

# 基于地理信息系统的土壤侵蚀研究

于书霞<sup>1</sup>, 王宁<sup>2</sup>, 朱颜明<sup>2</sup>, 赵劲松<sup>1</sup>

(1. 东北师范大学 环境科学系, 吉林 长春 130024; 2. 中国科学院长春地理研究所, 吉林 长春 130021)

**摘要:** 在非点源污染研究过程中, 土壤流失量的计算是一个重要环节。结合地理信息系统和通用土壤流失方程, 选择地形、植被、降雨量等因子, 对松花湖流域常山地区土壤流失量进行了估算, 并讨论了地形、植被等因子在土壤侵蚀中的影响, 提出了相应的控制措施。

**关键词:** 土壤侵蚀模数; 地理信息系统; 通用土壤流失方程; 非点源污染

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2001)03-0020-04

中图分类号: S157.1, TP392

## Applications of GIS in Soil Erosion Research

YU Shu-xia<sup>1</sup>, WANG Ning<sup>1</sup>, ZHU Yan-ming<sup>2</sup>, ZHAO Jin-song<sup>1</sup>

(1. Environment Science Institute, Northeast Normal University, Changchun 130024, Jilin Province, PRC;

2. Changchun Institute of Geography, Chinese Academy of Science, Changchun 130021, Jilin Province, PRC)

**Abstract:** In the research of non-point pollution, how to calculate soil erosion modulus is a very important step. With the technical support of GIS, the universal soil loss equation (USLE) was used to calculate the soil erosion modulus of Changshan region in the watershed of Songhua lake. Topography, vegetation and precipitation that influence the soil erosion mould were considered. The relationships among those factors were discussed and some control measures were proposed based on the results.

**Keywords:** soil erosion mould; GIS; USLE; non-point source pollution

非点源污染与点源污染相对应, 是指溶解的或固体的污染物从非特定的地点, 在降水和径流冲刷作用下, 通过径流过程汇入受纳水体(如河流、湖泊、水库、海湾等)引起的水体污染<sup>[1,2]</sup>。美国联邦水污染控制法修正案把非点源按成因分为 4 类, 即农业活动、与森林有关的活动, 采矿活动以及建设活动<sup>[3]</sup>。这些人为活动最直接的影响是造成区域内植被的破坏和水土的流失。近年来, 非点源污染问题越来越受到包括发展中国家在内的许多国家和地区的普遍重视<sup>[4]</sup>。

然而由于非点源污染具有发生随机性、机制复杂性、形成广泛性和影响延续性等特点, 因而对其监测、负荷定量计算及控制难度很大<sup>[5]</sup>。土壤侵蚀是规模最大、危害程度最为严重的一种非点源污染<sup>[1,6]</sup>。土壤侵蚀的发生受降雨、地形、地貌、植被覆盖度及土地利用类型等多因素影响, 带有明显的随机性和多样性的特点从而很难对其进行定量计算。

对土壤侵蚀模数的计算, 是定量预测非点源污染的发生程度及污染负荷的前提, 可为制定相应的水环境规划管理措施, 控制、治理非点源污染提供科学依

据。近年来发展起来的地理信息系统是以计算机为基础, 为处理大量不同来源信息而设计的输入、管理、分析显示和输出系统。它能将不同来源的空间信息及其相互作用与关系方便地显示出来, 实现了空间数据与属性数据的完美结合, 为分析地形的空间变异提供一致的框架<sup>[7]</sup>。在环境科学领域, 已应用于环境规划、环境影响评价和资源管理等多个方面。地理信息系统和通用土壤流失方程相结合可用于计算土壤侵蚀模数。有研究表明, 当地表覆盖率大于 15% 时, 计算结果与实测数据相关系数可达 0.87<sup>[8]</sup>。

本文在地理信息系统软件 ARC/INFO 的支持下, 结合通用土壤流失方程的修改模型, 对松花湖流域常山地区的土壤侵蚀模数进行估算, 旨在研究影响土壤侵蚀因子与相关环境因子之间的关系。

## 1 研究区域及研究方法

### 1.1 研究区自然条件

常山地区位于东经 126°30'—127°, 北纬 43°20'—43°40', 属松花湖流域, 总面积 935 km<sup>2</sup>, 大陆性季风气候, 年平均降雨量 750.8 mm, 集中于 6—8 月

份, 该期间降雨量占全年总量的 66.3%。地势北低南高, 北部地势平坦, 多台地、低级阶地和低山等, 南部地势偏高, 多为切割中山及丘陵, 海拔多在 600 ~ 800 m 之间, 最高峰达 1 200 m。

## 1.2 研究方法

通过对常山地区自然地理要素资料进行收集、整理, 得到该地区的植被类型、土壤类型以及降水、地形等相关的资料统计数据或图件。在地理信息系统的 ARC/INFO 软件支持下进行数字化处理, 应用模型估算该地区不同土地利用类型中土壤的流失量和侵蚀模数。

1.2.1 模型选择 土壤流失量的估算采用由 Wischmeier 等提出, 且目前已被广泛应用的土壤流失预测模型:

$$A = 0.224 \cdot R \cdot K \cdot L \cdot S \cdot C \cdot P$$

应用上述模型时根据当地不同情况可作相应修改。本文在对常山地区进行土壤流失量预测时, 选用了吉林林学院针对松花湖地区研究的修改模型<sup>[9]</sup>。模型将方程中的土壤侵蚀控制措施因子  $P$  和土壤可蚀性因子  $K$  合并为土壤侵蚀因子  $S_t$ , 作物经营管理因子  $C$  更改为植被类型因子, 因此修改后模型为:

$$A = R \cdot S_t \cdot L_s \cdot C$$

式中:  $A$  —— 土壤流失模数;  $R$  —— 降雨侵蚀力因子;  $S_t$  —— 土壤侵蚀因子;  $L_s$  —— 平均坡度坡长因子;  $C$  —— 植被类型因子。

1.2.2 计算因子选取 (1) 土壤侵蚀因子 ( $S_t$ )。土壤侵蚀因子与土壤机械组成(砂粒、粉粒和黏粒的含量)及土壤有机质的含量密切相关。常山地区土壤类型可大致分为北部的砂壤土和南部的砂质黏壤土、黏壤土, 土壤中有机质含量均大于 4%。依照国际土壤分类制转换图转换成国际分类制所标的土壤类型, 再由土壤侵蚀性  $S_t$  的一般数量级指标表查出相应的  $S_t$  值<sup>[9]</sup>, 该地区的土壤侵蚀因子  $S_t$  分别为 0.19 和 0.21。(2) 降雨侵蚀力因子  $R$ 。对常山地区,  $R$  值的计算采用 Wischmeier 经验公式, 它既考虑了年降水总量, 又考虑了降水的年内分布<sup>[7]</sup>:

$$R = \sum_{i=1}^{12} \left[ 1.735 \cdot \exp \left( 1.5 \cdot \log \frac{P_i^2}{P} - 0.8188 \right) \right]$$

式中:  $P$  —— 流域内年平均降水量 (mm);  $P_i$  —— 各月平均降水量 (mm)。

依据常山雨量站 1985—1995 年降雨量资料推算出各月平均降水量及年平均降水量(见表 1), 用上式求得  $R$  值为 32.38, 由于研究区域面积小于 1 000 km<sup>2</sup>, 因此可认为  $R$  值处处近似相等。

表 1 常山地区平均降雨量(1985—1995 年) mm

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月
降雨量	8.0	7.6	19.3	36.4	56.9	111.5
月份	7月	8月	9月	10月	11月	12月
降雨量	237.2	149.4	73.7	19.4	19.2	12.3

(3) 植被类型因子  $C$ 。植被类型因子  $C$  的大小与植被盖度负相关。依照研究成果及常山地区自然条件确定  $C$  值分别为: 水面、水田  $C = 0$ ; 密林、灌林  $C = 0.02$ ; 滩地、沼泽  $C = 0.29$ ; 旱地、裸露山地丘陵、居民地、工矿区,  $C = 0.55$ <sup>[9]</sup>。(4) 坡长坡度因子  $L_s$ 。以常山地区 1:100 000 数字化地形图为基础, 形成栅格结构的坡度图, 同时建立坡长坡度因子数据库。考虑坡长、坡度的共同效应, 按下式计算平均坡度、坡长因子  $L_s$  值<sup>[10]</sup>:

$$L_s = (\lambda/22.1)^m (0.07 + 0.05s + 0.17s^2)$$

式中:  $\lambda$  —— 平均坡长;  $s$  —— 平均坡度;  $m$  —— 常数, 在坡度为  $0^\circ \sim 7.5^\circ$ ,  $7.5^\circ \sim 12.5^\circ$ ,  $12.5^\circ \sim 17.5^\circ$ ,  $17.5^\circ \sim 22.5^\circ$  以及坡度  $\geq 22.5^\circ$  时,  $m$  值分别为: 0.1, 0.15, 0.2, 0.25 和 0.3。

## 1.3 流失量计算

以 500 m × 500 m 为单位, 对各个图层进行栅格化。按上述因子计算方法给各因子赋值, 对每个网格内各因子进行归一化处理。根据通用土壤流失方程中的运算关系, 建立起各个网格的土壤流失量、坡度、植被因子值、植被类型及土壤侵蚀模数(表示每平方公里每年土壤流失量, 单位: t/km<sup>2</sup>·a) 的数据库, 并给出土壤流失量与地形的叠加图(图 1), 以及流失量与相关因子关系图(图 2, 3)。

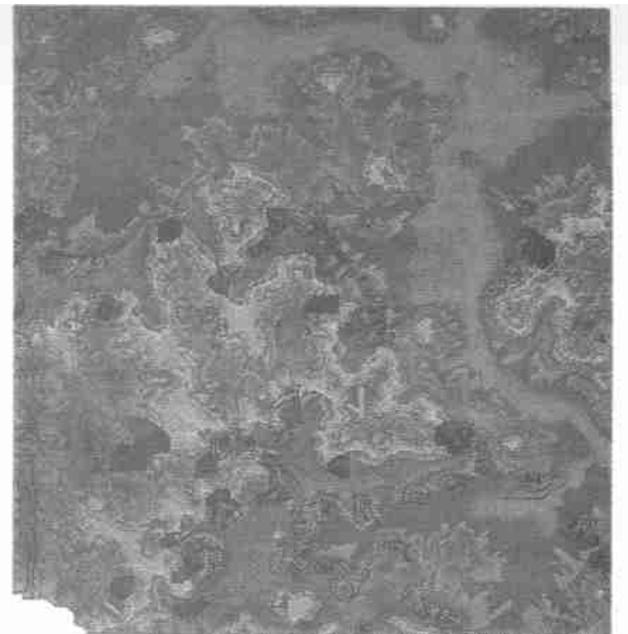


图 1 常山地区地形及水土流失量

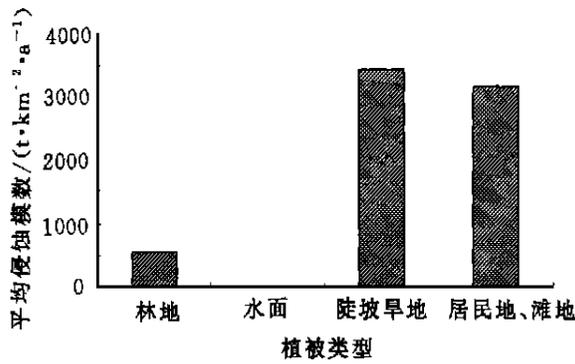


图 2 不同植被条件下的土壤流失量

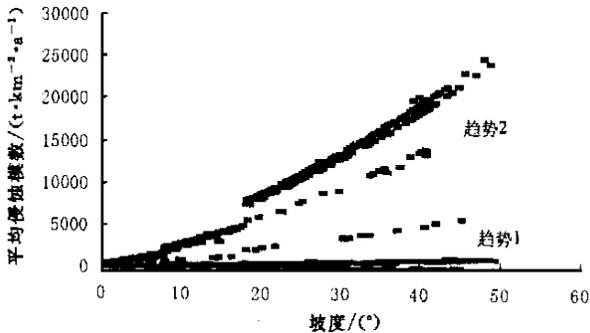


图 3 土壤侵蚀模数与坡度相互关系

## 2 结果分析

### 2.1 土壤流失量的分布

(1) 区域的南部及中部的河流沿岸或低山丘陵地区, 土壤侵蚀模数大, 这些地区容易受到人类活动的影响, 土地利用类型为旱地或居民用地, 部分地区流失模数超过了  $10\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。

(2) 区域北部土壤流失模数小, 平均值在  $500\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$  左右, 该地区地形起伏不大, 地貌类型多为台地或阶地, 植被类型为林地或疏林地; 南部及中部, 地势较高, 人类活动不易影响到的地区, 土壤流失模数相对较小, 在  $1\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$  以下。

(3) 水域土壤流失模数为 0。

### 2.2 土壤流失量与地形的关系

由图 1 可以看出, 土壤侵蚀与地形有明显的相关关系。

(1) 地势陡峭, 自然条件恶劣的地区, 水土流失严重, 侵蚀模数大; 相反, 地势平缓, 自然条件较好的地区, 土壤侵蚀模数小。例如, 坡度在  $0^\circ \sim 7.5^\circ$  之间的林地, 土壤平均流失模数为  $155.82\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ ; 而坡度大于  $17.5^\circ$  时, 平均侵蚀模数则达  $1\,619.66\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。在常山地区, 地形坡度在  $17.5^\circ$  的地区, 约占区域面积的 50%, 这部分地区土壤侵蚀严重, 土壤侵蚀总量占区域总量的 90% 以上。因此, 坡度大于

$17.5^\circ$  的地区是水土保持工作的重点。

(2) 土壤侵蚀模数的最大值, 并未出现在坡度最大、地势最高的地区, 而是在坡度相对较大的陡坡旱地。那些地势高, 坡度大, 人类活动不易影响到的地区, 土壤侵蚀模数往往出现低值。这说明, 土壤侵蚀的发生, 不仅与地形有关, 还受人类生产活动等其它条件的影响。

### 2.3 土壤流失量与土地利用类型的关系

土地利用类型对土壤侵蚀的影响, 可以利用已有数据库进行分析。计算出不同植被类型的平均土壤侵蚀模数 (见图 2), 从图中可以看出如下关系:

(1) 不同植被类型间, 土壤侵蚀模数差异显著, 侵蚀最严重的陡坡旱地, 其侵蚀模数相当于缓坡林地的 400 多倍。

(2) 区域内林地的流失模数平均值为  $537.12\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ , 其中区域的北部, 地势平缓, 自然条件好, 在土壤流失量图上为一低值区域。平均流失模数最大的地区分布于区域西南部, 地势高 ( $500 \sim 800\text{ m}$ ), 坡度较大 ( $> 17.5^\circ$ ), 生态条件相对较差。

(3) 陡坡旱地, 土壤侵蚀模数最大, 平均值  $3\,417.5\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ 。这部分地区地势高且坡度大, 自然条件恶劣, 生态环境脆弱。有关资料表明, 该地区坡耕地耕作粗放, 缺少水土保持措施, 尤其是坡度在  $17.5^\circ$  以上的地区, 土壤侵蚀非常严重并很难恢复。土壤侵蚀模数仅次于陡坡旱地的是居民用地, 这些地区由于自然条件较好, 易于开发, 频繁的人类活动, 对林地造成了严重的破坏, 因此抵御侵蚀的能力较弱, 易发生水土流失。

### 2.4 侵蚀模数、坡度及植被类型三者之间的关系

图 3 是根据区域内地形、植被及其土壤侵蚀强度而建立的相关关系图, 从图中可明显看出 2 种不同的分布趋势 (1 和 2), 说明在相同地形条件下, 侵蚀模数由于植被不同而截然不同。

(1) 趋势 1 表示在植被条件良好的情况下, 土壤侵蚀模数与坡度之间的相互关系。随坡度的增加, 侵蚀模数呈一平滑上升曲线, 表明坡度对侵蚀模数的影响并不显著。换言之, 不利的地形条件, 可以通过保持、营造良好的植被而达到控制陡坡地带水土流失大规模发生的目的。

(2) 趋势 2 表示在植被覆盖度很低的情况下, 土壤侵蚀模数与坡度之间的相互关系。侵蚀模数随坡度的增加, 呈指数关系迅速上升。区域侵蚀最严重的地区, 出现在陡坡旱地, 同样为  $30^\circ$  的坡度, 林地的土壤流失模数低于  $600\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$ , 而陡坡旱地的土壤侵蚀模数则在  $10\,000\text{ t}/(\text{km}^2\cdot\text{a})$  以上。

### 3 结论及控制措施

#### 3.1 结论

(1) 利用地理信息系统和通用土壤流失模型进行土壤流失量的计算,能综合考虑多方面因素,进行多因子分析,对于定量预测土壤侵蚀量,制定水土保持对策,以及进一步定量计算土壤中N、P的流失,控制非点源污染具有重要意义。

(2) 土壤流失量的大小是降水、地形、植被等因子综合作用的结果。在降雨因子相同的情况下,土壤侵蚀量大小主要由植被和坡度2个因子决定。其中,植被因子起到了决定性作用,在相同植被条件下,随坡度的增加,侵蚀模数相应增加;不同植被条件下,土壤侵蚀模数呈现出明显差异。

(3) 土壤侵蚀高发区多分布在人为活动频繁、天然植被破坏严重的地区,如陡坡旱地、居民地和裸地等地区,说明人类活动对土壤侵蚀有直接影响。

#### 3.2 控制措施

由以上分析可见,保护植被是防治土壤侵蚀,进而控制非点源污染的关键措施。在区域内合理地规划和利用土地,适度开发利用资源是至关重要的。针对常山地区的具体情况,为保护生态环境,控制水土流失的发生,应该从以下几个方面入手:

(1) 合理利用,适度开发。在中上游山地丘陵地带,合理开发利用土地资源,保护森林及其它植被类型,禁止毁林开荒,对坡度大于 $17.5^{\circ}$ 耕地实行退耕还林、还草。

(2) 加大对环境的投入。对于生态环境脆弱的中上游地区,增加水土保持林的面积,优化森林结构,实行乔、灌、草结合,针阔林混交,提高森林质量和涵养水源、保持水土的能力。

在中下游地区,发展生态农业,推广林、草、田相结合的科学种植模式;通过发展沼气等途径,解决农村能源问题,以减轻对林地的压力;合理利用土地资

源,搞好小流域综合利用,综合治理。

(3) 制定、健全各项环境保护法规、制度,保证各项环境保护规划、计划以及保护措施的贯彻实施。通过增强环境宣传教育、经济及政策的导向,提高人们的环境保护意识并鼓励人们自觉保护生态环境,保护自然资源的行动。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [ 1 ] 贺缠生,傅伯杰,陈利顶.非点源污染的管理及控制[J].环境科学,1998,19(5):87-91.
- [ 2 ] Novotry V, Olem H. Water quality: prevention, identification and planning[J]. Journal of Water Resource Planning Management, 1993, 119: 306.
- [ 3 ] 刘枫,王华东,刘培桐.流域非点源污染的量化识别方法及其在于桥水库流域的应用[J].地理学报,1988,43(4):229-239.
- [ 4 ] Corwin D L, Loague K, Ellsworth T R. Advanced information technologies for assessment nonpoint source pollution in the vadose zone: Conference overview[J]. Journal of Environmental Quality, 1999, 28(2):357-365.
- [ 5 ] 朱颜明,黎劲松,杨爱玲,等.城市饮用水地表水非点源污染研究[J].城市环境与城市生态,2000,13(4):1-4.
- [ 6 ] 郭旭东,陈利顶,傅伯杰.土地利用/土地覆被变化对区域生态环境的影响[J].环境科学进展,1999,7(6):66-75.
- [ 7 ] 王珂,许红卫,王人潮.应用污染模型和地理信息系统评价和管理农业非点源污染[J].环境污染与防治,1997,19(6):30-31.
- [ 8 ] 游松财,李文卿.GIS支持下的土壤侵蚀量估算——以江西省泰和县灌溪乡为例[J].自然资源学报,1999,14(1):62-67.
- [ 9 ] 孙继武,杨庆才,宋文和编.保护生命之水——松花湖三湖整治与综合开发研究[M].长春:吉林科学技术出版社,1997.129-137.
- [ 10 ] 陈克平,宁大同.基于GIS非点源污染模型的地形因子分析[J].北京师范大学学报(自然科学版),1997,33(2):281-284.