(DEM)计算获取的。然后根据 Gregory 等(1973)^[5]建立的以下方程,获得了地形因子 T (T 为 L 及 S 的综合)的值。

$$T = (L/22.1)^m \times (65.4 \sin^2 \theta \times 4.56 \sin \theta + 0.0654) \quad (4)$$

式中: θ ——坡度($^\circ$); L ——坡长,根据 Wischmeier 和 Smith(1978)^[1]的研究, m 的取值为:当 $\theta > 5^\circ$ 时, $m=0.5$;当 $\theta > 3.5^\circ \sim 4.5^\circ$ 时, $m=0.4$;当 $\theta > 1^\circ \sim 3^\circ$ 时, $m=0.3$ 。

(3) K 因子的估算。影响 K 因子有多方面的因素,主要有土壤质地结构及其水稳定性和孔隙、剖面构造、土层厚度等,可以用单位面积、单位径流深的冲刷量作为衡量土壤抗蚀性的指标,单位为 $kg/(m^2 \cdot mm)$ 。在本研究中,有限的实验室分析数据也难以外推应用到所有的研究地区。

研究区以黄土为主,黄土的颗粒以细沙和粉沙为主,其中以 $0.05 \sim 0.01 mm$ 的粉沙含量最高,约占 $45\% \sim 60\%$ 。 K 值大小与土壤质地和土地利用类型有较高的相关性,同是黄土,在不同土地利用条件下,其抗蚀性有着显著的差异(周佩华等,1997)。野外实地放水冲刷试验表明,林地土壤抗蚀性最强,依次为草地、农作物地、翻耕休闲地(表 1)。

表 1 不同土地利用情况下的土壤抗蚀性值

土地利用情况	抗蚀性指标	比值
密林	0.0002	1.0
疏林	0.0005	2.5
草地	0.0039	17.0
农作物地	0.0871	436.0
翻耕休闲地	0.1202	601.0

(4) P 因子的估算。世界各地的研究表明,梯田(等高)耕作方式是最为有效的水土保持措施之一。但是,当坡度大于 24% 时,等高耕作对水土保持的效果就不明显。在印度尼西亚(CSAR,1995)^[6]的研究表明,梯田及田埂的修建质量对 P 值有直接的影响。并根据梯田及田埂的修建质量,分别给 P 赋值:0.04(好),0.15(一般),0.35(差)。在本研究地区,根据土地利用现状图,以确认不同土地利用方式的 P 值。通过对 TM 卫星影像 11-17)的监督分类,获取了土地利用现状图,其属性见表 2。土地利用类型 121,122 及 123 大多分布于沟谷地,作物为旱作作物。没有灌溉或灌溉不能保证,梯田及田埂的质量稍差些,因而对这一类型的地块赋 0.35 给 P 因子。

(5) C 因子的估算。大量的研究证明,在所有的土壤侵蚀因子中,地表覆盖状况对侵蚀量的影响最大。在西宁市周边流域内布置的土壤坡面侵蚀试验获得的数据也同样证明了这一点。

通常状况下,为解决 C 因子取值,在分析了当地的降水分布、气温变化规律及种植制度、农事活动特点的基础上,发现当地的地表植被覆盖率的年内变化与降水量的分布及农事活动有极高的一致性。每年的 10 月至翌年的 3 月为休耕期,降水少,地表覆盖率低;从 4 月初至 6 月底,为第一季作

物生长旺盛期,降水丰富,地表覆盖率高;而7—9月,为当地的旱季,农事活动主要是一些灌溉的作物及早作作物,地表覆盖率居于二者中间。在地理信息系统技术和标准化植被指数(NDVI)计算方法的基础上,结合年度土地利用方式,计算C因子值。

表2 西宁市不同级别土壤侵蚀占总面积计算 km²

区名	不侵蚀	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	剧烈侵蚀	极强度侵蚀	合计
城东区	9.879	13.519	0.349	0.322	0.318	0.431	0.018	24.835
城西区	24.419	75.919	2.348	3.464	3.843	4.636	0.278	114.907
城北区	15.618	42.491	2.672	2.984	2.661	3.411	0.242	70.078
城南区	30.350	51.094	11.813	14.454	15.762	16.289	0.419	140.181
合计	80.265	183.022	17.182	21.224	22.583	24.767	0.957	350.00

4.4 结果分析

利用 ArcView 软件将每个网格(Grid)中的 R, L, S, K, C, P 值分别相乘后,得像元土壤侵蚀量图。由于其单位为英制,需进行单位转换。乘以系数 224.2,即可转换为 $t/(km^2 \cdot a)$ 的公制单位,得到各像元的年土壤流失量。

(1)西宁市土壤侵蚀及分析。通过降雨因子、坡度因子、植被因子和人类活动对土壤侵蚀的影响进行分析,得到各因子与土壤侵蚀之间的关系;同时与基于 3S 技术的土壤侵蚀分析进行比较,就美国通用水土流失方程在西宁周边沟道土壤侵蚀调查中的应用进行系数确定,保证西宁市土壤侵蚀调查的准确性。

经修订系数后,计算出西宁市土壤侵蚀量,并得到西宁市土壤侵蚀图,根据《全国土壤侵蚀遥感快速调查技术规程》中按土壤侵蚀的强弱程度划分办法,进行西宁市土壤侵蚀强弱程度的划分,得出相关的图件。可以得出西宁市各区的土壤侵蚀现状及不同级别模数的土壤侵蚀在西宁市各占的面积比例(表3)。

从土壤侵蚀分布图上看,西宁市各区发生土壤侵蚀的情况各不相同(见2表)在城北区、城东区北山中低部位及在韵家口镇的土壤侵蚀较为严重,城西区的火烧沟流域的诸沟道内有明显的水土流失。

表3 西宁市各区各类型土壤侵蚀统计 %

侵蚀类型	不侵蚀	微度侵蚀	轻度侵蚀	中度侵蚀	强度侵蚀	剧烈侵蚀	极强度侵蚀
占面积比	22.933	52.292	4.909	6.064	6.452	7.076	0.274

从发生土壤侵蚀的土地利用现状来看,土壤侵蚀大多发生的旱地,包括平原旱地和丘陵旱地。

(2)土壤侵蚀计算精度讨论。以 GIS 和 USLE 为基础架构,计算土壤侵蚀,同时考虑到降水、地形(包括坡长和坡度)、植被、土壤、土地利用状况、人类活动。而基于传统方法进行计算土壤侵蚀时也应用 USLE,其主要区别在于地形因子即对坡长因子和坡度因子的分析,导致地形因子误差的根本原因在于 DEM 数据精度,根据有关 Arcview DEM 地形

分析精度的研究,1:1万 DEM 其地形图面涉及实地面积 25 km² 左右,具有较高的地形描述精度,适宜于较为细致的地形分析;能够准确地勾绘出沟沿线、沟底线;准确量度地面坡度、地面曲率及其变化;反映地面浅沟、切沟、冲沟等沟壑,在土壤侵蚀计算中能够准确地反映出地形情况,能够取得较为准确地计算结果。

本研究中 DEM 的数据源为 1:1 万地形图,制成的 DEM 图精度为 10 m×10 m,在理论上能满足土壤侵蚀计算对准确度的要求。基于该数据基础上的计算结果显示:在西宁周边沟道水土流失主要发生在位于坡面中低部位的山地旱地和丘陵旱地及沟道沟底部位,在城北区的吴仲沟、巴浪沟、大寺沟、城西区的水槽沟、火烧沟以及位于北山中低部位的地方等的水土流失很明显,石头垒流域、二十里铺流域的水土流失面积较广,该地区土地利用类型主要是旱地。在实际调查发现西宁周边沟道水土流失主要发生在旱地、沟道沟底和北山中低部位,这与应用地理信息系统技术计算的结果相吻合,根据试验小区获取的数据以及沟道土壤侵蚀观测数据和应用地理信息系统技术进行量上的比较、分析。

5 结 语

基于 GIS 技术,以 USLE 为基础,利用 GIS 的栅格数据内插的方法,实现了西宁市土壤侵蚀量的计算,提高了土壤侵蚀量的计算效率,也加强结果显示度。研究结果与相关研究基本吻合,较为可信。相对于传统的集中式方法进行土壤侵蚀量预测,这种分布式方法由于运用 GIS 的栅格数据分析功能,可预测出每个栅格的土壤侵蚀量,便于管理者找出较为严重的土壤侵蚀区,并针对性的提出水土保持措施。

参考文献:

- [1] 汤国安,陈正江,等. ArcView 地理信息系统空间分析方法[J]. 北京:科学出版社,2002.
- [2] 史明昌,姜德文. 3S 技术在水土保持中的应用[J]. 中国水土保持,2002(5):42-43.
- [3] 王礼先. 水土保持学[M]. 北京:中国林业出版社,1995.
- [4] 姚文艺,汤立群. 水力侵蚀产沙过程及模拟[M]. 郑州:黄河水利出版社,2001.
- [5] 邹伦,刘瑜,等. 地理信息系统原理、方法和应用[M]. 北京:科学出版社,2001.
- [6] 北京市水土保持工作总站,等. 基于 3S 技术的北京市水土保持生态环境管理信息系统专题报告集[R]. 2002.
- [7] 北京市水土保持工作总站,等. 基于 3S 技术的北京市水土保持生态环境管理信息系统技术总报告[R]. 2002.
- [8] 张淑英. 遥感技术在水保工作中的应用[M]. 北京:中国水利水电出版社,1997.