

石家庄市土壤侵蚀定量评价研究

韦 中 亚

(北京大学城市与环境学系 北京 100871)

摘 要 运用地理信息系统方法, 结合遥感数字图像处理, 对石家庄市土壤侵蚀进行了定量评价。通过对地形、地貌、土壤、植被等自然条件的分析和野外调查, 收集到与侵蚀有关的遥感、气候资料及各类专题图件, 筛选出了影响土壤侵蚀的 12 个因子, 结合专家打分模型得到多因子融合后的复合评价结果, 并与野外调查取得了很好的一致性。同时还对评价结果进行了验证和解释。

关键词 地理信息系统 遥感 土壤侵蚀 定量评价 专家打分模型

Quantitative Evaluation on Soil Erosion of Shijiazhuang

Wei Zhongya

(Department of Urban and Environmental Sciences, Beijing University Beijing 100871)

Abstract Soil erosion of Shijiazhuang is evaluated quantitatively with geographical information system and remote sensing methods. Based on fieldwork and the analysis of nature conditions of terrain, relief, soil and vegetation etc., we collect the data of remote sensing image, climate and other thematic map, and select twelve factors affecting soil erosion, using expert marking model, we get the complex assessing result which was consistent with fieldwork, and give a scientific explanation.

Key words geographical information system remote sensing soil erosion quantitative evaluation expert marking model

土壤侵蚀是地貌演化的必然结果, 地壳内外营力的相互作用构成了周而复始的地表侵蚀循环。由于人类的频繁活动, 对自然资源的不断开发, 打破了这种自然循环的平衡状态, 落后的、不科学的生产经营方式和对土地资源无度的开发与利用, 加剧了土壤侵蚀过程, 造成了严重的水土流失。1996 年 8 月上旬石家庄市太行山区遭受 50 年一遇暴雨袭击, 土壤侵蚀区山洪暴发, 河水猛涨, 山体滑塌, 多处发生泥石流, 损失惨重。因此, 调查并研究土壤侵蚀状况及其变化规律, 积极开展水土保持, 其意义深远而重大。

1 研究区概况

研究区为石家庄地区, 包括两市(石家庄市、鹿泉市)、三县(井陉、正定、栾城), 地处河北省中

南部,东经 113°48′~114°50′和北纬 37°40′~38°22′。平均海拔 77.9 m。山区和平原的地势倾斜呈明显反差^[7]。西部山区地势基本上自南向北倾斜,而东部平原地势则由西北向东南倾斜。该区为山西地台和渤海凹陷之间过渡地带。太古代各种变质岩分布面积最大,其次为砂岩、页岩和石灰岩等,丘陵区大部分被第四纪沉积物所覆盖。本区土壤类型随海拔高度的上升呈有规律的变化,自丘陵至山地主要分布为:石灰性褐土-褐土-淋溶性褐土-棕壤土-山地草甸土。石家庄市土壤质地绝大部分为轻壤质土和中壤质土。本区地处半湿润半干旱区,属暖温带大陆性季风气候。石家庄市年平均降水量为 480~570 mm,降水地理分布特征是西多东少。本区地带性植被为落叶阔叶林^[11],由于长期人类活动的影响,原始森林已破坏殆尽,只在西部人类活动稀少的山区,尚有少量的天然次生林分布。

2 工作思路与流程

地理学作为一门自然科学,有着其自身的规律,即地理现象和地理过程是由多种因素影响的^[1]。土壤侵蚀的表现形式多种多样,移动方式既有悬移质形式也有推移质形式;土壤侵蚀产生、发展的诱导因素也错综复杂,侵蚀动力类型又可分为水力、风力和冻融活动导致的重力侵蚀等多种类型。研究方法也多种多样,可以从宏观到微观,从不同尺度、不同角度进行研究。

传统的土壤侵蚀研究多采用野外观察和定性描述相结合的方法,土壤侵蚀定量评价的研究则需要用多种现代理论和方法的综合。现代土壤侵蚀研究是以包括地质学、地貌学、土壤学、水文学、水力学等为基础,运用力学、数学、化学等方法研究土壤侵蚀的发生、发展及其变化^[3],所涉及的现代理论和方法包括灰色系统理论、模糊数学、层次分析法、统计方法和数据库方法、专家系统等,仅凭单一方法是不能胜任土壤侵蚀评价的,能使多种现代理论方法和基础科学统一在一起的唯有地理信息系统 GIS (Geographic Information System) 技术。就土壤侵蚀现象本身而言,其影响要素和影响机理的确定是困难的,因而在研究中需要采用定性与定量相结合的方法^[6]。

鉴于以上的分析,本次研究我们考虑到下垫面、气候和人类干预诸要素的影响,下垫面因素可以使用前人研究成果通过地理信息系统 (GIS) 的常规方法得到解决;气候因素则可以从当地气象台站的观测得到;人为因素的影响可以通过遥感及其它方法解决。整个研究设计的技术思路和方法流程可以归结如图 1 所示。

3 资料的收集与野外调查

本次研究工作的数据来源主要有以下 5 个方面。

3.1 原始专题图件

包括地貌岩性分类图(1:25 万)、土地利用现状图(1:5 万)、侵蚀强度图(1:50 万)、土壤类型图(1:5 万)等一系列反映本区各环境要素的专题图。

3.2 地形数据

为了得到石家庄市的地形信息,我们收集到 25 幅 1:5 万地形图,经输入、插值、数字地形模型等一系列计算,得到坡向、坡度、高程分级等数据。

3.3 遥感影像数据

本次工作采用的遥感数据是 1997 年 10 月 19 日的 TM 1~7 个波段的卫星影像。作为参考的

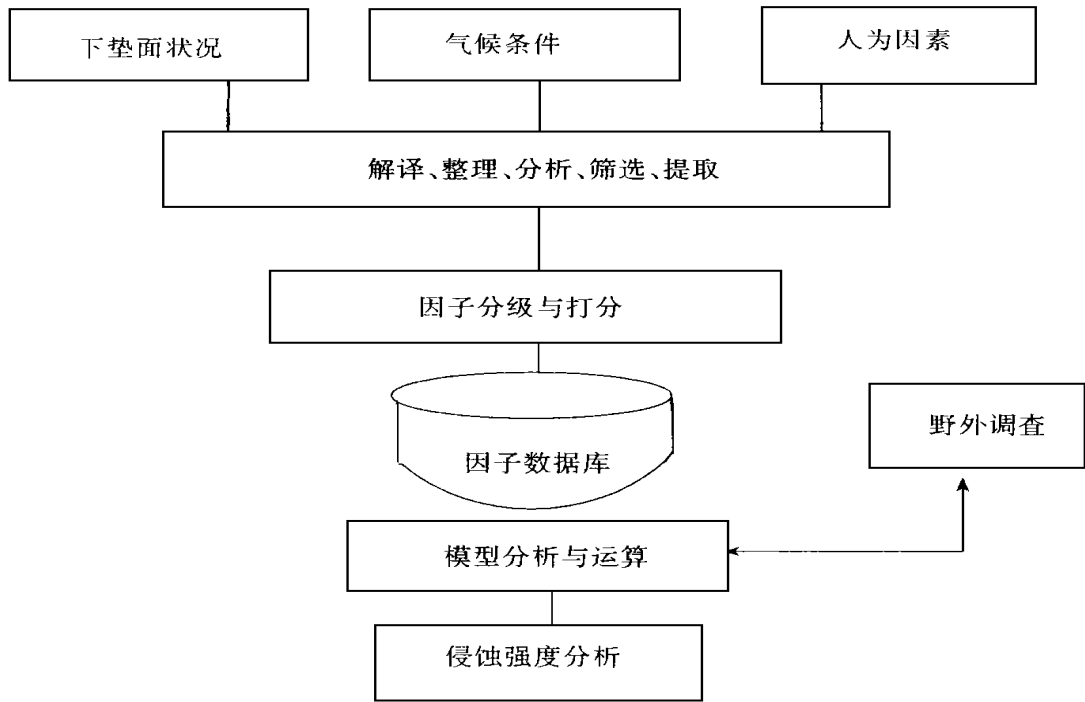


图 1 土壤侵蚀研究技术路线与流程

遥感影像数据还有 1993 年 5 月 27 日的 TM 1~ 7 个波段和 1987 年 3 月 25 日的 TM 4~ 7 个波段以及 1994 年 1 月 23 日 TM 1~ 7 个波段。由于没能收集到同一时相的遥感影像数据, 数据处理以 1997 年 5 月 27 日的数据为主, 以其它时相的数据为参考。

3.4 统计数据

包括气象台的降雨量统计、各防汛抗旱指挥部的每年统计结果等。这些数据对本研究结果的验证至关重要。

3.5 野外调查数据

此次研究野外调查采用了 GPS 进行定位, 对野外 93 个采样点以及野外调查的路线作了详细记录, 为遥感处理过程中植被覆盖度的确定和验证提供了依据。

4 土壤侵蚀要素的筛选与量化

在研究中, 进行定量分析的一个前提是对研究对象特征描述的定量化和分析方法的数学模型化, 而侵蚀要素的筛选与量化则是影响评价结果的关键。对研究区进行土壤侵蚀单元的划分方法主要有两种:

- (1) 将研究区划分为大小一致的规则栅格。
- (2) 按特征因子空间分布划分成多边形单元。

以规则栅格为单元的划分方法, 单元数目多, 但所建模型比较通用; 按特征因子空间分布多边形划分的方法, 单元数目较少, 但当空间特征因子较多时, 需要进行大量的多边形求交运算, 多边形单元的数目也随之剧增, 运算速度锐减。因此, 我们采用栅格单元法对研究区进行划分。考虑到遥感数据的分辨率, 以 30m × 30m 为栅格单元, 将研究区划分成 3 666 × 3 088 栅格阵列。

根据本区土壤侵蚀的特点, 研究中我们选用以下 7 个方面共 12 个要素作为土壤侵蚀评价的影响因子。

4.1 地貌及基岩状况对土壤侵蚀的影响

地貌类型对土壤侵蚀的强度有着直接的影响, 因而在研究中给以该因素较高的权重, 为 10。研究中我们考虑了地貌分类和岩性两因子的影响, 二者对土壤侵蚀影响的相对权重都定为 5。

4.2 地形图的输入与相关因子的提取

地貌的形态可以视为各种形状和坡度的斜面在空间的组合, 也可以把它解析为各种长度、坡度、坡向几何图形的不同组合^[3]。作用于各种几何面上不同大小和方向的力的做功过程, 以及各种几何面对作用力作用过程的反馈, 则构成了地貌因素影响侵蚀的物理本质。其中坡度是形成土壤侵蚀的根本原因, 对侵蚀强度的影响也非常大, 一般来说, 地形的坡度越大, 侵蚀的可能性也越大, 但在实际的研究中发现, 当坡度超过一定的角度后, 一般为基岩坡, 其稳定性反而更高^[1]。同时, 我们考虑到高程对土壤侵蚀的影响将高程数据分级, 并分别由专家打分进入 GIS 数据库。

4.3 降雨因子获得

降雨是产生土壤侵蚀、引起水土流失的动力因子。降雨一方面通过雨滴的击溅作用使地表产生剥蚀, 另一方面又通过汇集形成地表径流, 对地表产生冲刷作用。在影响水土流失的诸因素中, 降雨对水土流失的影响起着决定性的作用。可以说, 有降雨才有可能引起侵蚀, 没有降雨就没有侵蚀^[5]。

此次研究, 我们考虑了年降雨量和日最大降雨量两因子。年降雨量采用河北地理所提供的 80 年代平均年降雨量等值线图, 通过数字化仪输入和三角网插值而得到石家庄市年降雨量图。日最大降雨量图则是通过少量气象监测台站点的日最大降雨量记录输入点数据而 GIS 内插生成栅格数据。

4.4 土壤分类因子分析

土壤是被侵蚀的对象, 它是土壤侵蚀的主体。土壤对各种外营力的影响存在着抗侵蚀的作用, 这可以从土壤的可蚀性和抗蚀性两个方面进行说明。土壤的抗侵蚀作用又被区分为两种不同的作用类型, 抗蚀性和抗冲性。土壤抵抗侵蚀的能力主要取决于土壤的各种属性, 土壤机械组成、土壤结构以及土壤有机质的含量等。本次研究我们以土壤质地为分类依据进行分类, 共分 7 类。

土壤母质对风化过程、风化产物、土壤类型及其抗蚀能力都有重要的影响^{[4][5]}; 对于沟蚀的发生和发展以及崩塌、滑坡、泻溜、泥石流等的侵蚀活动也有密切的关系。所以, 本次研究中土壤母质作为较重要因子参与评价。

4.5 土地利用因子的获得

土地利用是人类对自然的干预, 土地资源的不合理利用, 毁林开荒、开矿修路等破坏性活动必然加剧水土流失。对土地利用信息的获得我们选择两条途径, 一个是土地利用现状图, 一个是土地覆盖遥感分类图。用遥感数据进行土地覆盖分类较容易, 因为土地覆盖是可以从图像上直接观测或模拟的^[2]。土地利用现状图由于年代的变迁和制图中存在的误差, 因此在研究中作为一个较次要的因素, 仅作参考, 权重为 5。

利用遥感资料进行土地覆盖的分类, 其分类体系的选择至关重要^[8], 不同的分类体系就有不同的分类结果。美国地质调查局 1976 年为使用遥感图象进行土地利用和土地覆盖制图而制定的分类系统是一个多层分类系统。它共有 4 级: 头两级适合于当时技术条件下的卫星遥感, 而更细的两级适合于航空遥感数据分类。鉴于此次研究采用 TM 数据分辨率的条件, 我们确定了本次

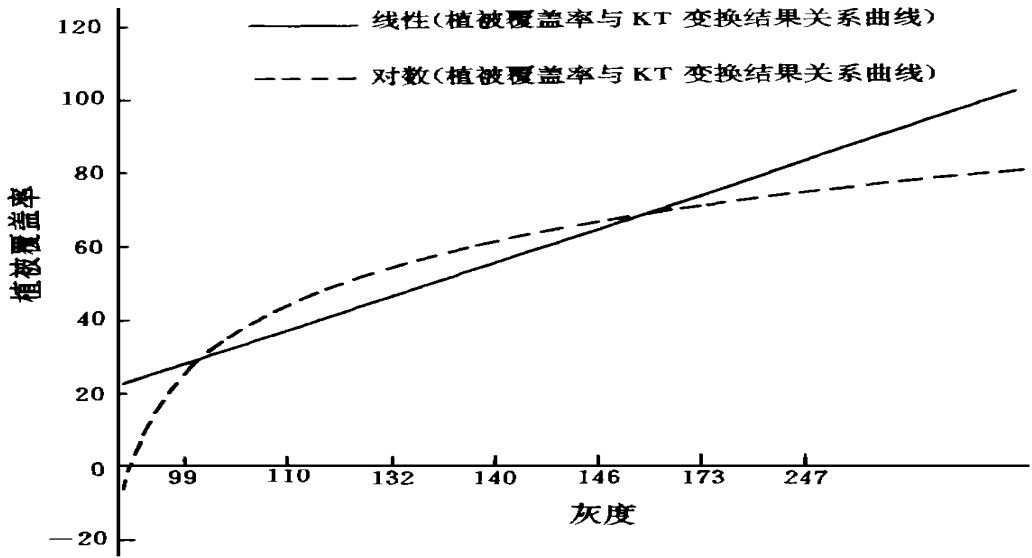


图 2 植被覆盖率与 KT 变换结果关系曲线

研究的分类标准。由于该因素来源于遥感分类结果,具有实时性强和比较准确地反映了土地覆盖的实际状况,所以将权重定为 15。

4.6 植被覆盖度的遥感解译

植被与土壤侵蚀的关系十分密切。良好的植被覆盖有助于保持水土,防止流失;破坏植被则加剧水土流失^[10]。这次石家庄市土壤侵蚀研究中,我们选择了植被覆盖度作为评价因子。为了得到石家庄市的植被覆盖状况,先对 TM 1~5 和 TM 7 影像进行 KT 变换。为建立植被覆盖率与 KT 变换的关系,笔者与河北地理所有关专家于 1998 年 10 月中旬对研究区进行历时一周的野外调查。调查中,我们选择 93 个野外采样点,并对各点的地质、地貌、植被覆盖状况以及侵蚀强度进行考察,最终选中具有代表意义的 42 个点进行统计分析,并编制成图(图 2)。从图中容易发现 KT 变换结果的第二通道与植被覆盖率的分布上具有高度的一致性,灰度(P)越大,覆盖率(C)也越大。

统计回归方程为:

$$C = 0.4358P - 4.5472$$

自由度:DF 为 256; 相关系数: $r = 0.748$; 置信度水平: $\alpha = 99\%$ 。

根据野外调查所得到的绿度指数与植被覆盖率的对应关系,对变换结果进行分级。研究中我们将该因素的权重定为 20。

4.7 沟谷密度分布

沟谷密度以单位面积的沟谷线总长度来计量,反映了地表的破碎程度。地表愈破碎,侵蚀沟就愈不稳定,也就越长,水土流失就越严重。沟谷密度是作为侵蚀结果因子参与评价的。通过对遥感或地形数据的处理可以提取沟谷线信息,本次研究中沟谷线信息是通过地形数据运用主概率随机游走模型进行模拟而得。

5 分析结果与验证

在本次研究过程中,通过对评价结果的多方验证和对参加评价的 12 个因子反复考察,运用

统计分析的方法,对 12 个因子进行了进一步的筛选,挑出了 5 个主要因子,并进行了评价。对照两种评价结果,得出了一些认识。同时,在评价的过程中,我们还得出了一些土地利用和规划方面具有指导意义的启示。

5.1 评价因子相关性分析

我们对参加评价的 12 个因子与侵蚀强度及它们之间的相关性进行了统计分析发现: 土地覆盖、坡度分级、植被覆盖度与土壤侵蚀强度相关系数较大,说明其相关性密切。同时还发现: 地貌部位和高程分级、土地覆盖与土地利用、岩性与成土母岩等相关系数均较大,在评价中可以不作为独立的因子参加评价。

从而为我们进一步筛选土壤侵蚀评价因子提供了的依据: 首先我们选择如土地覆盖(土地利用)、坡度分级、植被覆盖度等与土壤侵蚀强度相关较密切的因子作为评价因子,其次对它们进行进一步筛选,根据因子的特性进行分组,对于组内因子之间相关性强的,我们仅选取与土壤侵蚀强度相关最密切的因子作为评价因子,而淘汰其它因子。通过综合比较与分析,我们最终确定了与土壤侵蚀强度相关最密切的 5 个因子: 地貌部位、坡度分级、土壤质地分类、土地覆盖分类、植被覆盖度等作为评价因子。

5.2 石家庄市土壤侵蚀总体状况评价及验证

通过专家打分模型的计算,并对照前人研究成果进行对比分析,根据水利部(1986)在《水土保持技术规范》中的有关标准,将土壤侵蚀分为 6 级^[9],考虑到本市没有极强度侵蚀区,我们可以得到一系列石家庄市土壤侵蚀强度分级图。从中发现,在石家庄市区、正定和栾城县等平原地区,基本上为无侵蚀区,而在地形起伏较大的井陉县、鹿泉市的中山、丘陵区,则多为中度和强度侵蚀区。

我们将本次研究所得的 1993 年和 1997 年的土壤侵蚀强度图与 1990 年水利部调查石家庄市侵蚀强度分级结果进行对比,得出同一侵蚀级别面积重叠率(表 1)。从表中发现我们的评价方法所得结果与前人评价结果面积重叠率比较高。

表 1 同一侵蚀级别面积重叠率表

侵蚀级别	评价结果	轻微侵蚀区	中度侵蚀区	强度侵蚀区
1997 年评价结果	72.24	62.56	73.79	65.52
1993 年评价结果	74.51	70.99	74.53	65.77

5.3 土地利用和规划的启示

在本次研究中,我们利用地理信息系统强大的逻辑查询与分析功能,就坡耕地对土壤侵蚀的影响作了统计分析(表 2)。从表中可以看出: 强度侵蚀区坡耕地所占面积百分比远大于中度和轻度侵蚀区。有研究表明: 流域输沙量的 70% 来源于坡耕地^[3]。这正好与本文的论断相一致。由此表明,减少坡耕地的使用,特别是在山区丘陵地带,开展坡耕地退耕还林还草的工作,对于防止水土流失有着重要意义。

表 2 不同侵蚀级别坡耕地面积百分比统计表

评价结果	轻微侵蚀区	轻度侵蚀区	中度侵蚀区	强度侵蚀区
1997 年评价结果	1.8	2.20	5.66	8.22
1993 年评价结果	2.21	7.18	9.67	10.11

表 3 90 年代石家庄市土壤侵蚀不同级别实际面积比较 (单元格面积 900m²)

评价结果	轻微侵蚀区	轻度侵蚀区	中度侵蚀区	强度侵蚀区
1990 年评价结果	2662161	259071	568613	100957
1993 年评价结果	2564921	742724	208459	62464
1997 年评价结果	2499384	801387	194701	83096

同时,我们还注意到从 1993 年到 1997 年各级别面积的变化,根据实际计算结果统计(表 3)。从表中可以看出,90 年代石家庄市土壤侵蚀的变化趋势:总体上本市土壤侵蚀强度有明显减轻趋势,轻微侵蚀区、轻度侵蚀区面积都一定程度的扩大,中度侵蚀区面积有减少的倾向,但强度侵蚀区面积有一定的上涨倾向。这主要是由于山区地带过度的石灰矿开发引起的大面积裸地和矿渣堆积区,雨季到来时常常成为泥石流、滑坡等灾害的物质源,应该引起当地政府有关部门的注意。

致谢: 本研究得到北京大学城市与环境学系杨景春教授、邬伦教授悉心指导,特此致谢。

参考文献

1 邬伦等. 地理信息系统教程. 北京大学出版社, 1994

2 宫鹏. 城市地理信息系统 方法与应用. 北京: 中国海外地理信息系统协会, 1996

3 刘秉正, 吴发启. 土壤侵蚀. 西安: 陕西人民出版社, 1997

4 杨勤科, 李锐. 中国水土流失与水土保持研究进展. 水土保持通报, 1998, 18(5)

5 胡良军. 基于 GIS 的区域水土流失定量评价指标研究. 水土保持通报, 1998, 18(5)

6 陈子丹, 李琳. 基于 GIS 多因子分析及其信息融合技术的土壤侵蚀分级制图研究. 遥感信息, 1998, (2)

7 李建英等. 石家庄志: 第一卷. 中国社会出版社, 1995

8 宫鹏, 史培军等. 对地观测技术与地球系统科学. 北京: 科学出版社, 1996

9 卜兆宏等. 水土流失定量遥感方法及其应用的研究. 土壤学报, 1996(8)

10 卜兆宏等. 用于土壤流失量遥感监测的植被因子算式的初步研究. 遥感技术与应用, 1993(12)

11 刘源. 河北植被. 北京: 科学出版社, 1996

12 W ishmeier W H, Smith D D. Predicting Rainfall Erosion Losses- - A Guide to Conservation Planning . In: U SDA Agriculture Handbook No. 537. Washington, D. C. 1978

13 Laflen J M, Lw onard J L, Forster G R. WEEP A New Generation of Erosion Prediction Technology . J of Soil and Water Cons. 1991, 46(1)

14 Spanner M A et al. Soil Loss Prediction in A Geographic Information System Format . In Proc of the Inter. Sym. on Remote Sensing of Environment, 1983

15 Lane L J, Renard K G, Foster G R , Laflen J M . Development and Application of Modern Soil Erosion Prediction Technology- - The U SDA Experience Aust J. Soil Res. 1992, 30

16 Jeffrey Star , John Estes. Geographic Information System s, Press of U niversity of California, 1988