

基于栅格数据估算侵蚀量方法在蔚汾河流域的应用

韩彩霞

(水利部 山西水利水电勘测设计研究院, 山西 太原 030024)

摘要: 在分析土壤侵蚀形成的主要影响因子基础上, 提出了基于栅格数据的流域土壤侵蚀量估算的指标模型。结合山西蔚汾河流域, 以降雨、地形、沟谷密度、植被盖度、成土母质为主要影响因素, 对流域土壤侵蚀量进行了估算和土壤侵蚀分级, 并对土壤侵蚀量的空间分布进行了划分和分析。模拟计算结果与实测数据较为符合。

关键词: 栅格数据; 土壤侵蚀量; 流域

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2009)06-0140-04

中图分类号: S157, TP392

Application of the GIS Based Estimation Method of Soil Erosion in Weifenhe Watershed

HAN Cai-xia

(Shanxi Institute of Hydroelectric Investigation and Design, Ministry of Water Resources, Taiyuan, Shanxi 030024, China)

Abstract: An index model of soil erosion estimation was put forward based on raster data after analyzing the main influence factors in Weifenhe watershed. By taking rainfall, terrain, ravine density, vegetation coverage, and soil parent material as the main indexes, soil erosion was evaluated and classified and the spatial distribution of soil erosion was determined. The calculated results are accorded with measured data.

Keywords: raster data; soil erosion; watershed

土壤侵蚀破坏土地资源, 使土壤肥力下降、粮食减产、水资源受到污染、库塘湖泊淤积。由于其危害严重, 土壤侵蚀问题很早就引起了人们的重视。土壤侵蚀类型繁多, 影响因子复杂, 建立一个真正实用的土壤侵蚀模型非常困难^[1]。20 世纪 60 年代, Wischmeier 提出的通用土壤侵蚀方程(USLE), 仍是目前土壤侵蚀量估算中广泛使用的方法^[2]。该模型形式简单, 模型框架具有一定物理意义, 但各因子参数的确定需要大量实测实验数据, 对于很多无实测数据资料地区, 模型的应用尚有一定困难^[3]。

近几十年来, 遥感技术(RS)开始在土壤侵蚀调查中得到广泛应用^[4,5]。相对于传统的土壤侵蚀量调查, 遥感方法具有周期短, 宏观快速等特点。遥感所获取的信息已成为无实测资料地区进行土壤侵蚀量估算的一种重要信息源。

本研究在分析土壤侵蚀主要影响因子的基础上, 建立了栅格地理信息系统支持下的流域土壤侵蚀量估算的指标模型, 利用地理信息系统(GIS)技术, 对流域

土壤侵蚀量进行了估算和土壤侵蚀分级, 并根据土壤侵蚀量的彩色图像色斑, 对土壤侵蚀量的空间分布进行了划分, 对各因子进行分类定标, 以黄河流域河口至龙门左岸的蔚汾河流域为例, 进行了该方法的具体应用。

1 土壤侵蚀量估算的指标模型法

土壤侵蚀过程非常复杂, 受自然和人为因素的综合影响。自然因子包括气候、植被(土地覆盖)、地形、地质、土壤等, 人为因素包括土地利用(如耕地、放牧等)、采矿、修路等。这些数据是土壤侵蚀定量计算的基础和保障。然而, 多数情况下或者在很多贫困边远区域要取得这些观测数据还存在相当大的困难, 更难以获得历史时期内的定量观测数据; 对于一定尺度的区域范围, 现有的观测站点布局与分布密度也往往不能满足土壤侵蚀研究的需要^[6]。参考通用土壤侵蚀方程各因子指标, 并考虑 RS 技术与常规方法相结合方法能否获取以及是否方便在 GIS 中存取、表达和计算, 选择了降水、地形(坡度)、沟谷密度、植被盖度、

成土母质 5 个因子作为土壤侵蚀量估算的因子指标。土壤侵蚀可以看作各影响因子的函数, 即:

$$E(\text{土壤侵蚀量}) = F(\text{降水因子, 土壤因子, 地形因子, 植被因子, 沟谷密度因子, } \dots)$$

由于各影响因子与土壤侵蚀量之间的关系并非简单的线性关系, 上述函数要变成一个实际可操作的土壤侵蚀量计算模型非常困难。大区域和宏观水土流失调查并且实测资料匮乏时, 指标模型不失为一种好的方法^[7]。着重从土壤侵蚀形成的背景与机理, 通过对影响土壤侵蚀形成的各种因子的分析, 赋予每种指标一定权重, 借助指标模型进行综合, 以求得综合分区, 因此属于一种确定性模型。其基本过程为: 首先筛选出影响土壤侵蚀的主要因子, 然后对这些因子进行分级, 确定权重, 最后通过多因子综合分析, 得到综合因子得分, 并根据综合因子得分, 确定土壤侵蚀强度。地理信息系统处理栅格数据的功能为上述过程的实现提供了极大便利。在 GIS 的支持下, 指标模型法的实施步骤为: 获取各影响因子分布图, 统一坐标系统, 并转换为栅格数据; 对各因子进行分级并定标(权重), 得到因子得分图; 利用 GIS 的空间分析功能, 计算土壤侵蚀综合因子得分; 根据土壤侵蚀综合因子得分, 划分土壤侵蚀强度等级。

影响土壤侵蚀的因子主要有气候、地质、植被、地形和人类活动等 5 类。本研究选择具有代表性的因子: 降雨为气候因子; 成土母质为地质因子; 地表林草植被覆盖度为植被因子; 地面平均坡度和沟壑密度为地形因子。

2 实例分析——蔚汾河流域土壤侵蚀量估算

2.1 研究区概况

蔚汾河流域是黄河流域河口至龙门左岸的一级支流, 位于吕梁山西麓, $110^{\circ}52' - 110^{\circ}53' E$, $38^{\circ}12' - 38^{\circ}55' N$ 。流域面积 $1\,478\text{ km}^2$ 。属于大陆性季风气候区, 四季分明, 春季干旱多风, 夏季炎热, 秋季雨水集中, 冬季寒冷少雪。受气候特征、地形条件的控制, 流域范围内灾害性天气经常发生, 大面积十年九旱, 局部洪灾频繁发生是该区的主要气候特点。该流域是黄河泥沙的主要产区之一, 每年有大量的泥沙流失, 造成严重的水库、渠道和河床淤积。根据《吕梁市第二次水资源评价》, 流域年均输沙量 $8.55 \times 10^6\text{ t}$ (1956—2000 年), 相当于全流域面积上每年冲刷 4 mm 厚的土层, 属强度产沙区。

2.2 数据资料及处理

遥感卫星数据采用美国陆地卫星 TM 和 Spot5 卫星影像, 分辨率为 5 m , 时相为 2005 年。遥感解译数据经几何粗校正和辐射校正达到了 2 级产品质量要求, 影像无云层覆盖, 数据无错、漏, 完全可以满足工作要求。

以经过遥感数据预处理和专题信息增强后的遥感图像为依据, 在专业地理信息软件 MAPGIS 中进行人机交互式解译, 并获取项目区植被和土壤侵蚀等专题信息, 最后将专题信息遥感数字制图, 形成了专题遥感解译图件。

2.3 土壤侵蚀影响因子信息提取与分级

土壤侵蚀是一个复杂过程, 其影响因子很多, 因此分级评价因子的选择就显得极为重要。为此需从诸多影响因子中选出最为主要的、又便于获得的因素作为分级评价因子。区域土壤侵蚀强度分级主要是对降雨因子; 成土母质因子; 地表林草植被覆盖度因子; 地面平均坡度和沟壑密度等因子指标进行综合分析, 这些指标均可通过遥感影像、地形图、土地利用图并结合相关成果资料如地质图、土壤图等获取。根据各因子值在流域内侵蚀区的具体分布情况, 确定各因子的分级赋值标准, 以揭示流域侵蚀的分布规律。

2.3.1 沟谷密度因子的提取与分级 沟谷密度因子的提取方法是根据 $1:5$ 万地形图, 利用 GIS 空间分析与空间统计功能, 自动提取沟谷密度。参考 1999 年全国土壤侵蚀遥感调查工作技术细则, 沟谷密度 (km/km^2) 按 $0 \sim 1$, $1 \sim 2$, $2 \sim 3$, $3 \sim 5$, > 5 分为 5 级, 各级因子得分见表 1。

2.3.2 成土母质因子的提取与分级定标 成土母质因子是在参考 $1:10$ 万比例尺的地质图、 $1:5$ 万比例尺的土壤图和 2005 年的 MSS 及 TM 遥感资料基础上, 综合考虑地表岩性、地表物质的组成、土壤的结构、理化性质等信息而得到的。按照全国土壤侵蚀遥感调查工作技术细则的标准, 把成土母质分为砂石质、土石质、土质、石质 4 种。这种划分方法主要是从地表物质构成及其抗侵蚀的能力考虑而提出的, 其划分的基本原则是: 凡是以黏土、壤土为主的称为土质; 凡是以基岩石块为主的称为石质; 当土、石混合不能分出以土为主或以石为主时称为土石质; 凡是以砂粒、砂砾石为主的称为砂质或砂石质。各类成土母质对土壤侵蚀强度的影响也不一样, 砂石质、土石质、土质、石质 4 类成土母质的因子得分见表 1。

2.3.3 植被盖度的提取与分级定标 由于植被覆盖

度和土地利用状况具有显著的时空分异特性,因而利用遥感数据来估算植被覆盖度和进行土地利用类型调查是遥感应用的主要领域。

为了获取植被盖度信息,笔者收集了研究区 2005 年遥感影像,利用 Erdas 遥感图象处理软件,对植被信息进行增强处理,在影像上套合已有的土地利

用图,采用目视解译的方法对土地利用类型信息进行修正。并采用人机交互的方式,按照 $> 70\%$, $70\% \sim 50\%$, $50\% \sim 30\%$, $30\% \sim 10\%$, $< 10\%$ 对植被盖度进行了分类提取。根据植被盖度越高,植被的抗蚀能力越强,土壤侵蚀强度越低,确定各类植被盖度的土壤侵蚀强度因子得分(表 1)。

表 1 土壤侵蚀影响因子分级与各级的因子得分

级别		一	二	三	四	五
沟谷密度	分级	< 1.0	1~2	2~3	3~5	> 5
	得分	2.0	3.4	5.6	6.4	8.0
成土母质	分级	石质	砂石质	土石质	土质	
	得分	3.0	6.5	7.8	10.0	
植被盖度	分级	$> 70\%$	$70\% \sim 50\%$	$50\% \sim 30\%$	$30\% \sim 10\%$	$< 10\%$
	得分	1.0	5.0	8.0	9.0	10.0
地形坡度	分级	$< 5^\circ$	$5^\circ \sim 8^\circ$	$8^\circ \sim 15^\circ$	$15^\circ \sim 25^\circ$	$> 25^\circ$
	得分	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0
加权降雨量	分级	< 200	200~400	400~600	600~800	> 800
	得分	5.2	5.9	6.3	6.6	6.9

2.3.4 地形坡度因子的提取与分级定标 在 Arc/Info 支持下,矢量化 2 种不同比例尺的地形图,构造地形结构线,建立 TIN,内插 TIN 得到不同比例尺的 DEM。然后提取相应比例尺的坡度信息,按标准进行坡度分级,得到坡度分级图后将其与地貌图进行叠加分析,提取不同地貌单元的坡度信息。

本次工作中由于研究区没有 1 : 10 万比例尺的 DEM,因此,采用了从 1 : 10 万地形图上直接人工勾绘的方法得到。参考 2000 年全国土壤侵蚀遥感调查工作技术细则,把坡度按 < 5 , $5 \sim 8$, $8 \sim 15$, $15 \sim 25$, > 25 分为 5 级;各级的因子得分见表 1。

2.3.5 降雨因子的提取 单一指标往往难以完全反映降水强度对土壤侵蚀的影响。据景可等^[8]研究,加权降雨量 $R_x (R_x = R_y + R_7 + R_8 + R_9 + R_{30} + 10R_1)$,其中 R_x 为加权雨量, R_y 为年雨量, R_7, R_8, R_9 分别为 7, 8, 9 月份的降雨量, R_{30} 为年内最大 30 d 雨量, R_1 为最大 1 d 降水量)与土壤侵蚀强度具有较高的相关性,多数地区相关系数可达 0.89。

本研究根据收集到的降雨资料的条件,采用了区内 6 个雨量站的 2002 年 7, 8, 9 月降雨量、最大 30 d 雨量、最大 1 d 雨量的加权降雨量,即: $R_x = R_7 + R_8 + R_9 + R_{30} + R_1$,编制了等值线图,且换算成面雨量,根据当地降雨的实际情况,按 < 200 mm, $200 \sim 400$ mm, $400 \sim 600$ mm, $600 \sim 800$ mm, > 800 mm 分为 5 级;各级的因子得分见表 1。

2.4 土壤侵蚀量估算

根据各因子影响度的分析,在 Arc/Info 系统中,将各因子图进行叠加分析,得到综合因子得分图。根据综合因子得分,参考水利部颁发的《关于土壤侵蚀类型及强度分级标准的试行规定》,把土壤侵蚀强度分为 5 级。具体的分级方法是:(1) 确定标准一级、标准二级、标准三级、标准四级、标准五级的综合因子得分 (E_1, E_2, E_3, E_4, E_5), 标准一级的综合因子得分为各类土壤侵蚀影响因子均为一级时的综合因子得分,标准二级、标准三级、标准四级和标准五级依次类推;(2) 计算各相邻标准等级土壤侵蚀综合因子得分的中间值 ($E_{12}, E_{23}, E_{34}, E_{45}$), 如 $E_{12} = (E_1 + E_2) / 2$;(3) 凡综合因子得分大于 0 而小于 E_{12} 的地方,其土壤侵蚀强度为一级,大于 E_{12} 而小于 E_{23} 的地方,土壤侵蚀强度为二级,其余依次类推。利用 GIS 的空间统计功能,获取各级土壤侵蚀强度的面积(表 2),假定各级土壤侵蚀强度的侵蚀模数分别为 500, 1 500, 3 500, 6 000 和 9 000 $t / (km^2 \cdot a)$;利用各级土壤侵蚀强度面积乘以相应的土壤侵蚀模数,并累加,即可得到流域的大致土壤侵蚀量。经计算,蔚汾河流域 1985 年土壤侵蚀量约为 $1.08 \times 10^7 t$ 。为了便于与实测资料相验证,本研究还对蔚汾河流域兴县水文站以上年均悬移质总输沙量进行了估算,约为 $8.87 \times 10^6 t$ 。据实测资料统计,兴县水文站多年平均悬移质输沙量为 $8.55 \times 10^6 t$,两者相差不大,说明本方法是可行的。

表2 蔚汾河流域各级土壤侵蚀强度面积及侵蚀量

级别	面积/ km ²	侵蚀模数/ (t · km ⁻² · a ⁻¹)	侵蚀量/ 10 ⁴ t
一级	282.25	500	14.11
二级	4 057.00	1 500	608.55
三级	3 638.75	3 500	1 273.56
四级	1 926.25	6 000	1 155.75
五级	258.00	9 000	232.20
总计			3 284.18

3 结论

(1) 由于土壤侵蚀过程的复杂性, 影响因子众多, 要完全定量地估算土壤侵蚀量有一定困难。本研究提出指标模型法, 利用 Arc/Info 栅格数据的处理功能, 实现各指标的定量描述和综合, 在这方面作了有益探索。

(2) 本研究在进行蔚汾河流域土壤侵蚀量估算时, 采用的是遥感技术为主、常规手段为辅的信息获取方法。由于受遥感信息源分辨率的限制, 在进行土壤侵蚀量估算时, 未考虑侵蚀防护措施中坡改梯引起的微地形坡度因子, 但这不表明对土壤侵蚀没有影响。

(3) 遥感技术与常规方法相结合, 收集不同时相土壤侵蚀影响因子数据, 应用指标模型方法完全可以做到土壤侵蚀的动态监测。

[参 考 文 献]

- [1] 景可. 中国土壤侵蚀与环境[M]. 北京: 科学出版社, 2005: 35-60.
- [2] Wischmeier W H, Smith D D. Predicting rainfall-erosion losses from cropland east of the Rocky Mountains [M]. USDA Agricultural Handbook, 1965.
- [3] 张照录, 崔继红. 通用土壤流失方程最新研究改进分析[J]. 地球信息科学, 2004(4): 51-55.
- [4] 陈宁强, 戴锦芳. 人机交互土地资源遥感解译方法研究[J]. 遥感技术与应用, 1998, 13(2): 15-19.
- [5] 卜兆宏, 李士鸿. 水土流失调查的遥感数据处理[M]. 南京: 东南大学出版社, 1989: 157-186.
- [6] 薛利红, 杨林章. 遥感技术在我国土壤侵蚀中的研究进展[J]. 水土保持学报, 2004, 18(3): 186-189.
- [7] 于芳, 甘大勇, 朱启疆. 黄土高原小流域土壤侵蚀信息系统初步研究[C] // 黄土高原遥感专题研究论文集. 北京: 北京大学出版社, 1990: 285-301.
- [8] 景可, 郑粉莉. 全国水土流失治理典型[J]. 水土保持研究, 2004, 11(4): 34-38.
- (上接第 139 页)
- [参 考 文 献]
- [1] Yuan JianGang, Fang Wei, Fan Ling, et al. Soil formation and vegetation establishment on the cliff face of abandoned quarries in the early stages of natural colonization[J]. Restoration Ecology, 2006, 14(3): 349-356, 358.
- [2] Hudson N W. Soil conservation[M]. 窦葆璋译. 北京: 科学出版社, 1976: 71, 27, 28.
- [3] 任海, 刘庆李, 凌浩. 恢复生态学导论[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 56-65.
- [4] 叶建军, 周明涛, 许文年. 谈喷射护坡绿化技术[J]. 水土保持研究, 2004, 11(2): 194-197.
- [5] 叶建军. 边坡生态防护工程中的若干问题探讨[J]. 水土保持研究, 2007, 14(5): 333-335.
- [6] 许文年, 王铁桥, 李建林, 等. 岩石边坡护坡绿化技术应用研究[J]. 水利水电技术, 2002, 33(7): 35-37.
- [7] 周颖, 曹映泓, 廖晓瑾, 等. 喷混植生技术在高速公路岩石边坡防护和绿化中的应用[J]. 岩土力学, 2001, 22(3): 353-356.
- [8] 周德培, 张俊云. 植被护坡工程技术[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003: 102-108.
- [9] 张俊云, 周德培. 厚层基材喷射护坡试验研究[J]. 水土保持通报, 2001, 21(4): 23-25.
- [10] 张俊云, 周德培. 厚层基材喷射植被护坡的抗侵蚀试验研究[J]. 西南交通大学学报, 2002, 37(6): 628-631.
- [11] 夏长华, 方雪松. 北京建材化工厂采石场边坡生态修复施工实践[J]. 地质灾害与环境保护, 2008, 19(3): 90-94.
- [12] 高丽霞, 刘水, 陈阳春, 等. 广州南沙采石场植被生态修复工程土建技术应用及评价[J]. 广东林业科技, 2008, 24(1): 60-62.
- [13] 骆会欣. 植生袋技术助研石山治理[OL]. [2009-01-06]. http://news.china-flower.com/paper/paper-newinfo.asp?n_id=205865.
- [14] 宁丰收, 游露, 杨海林. 重庆市主城区废弃采石场生态与景观恢复对策[J]. 水土保持通报, 2005, 25(3): 77-80.
- [15] 都市绿化开发机构, 地面植被共同研究会(日). 地面绿化手册[M]. 北京: 中国林业出版社, 2003: 25-26.
- [16] Donald H G, Robbin B. Soil biotechnical and soil bio-engineering slope stabilization[M]. New York: John Willy & Sons, INC, 1996: 30-36.
- [17] 聂维中, 梁世庆, 叶建军. 浅谈坡面覆盖材料[J]. 水土保持研究, 2007, 13(5): 16-18.
- [18] 李博, 杨持, 林鹏. 生态学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000: 49-56.