

地理信息系统在侵蚀产沙模型与水土保持监测中的应用

刘纪根¹, 蔡强国¹, 刘前进², 樊良新³

(1. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101;

2. 华中农业大学, 武汉 430070; 3. 西北农林科技大学, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 将侵蚀产沙模型和地理信息系统集成起来, 将地理信息系统应用于水土保持监测中, 充分利用 GIS 在数据管理、空间分析及可视化方面的功能, 是今后侵蚀产沙模型与水土保持监测的发展方向。总结了地理信息系统在侵蚀产沙中的应用, 阐述了地理信息系统与侵蚀产沙模型集成的发展历史, 并对其 3 种结合方式进行了评述。同时, 也就地理信息系统在水土保持监测中的应用进行了总结。

关键词: 侵蚀产沙模型; 地理信息系统; 集成; 水土保持监测

中图分类号: S157.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2004)02-0065-04

Integration of Geographical Information System Technology and Sediment Yield Model

L U Ji-gen¹, CA IQ iang-guo¹, L U Q ian-jin², FAN L iang-x in³

(1. Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

3. Northwest Sci-tech University of Agriculture and Forestry, Yangling 712100, Shaanxi, China)

Abstract: Integrating geographical information system and sediment yield model in soil and water conservation monitoring using geographical information system, utilizing the functions of GIS in datum government, spatial analysis and visual acquisition, are the heading of sediment yield modeling. Geographical information system applications in sediment yield were summarized, the history of integration geographical information system and sediment yield model were expounded, at the same time, three integration ways were discussed. At last geographical information system use in soil and water conservation monitoring were summarized.

Key words: sediment yield model; geographical information system; integration; soil and water conservation monitoring

1 引言

土壤侵蚀模型是定量评价土壤侵蚀影响, 进行土地利用和水土保持规划的科学工具。近年来, 土壤侵蚀模型由经验模型向基于侵蚀机理的过程模型发展, 和由单坡面模型向流域模型发展。水土保持监测则对土壤侵蚀和治理效果进行动态分析, 为侵蚀模型提供大量必要的数据库。地理信息系统(GIS)是以地理信息空间数据库为基础, 在计算机软硬件的支持下, 对空间相关数据进行采集、管理、操作、分析、模拟和显示, 并采用地理模型分析方法, 适时提供多种空间和动态

的地理信息, 为地理研究和地理决策服务而建立起来的计算机技术系统^[1]。将流域侵蚀过程模型与 GIS 结合, 研究流域径流、侵蚀、产沙的时空变化规律, 是土壤侵蚀模型发展的一个趋势。近年来, 空间分布式机理-过程模型的发展得到人们的重视。Moore 等认为人类已进入“空间模拟”的时代。空间分布式地学模型的建立与应用, 离不开地形信息, 地形起伏、坡度、坡向不仅决定了土壤的发育, 植被的生长, 控制着土壤水分, 一定意义上还决定着土地的利用方式。对一个小的汇流区, 坡面的产流汇流与坡形有直接的关系。对一个流域, 各子流域相互间的径流网络则决定着流域出流的过程。

收稿日期: 2004-02-10

基金项目: 国家自然科学基金“流域侵蚀产沙过程中的尺度转换及模型研究”(40271075); 中国科学创新工程重要方向项目“水蚀预报模型研究”; 中科院地理科学与资源研究所知识创新工程项目(CXDG-A00-05-02)资助

作者简介: 刘纪根(1975-), 男, 湖北汉川人, 中国科学院地理科学与资源研究所博士研究生, 主要从事流域侵蚀产沙方面的研究。

因此,流域的数字高程模型以及土地利用现状、植被覆盖、土壤类型等数据被看作是支持空间分布式模型的基本参数,而所有这些又都和水土保持监测项目紧密的联系在一起的。因此,水土保持监测是进行侵蚀预报的基础,而侵蚀模型则又为水土保持监测决策者提供了依据。充分利用 GIS,合理进行水土保持监测,将地理信息系统与侵蚀模型集成起来是当前研究的必然趋势。

2 地理信息系统在侵蚀产沙模型中的应用

GIS 是一个采集、存储、分析和显示具有空间位置信息的计算机系统,是处理和分析地理数据的通用技术。当前研究集中于 GIS 与分布式确定性模拟模型的集成^[2~4]。

自 1963 年加拿大地理学家 Tom linson 开发出世界上第一个地理数据分析系统,地理信息系统在土壤侵蚀方面得到了广泛的应用。ANSWERS^[5](Beasley et al, 1980)模型是 Beasley 等在 80 年代研究出的用以模拟荷兰水土流失的模型,该模型用网格法对研究的流域进行处理,再分别对各个地貌单元进行侵蚀产沙的数理描述,它可以计算径流传输条件下的土壤流失,可与栅格 GIS 连接并利用遥感数据。1980 年 Knisel 开发出了用于评价田间尺度多种耕作措施下土壤侵蚀和水质状况的 CREAMS^[6](Knisel, 1980)模型,Whited^[7](1998)利用基于 GIS 的 W EPP 和 GREAMS 模型对城郊边缘的河谷流域的侵蚀产沙进行计算和比较,以评价基于规划土地利用与现在土地利用条件下的产流、产沙及水质状况。1989 年 Young 开发出了一个基于方格框架组成的流域框架的分布模型- A GNPS^[8](Young et al 1989),该模型由栅格采集模型参数,用以模拟次暴雨径流和侵蚀产沙过程。Engel^[9~12]等在 GIS 与土壤侵蚀模型结合方面作了大量的研究,1991 进行了 GRASS 和 ANSWERS 的集成,开发了一个界面作为模型的操作平台,通过平台调用 GRASS 创建,处理,管理模型的输入数据,然后通过平台调用侵蚀模型进行计算,最后可直接调用 GIS 显示分析计算结果;同年又用这种方式建立了 GRASS 与 A GNPS 模型的集成。1996 年 DeRoo 开发出了基于土壤侵蚀过程和 GIS 的土壤侵蚀预报模型- L ISEM^[13,14](De Roo, 1996),该模型实现了与栅格 GIS 完全集成,极大地方便了模型参数的输入与管理,使土壤流失和径流过程空间变异以及水土保持的精确空间定位成为可能。

我国在这方面起步较晚,主要应用 GIS 结合一些土壤侵蚀模型对一些地方的水土流失进行了研究,或用遥感技术和地理信息系统技术提取所需因子,用回归分析的方法建立侵蚀计算公式,最后用 GIS 的图形运算显示计算结果。1992 年付炜^[15]应用 RS 和 GIS 技术提取了羊道沟小流域土壤侵蚀模型所需的各种参数,结合灰色理论确定了模型参数,建立了相应的土壤侵蚀模型,并用实测资料进行了检验。1994

年傅伯杰^[16]等尝试了 DEM 在土壤侵蚀类型与过程研究中的应用。1996 年江忠善^[17]等人在分析小区观测资料的基础上,应用 ARC/INFO 地理信息系统建立了小流域次降雨土壤侵蚀空间变化的定量计算方法,并用实测资料进行了检验,结果表明利用 GIS 技术可以较为准确地模拟土壤侵蚀的空间变化特征。同年吴礼福^[18]以 DTM 上的最小沟谷为侵蚀的基本单元,在对坡面和沟谷进行不同处理的基础上,建立了土壤侵蚀模型,并用府谷县为研究对象,对模型参数的提取方法和精度进行了检验。1999 年游松财^[19]在地理信息技术(GIS)的支持下,应用通用土壤侵蚀方程估算了江西省泰和县灌溪乡的土壤侵蚀量。2000 年蔡崇法^[20]等在地理信息系统 DRISI 支持下,建立了典型小流域地理数据库,根据 USLE 土壤侵蚀预测模型对数据库实施运算操作,预测了小流域土壤侵蚀量,确定了定量计算通用土壤流失方程 USLE 因子指标的方法。同年陈松林^[21]以福建省延平县为例,在地理信息系统软件 ARC/INFO 的支持下探讨土壤侵蚀与土地利用的关系。2001 年于书霞^[22]等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,对松花江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。以上只是用 GIS 并结合统计方法来定量研究土壤侵蚀,没有设计土壤侵蚀的过程。蔡强国^[23](1996)在 DRISI 软件的支持下建立了一个具有一定物理基础的能表示侵蚀-输移-产沙过程的小流域次降雨侵蚀产沙模型;它由三个子模型构成:坡面子模型,沟坡子模型,沟道子模型;模型考虑了降雨入渗、径流分散、重力侵蚀、洞穴侵蚀及泥沙输移等侵蚀过程,从侵蚀机理上对影响侵蚀过程的因子进行定量分析,从而建立了黄土丘陵区侵蚀产沙过程模型。这是利用 GIS 的空间分析功能对侵蚀产沙的过程进行量化研究的较为成功的尝试。2001 年符素华^[24]等开发了一个流域尺度的、以次暴雨为基础的分布式模型,该模型与 GIS 采用全集成的连接方式,将土壤侵蚀模型完全嵌入到 GIS 中,使模型的数据准备、输入、计算、图形输出均在土壤侵蚀系统内进行。该模型可以用于评价不同土地利用、水土保持措施等对水土流失的影响,并且可反应因土地利用、土壤特性、地貌等在空间上分布不同而引起的水土流失空间变化。这是在我国土壤侵蚀模型与 GIS 集成的一个新的尝试。

3 地理信息系统与侵蚀产沙模型的集成

GIS 以其对空间数据的输入、存储、查询分析、管理和显示输出能力,日益成为土壤侵蚀模型应用不可或缺的工具,并出现了大量的侵蚀模型与 GIS 结合的实例。由于 GIS 提供了表达空间特征的能力,土壤侵蚀模型有旨在模拟土壤颗粒在地表被外力剥蚀、搬运和沉积的过程,两者的结合不可避免,成功的整合依赖于成功的 GIS 和模型。由于 GIS 具有

强大的栅格分析能力,使得基于栅格单元模型更易于与 GIS 结合。试验模型由于其因子很容易被导入 GIS 层中,它们与 GIS 的整合相对比较容易得多。而基于物理过程的模型由于需要复杂的参数数据层,两者的连接要困难一些^[25]。GIS 与土壤侵蚀模型的结合方式主要有以下 3 种:

(1) 松散结合。松散结合主要指模型与 GIS 是各自独立开发的情况。首先用 GIS 对空间数据进行查询和预处理,然后按模型所需的格式将数据输入模型,最后将模型计算结果再转为 GIS 文件格式,进行显示和分析。松散结合的优点是无须改变模型的代码,而不足之处是有大量的数据管理和转换工作。这一阶段 GIS 只是作为构建模型运行所需的输入文件,只起到辅助模型计算的作用,Joao^[26](1992)以及 Chariat^[27](1993)的侵蚀模型则属于松散结构。

(2) 交互界面结合。交互方式是开发一个交互界面,为模型提供输入数据,以及对模型计算结果进行处理和演示,所有数据转换是通过交互界面自动进行。此类结合实例最多,以美国普度大学集成 GRASS 与 ANSWERS 和 AGNPS 模型的工作最为典型^[9-12]。交互界面方式的优点是提供了模型与 GIS 平台的接口,方便了二者之间的数据交换工作,但在编程和数据管理上投资较大,用户修改或重写模型也困难。这一阶段 GIS 能为模型提供反映地表状况的参数,并能模拟水沙在地表的运输过程,参与模型计算。

(3) 完全结合。这是将简单的 GIS 嵌入到复杂的模型系统中以提供结果显示和交互控制处理功能,或者是用 GIS 函数命令重写模型,使模型和 GIS 集成在一个系统中,共享同一个数据库。当模型对 GIS 的功能要求不多时通常采用前一种镶嵌方法,而用 GIS 函数命令重写模型的方式则可以使用户建立模型更加灵活,不足之处是 GIS 命令函数有时不能满足建立模型的所有需要。能反映空间分布的侵蚀产沙模型成为模型与 GIS 耦合的必然,分布型模型则能反映时空的变化过程,对于侵蚀过程的空间非一致性有很好的表现,使侵蚀过程进一步细化。这类模型充分考虑到流域的非均匀性,计算流域侵蚀产沙过程和数量,可以最充分地利用近现代的计算机和模拟技术。

4 地理信息系统在水土保持监测中的应用

水土保持工作中常用的基础数据包括土地利用现状、植被、土壤、地质、坡度、坡向、高程、降水量等数据。其中土地利用现状、植被、土壤、地质等专题图可以通过 RS 来获得,分类矢量化以后作为 GIS 的数据图层;坡度、坡向、高程等指标可以通过地形图提取。因此,利用地理信息系统(GIS)强大

的空间数据存贮、分析功能进行水土保持监测是当前社会发展的必然趋势。

地理信息系统在我国水土保持监测中的应用直到 80 年代才开始,就已经表现出强有力的生命力,但其应用缺乏系统的监测网络支持和全国统一范围的标准。众多研究者只是利用 GIS 对当地土壤侵蚀进行普查和水土保持规划,真正用于日常流域水土保持动态监测、管理的很少。张登荣^[28](2001)综合考虑影响水土流失的降雨量、土壤可蚀性、坡度、植被覆盖度、土壤流失容许量和保护因子等,提出建立基于 GIS 和遥感技术的水土流失反演分析模型,实现水土流失的动态和快速监测预测预报。最后强调,利用遥感技术和 GIS 技术在 Web 技术的支撑下进行集成是实现水土流失监测体系的必然手段。许峰^[29](2001)就 3S 技术在我国水土保持管理领域中的应用与发展方向进行了总结,认为水土保持监测在应用地理信息系统的同时,应朝着科学化、网络化、智能化方向发展。

水土保持监测包括土壤侵蚀和治理情况两个大的方面,通过 GIS 与 RS 有机的结合分层次建立水土保持本底信息库,对治理区按年度监测各项指标,建立动态的监测管理信息系统,用相应的评价模型对土壤侵蚀和治理效果进行动态分析。具体做法可利用高分辨率遥感数据获得治理动态变化的指标,利用 GPS 进行定点定位,确保各项监测指标在不同的时间序列上地理位置一致;监测成果以数据库、图形库、图像库、图片库、视频文件等多种方式表达,各县通过网络上报统计数据,逐级汇总,最后到监测中心。监测中心通过水土保持监测网站向社会定期发布水土保持成果或向国家相关部门上报,实现最终的监测目标。

5 研究展望

将侵蚀产沙模型和地理信息系统集成起来,充分利用 GIS 在数据管理、空间分析及可视化方面的功能,是今后侵蚀产沙模型发展的方向。地理信息系统和侵蚀产沙模型的集成不仅能模拟侵蚀产沙的时间动态过程,还有可能模拟侵蚀产沙过程的空间变化,更可为大中尺度的侵蚀产沙模型提供基础。复杂而又具有物理意义的分布式侵蚀产沙模型提高了对空间数据的要求,遥感技术(RS)、全球定位系统(GPS)、专家系统(ES)的出现,GIS、GPS、RS 和 ES 的结合,基于 GIS 的水土保持监测站网的建立,将使侵蚀产沙模型具有更广泛、更快捷的数据来源,而侵蚀产沙模型和地理信息系统的有机集成则是今后发展的最终目标。

参考文献:

- [1] 黄杏元. 地理信息系统概论[M]. 北京: 高等教育出版社, 1989.
- [2] 马修军, 谢昆青. GIS 环境下流域降雨侵蚀动态模拟研究——以 PCRaster 系统和 LISEM 模型为例[J]. 环境科学进展, 1998, 7(5): 137- 144.

- [3] 万洪涛,周成虎,万庆,等 地理信息系统与水文模型集成研究述评[J] 水科学进展,2001,12(4):560-568
- [4] 李清河,李昌哲,奇实,等 黄土区小流域土壤侵蚀模型系统解析[J] 水土保持通报,2000,20(1):28-31
- [5] Beasley D B, Hugginsand L F, Monke E J. ANSWERS: A model for watershed planning [J] Transactions of ASAE, 1980, 23(4): 938-944
- [6] Knisel W G. CREAMS: A field scale model for chemicals, runoff and erosion from agricultural management systems [M]. Conservation Research Report No. 26, Department of Agriculture, Washington, D C: USDA Science and Education Administration, 1980
- [7] Whited D, Pitt D, Wilson B., et al Modelling the hydrologic and water quality implications of residential land use transitions in exurban landscape structure[J] Journal of Soil and Water Conservation, 1998, 53(2): 161-172
- [8] Young R A, Onsted C A, Bosch D D, et al Agricultural nonpoint source pollution model for evaluation agricultural watersheds[J] Journal of Soil and Water Conservation, 1989, 44(2): 168-173
- [9] Srinivasan R, Engel B A. GIS: A tools for sensitivity analysis of nonpoint source pollution models[A]. In: American Society of Agricultural Engineers Meeting Presentation[C]. New Mexico: Am, Soc Ag., Albuquerque, 1992 1-7.
- [10] Rewerts G C, Engel B A. ANSWERS on GRASS: Integrating a watershed simulation with a GIS[A]. In: American Society of Agricultural Engineers Meeting Presentation[C]. New Mexico: Am, Soc Ag., Albuquerque, 1991 1-7.
- [11] Srinivasan, R, Engel B A. A spatial decision support system for assessing agricultural nonpoint source pollution[J] Water Resources Bulletin, 1994, 30(3): 441-452
- [12] Engel B A. The impact of GIS-derived topographic attributes on the simulation of erosion using AGNPS[J] American of Society Agricultural Engineers, 1994, 10(4): 561-566
- [13] De Roo A P J, Wesseling C G, Ritsen a C J. LISEM: A single-event physically based hydrological and erosion model for drainage basins I: Theory, input and output[J] Hydrological Processes, 1996, 10(8): 1107-1118
- [14] De Roo A P J, Wesseling C G, Ritsen a C J. LISEM: A single-event physically based hydrological and erosion model for drainage basins II: Sensitivity analysis, validation and application[J] Hydrological Processes, 1996, 10(8): 1119-1126
- [15] 付炜 黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀预测模型建立方法的研究[J] 水土保持学报, 1992, 6(3): 6-13
- [16] 傅伯杰,汪西林 DEM 在研究黄土丘陵沟壑区土壤侵蚀类型和过程中的应用[J] 水土保持学报, 1994, 8(3): 17-21
- [17] 江忠善,王志强,刘志 黄土丘陵区小流域土壤侵蚀空间变化定量研究[J] 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 1(2): 1-9
- [18] 吴礼福 黄土高原土壤侵蚀模型及其应用[J] 水土保持通报, 1996, 16(5): 29-35
- [19] 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): 62-68
- [20] 蔡崇法,丁树文,史志华,等 应用USLE 模型与地理信息系统 DRISI 预测小流域土壤侵蚀量的研究[J] 水土保持学报, 2000, 14(2): 19-24
- [21] 陈松林 基于 GIS 的土壤侵蚀与土地利用关系研究[J] 福建师范大学学报, 2000, 16(1): 106-109
- [22] 于书霞,王宁,朱颜明,等 基于地理信息系统的土壤侵蚀研究[J] 水土保持通报, 2001, 21(3): 20-23
- [23] 蔡强国,陆兆熊 黄土丘陵沟壑区典型小流域侵蚀产沙过程模型[J] 地理学报, 1996, 51(2): 108-117
- [24] 符素华,张卫国,刘宝元,等 北京山区小流域土壤侵蚀模型[J] 水土保持研究, 2001, 8(4): 114-120
- [25] 张卫国,朱启疆,杨胜天,等 小流域土壤侵蚀信息系统研究与应用[J] 水土保持学报, 2002, 16(1): 5-8
- [26] Joao E M, Walsh S J. GIS Implication for hydrologic modeling: simulation of nonpoint pollution generated as a consequence of watershed development scenarios[J] Computer Environment Urban System, 1992, 16: 43-63
- [27] Chariat S, Deleur J W. Integrating a physically based hydrological model with GRASS[A]. In: Kovar k (ed). Application of GIS in hydrology and water resources management IAHS[C]. Wauingford: IAHS Publ Int, Assoc Hydrological Sciences, 1993, 211: 143-150
- [28] 张登荣,朱建丽,徐鹏炜 基于卫星遥感和 GIS 技术的水土流失动态监测体系研究[J] 浙江大学学报(理学版), 2001, 28(5): 577-582
- [29] 许峰,郭索彦 我国水土保持管理领域中 3S 技术的应用与发展方向[J] 山地农业生物学报, 2001, 20(4): 297-300