

区域水土流失

快速调查与管理信息系统研究

主 编
李 锐 杨勤科

XITONG YANJIU

QUYU SHUITU LIUSHI KUAISU DIAOCHA yu GUANLI XINXI

黄河水利出版社

7-5

区域水土流失快速调查与 管理信息系统研究

主 编 李 锐 杨勤科

副主编 穆兴民 张晓萍 焦 锋 韦红波

黄河水利出版社

内 容 提 要

本书是以“全国区域水土流失快速调查和管理信息系统学术研讨会”会议交流论文为基础组织编辑的一本文集。全书共收编论文 34 篇,主要涵盖区域水土流失快速调查与动态监测、水土保持信息系统、区域水土流失与水土保持环境效应、区域水土流失与可持续发展等方面的内容。

本书可供水土保持科技人员及农、林、水利院校相关专业师生参阅。

图书在版编目(CIP)数据

区域水土流失快速调查与管理信息系统研究/李锐,
杨勤科主编. —郑州:黄河水利出版社,2000.5

ISBN 7-80621-415-1

I. 区… II. ①李… ②杨… III. ①区域-土壤侵
蚀-快速普查-文集②区域-土壤侵蚀-管理信息系统-研
究-文集 IV. S157-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 21338 号

责任编辑:武会先 邵志峰
责任校对:赵宏伟

封面设计:谢 萍
责任印制:温红建

出版发行:黄河水利出版社

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 12 层 邮编:450003

发行部电话:(0371)6302620 传真:6302219

E-mail:yrp@public2.zz.ha.cn

印 刷:黄委会设计院印刷厂

开 本:787mm×1 092mm 1/16

印 张:13.25

版 次:2000 年 5 月 第 1 版

印 数:1—1 500

印 次:2000 年 5 月 郑州第 1 次印刷

字 数:305 千字

定 价:30.00 元

前 言

水土流失及其导致的土地退化和泥沙等问题是全球性严重的环境和灾害问题,并已经对人类的生存和发展构成了威胁。中国是世界上的人口大国、农业大国,也是世界上水土流失最严重的国家之一。新中国建立以来,我国政府十分重视水土保持工作,投入了大量的人力、物力和财力。但是由于不合理的人为活动和人口的迅速增长,人们索取自然资源强度日益剧增,乱砍滥伐林木,草原过牧、陡坡开荒,以及开发建设中乱开乱挖乱倒废弃物等,致使水土流失愈演愈烈。水土流失使大量土地贫瘠、荒芜,许多江河湖塘的行洪、蓄洪能力骤降。严重的水土流失成为水土流失地区及其毗邻区域社会经济持续、稳定和地区间协调发展的制约因素。

在世纪之交的历史时刻,党的第三代领导集体作出了从根本上解决历史遗留下来的恶劣生态环境,再造祖国秀美山川的战略决策。中共十五大报告中明确提出了“植树种草,搞好水土保持,防止荒漠化,改善生态环境”的战略方针。国家计委制定了《全国生态环境建设规划》,将以水土保持为主要内容的生态环境建设列入议事日程,正在扎扎实实地开展和实施。最近江泽民同志亲自主持召开黄河治理工作会议,进一步强调了水土保持的重要性。朱镕基总理视察延安时提出了“退田还林(草),绿化荒山,个体承包,以粮代赈”治理黄土高原的十六字措施。水土保持由小流域治理转向较大区域的集中连片治理的新阶段。在这种形势下,及时准确地提供区域水土流失现状、动态趋势和水土保持效益等数据,已经成为加速水土保持和生态环境治理进度的基本保证。水土保持基础空间信息设施的建设也成为水土保持和生态环境建设的重要组成部分。

基于上述生产实践需要和现代空间科学技术的发展,“区域水土流失快速调查研究”作为一个科学研究命题得到系统研究,第二次全国土壤侵蚀快速调查也正在实施。为了交流讨论区域水土流失快速调查和相关的水土保持信息系统等方面领域的研究成果,促进我国区域水土保持学的发展,我们在中国科学院、水利部水土保持研究所和水利部水土保持监测中心的支持下,组织召开了“全国区域水土流失快速调查和管理信息系统学术研讨会”。来自全国 14 个大专院校和科研单位的近 40 名代表参加了会议,就区域水土流失快速调查与动态监测、水土保持信息系统、区域水土流失与水土保持环境效应、区域水

土流失与可持续发展等问题展开了讨论、交流和系统演示。会后应与会代表的要求,我们以会议交流论文为基础,组织编辑了《区域水土流失快速调查与管理信息系统研究》一书。由于诸多原因,文集中难免存在一些错漏之处,部分论文未收入该文集,敬请见谅。

文集的出版,受到中国科学院、水利部水土保持研究所区域水土保持与环境研究室和黄河水利出版社的大力支持,特此致谢。

编 者

2000 年 1 月于农科城陕西杨凌

目 录

区域水土流失快速调查与管理信息系统研究	
..... “全国区域水土流失快速调查与管理信息系统学术研讨会”筹备组	(1)
水土流失动态监测与评价研究..... 李 锐 杨勤科 张晓萍等	(6)
中国水土流失宏观动态评价与趋势预测研究	杨勤科 李 锐 王占礼等(14)
地理信息系统在水土保持研究中的应用	杨勤科 李 锐(19)
水土流失定量遥感方法应用与研究的新进展	卜兆宏 唐万龙 席承藩等(24)
水土流失动态监测系统及其应用研究	陈永宝(29)
3S 技术在小流域水土流失快速调查中的作用	焦 锋 张晓萍(38)
中国水土流失类型区划分与制图研究	马晓微 杨勤科 张晓萍(43)
全国土壤侵蚀小区监测规范商榷	王占礼 杨勤科(47)
小流域水土流失监测指标及监测方法探讨	张晓萍 杨勤科(51)
区域水土流失评价中植被覆盖信息遥感提取研究综述 ..	韦红波 李 锐 杨勤科(56)
天山北麓中段土地类型与土壤侵蚀特征分析	张晓萍 焦 锋(63)
神府东胜煤田土壤侵蚀特征遥感分析	高会军 谭克龙 康高峰(69)
关于黄土高原土壤抗冲性研究的认识	王占礼(74)
基于 GIS 的中国潜在水土流失宏观分析与评价	马晓微 杨勤科(78)
新疆水土流失现状与存在问题分析	焦 锋 张晓萍 韦红波等(83)
区域水土流失快速调查、宏观评价与趋势预测.....	杨勤科(88)
GPS 相对定位模式及其在水土流失快速调查中的应用	焦 锋 张晓萍(96)
新疆土壤侵蚀遥感调查及区域土壤侵蚀特征分析.....	韦红波 赵永安 朱志新等(100)
浅谈基于 GIS 的区域土壤侵蚀遥感快速调查技术	李智广 曾大林(109)
利用神经网络理论的方法实现对大尺度水土流失的快速遥感监测	
..... 任承辉 杨学震 洪双旌等	(116)
关于数字黄土高原的设想.....	杨勤科 李 锐 韦红波(123)
矢量数字地图叠加及其应用的初步研究.....	杨勤科(126)
水土保持与生态环境工程信息系统.....	史明昌 柳长顺 王敬贵等(134)
山地防护林体系水土保持水文生态效益信息系统.....	王礼先 谢宝元 汪西林(140)
新疆土壤侵蚀遥感快速调查系统的建立和运作.....	焦 锋 张晓萍 朱志新等(147)
小流域试点治理管理系统设计.....	李智广(151)
建立国家水土保持信息数据库的基本思路.....	李智广 曾大林(155)
长江流域水土保持生态环境建设可持续发展.....	邹家祥(160)
黄河断流成因之剖析.....	穆兴民 徐学选 王文龙(166)
西北“山川秀美”建设的水环境及其效应.....	徐学选 穆兴民 瞿惠平(174)
水资源可持续利用在生态农业建设中的地位与作用.....	徐学选 王文龙 高 鹏(179)

黄土高原次降雨条件下林草措施减水减沙效益分析·····	焦菊英	王万忠(184)
河龙区间林草治理下的减沙效益分析·····	焦菊英	王万忠(190)
黄河断流问题研究进展·····	陈秉巍	穆兴民(197)
附录 关于筹建全国水土流失动态研究网络的倡议书·····		(203)
中国科学院、水利部水土保持研究所区域水土保持与环境研究室简介 ·····		(204)

区域水土流失快速调查与管理信息系统研究

“全国区域水土流失快速调查与管理信息系统学术研讨会”筹备组

立足于水土保持事业的需要和当代科技发展前沿,我们提出并进行了“区域水土流失快速调查”的研究。该研究分别得到了中国科学院资源环境重点研究项目和水利部水利科技开发基金项目的经费支持。在该课题及其相关课题研究的基础上,在中国科学院水利部水土保持研究所的大力支持下,“全国区域水土流失快速调查与管理信息系统学术研讨会”于1999年6月28日至7月1日在陕西杨凌召开。来自全国14个大专院校和科研单位的近40名代表参加了会议,就区域水土流失快速调查与动态监测、水土保持信息系统、区域水土流失与水土保持环境效应、区域水土流失与可持续发展等问题展开了讨论、交流和系统演示。

1 区域水土流失快速调查

1.1 研究背景及其现状

近年来,以水土保持为主要内容的生态建设日益受到重视,水土保持治理由小流域转向较大区域的集中连片治理。水土保持的研究也在小区域研究的基础上更加关注对区域以至于全球的研究。水土流失预测预报技术逐渐成熟,该技术与3S技术(地理信息系统GIS、遥感技术RS、全球定位系统GPS统称3S技术)结合,使水土流失预测预报研究走向了更大的区域,也使时空动态分析成为可能。国家基础信息设施的建设(数字地图积累、Internet的应用),使这种调查研究可以逐渐在全数字化操作、模式化识别、自动化制图与统计、网络化传输方式下快速进行。基于这种背景,“区域水土流失快速调查研究”作为一个科学研究命题得到系统研究。其主要研究内容包括:区域水土流失及其影响因子、区域水土流失分类分区、区域水土流失评价单元与指标体系、区域水土流失调查评价方法、技术支撑条件和技术路线等。从区域性(黄土高原、新疆)和全国范围的研究与实践中可以初步得到如下结论:①利用图像和地图分析方法划分基本评价单元;②基于区域水土流失过程分析,选择四类指标,如与面积有关的微观因子统计特征值(如平均坡度等),与区域有关的宏观地理特征值(如地形起伏度、植被覆盖度等)、定位观测数据趋势面、等值线(降水量、风力强度等),与面状环境要素相关的值(如与土壤相关的K值等);③基于地理信息系统(GIS)的表面分析、拓扑叠加等功能,将评价因子专题信息集成于评价单元,建立空间型评价因子数据库,并通过遥感和地面监测等实现数据定期更新;④利用地理统计分析方法建立评价模型并进行区域水土流失时空动态分析模拟;⑤全数字化操作、模式化识别、自动化制图与统计、网络化传输,是快速调查的根本技术保证;⑥在全国范围内进行宏观趋势性评价预测是可能的和必要的。水土流失快速调查在黄土高原、新疆等区域研究的基础上已经走向了全国。区域水土流失快速调查已经被第二次全国土壤侵蚀遥感调查

采用,并在实践中得到验证。

1.2 区域水土流失快速调查的实践

在黄土高原,依据侵蚀地貌、土地利用组合与结构、卫星影像特征等将研究区划分为 3 380 个水土流失类型区(评价单元),在 GIS 支持下,以沟壑密度、汛期降雨量、土壤团粒含量、植被覆盖度、坡耕地面积比例等为评价指标,对研究区进行了评价制图。

南方丘陵区 and 山东等地,研究者利用 DEM、TM 图像和试验观测资料,以 $30\text{m} \times 30\text{m}$ 像元为单元,参考通用土壤流失方程(USLE)的基本形式,完成了区域水土流失的快速调查与定量评价,并在福建省南安市率先进行了水土流失公告。

在全国第二次土壤侵蚀调查中以 TM 图像、数字土地利用图为基本资料,在 GIS 支持下,利用不到一年的时间完成了全国 1:10 万的土壤侵蚀定性评价与快速调查;8 人利用不足 80 天的时间完成了新疆(164万 km^2)的土壤侵蚀调查。

1.3 区域水土流失快速调查有待进一步研究解决的问题

区域水土流失快速调查研究和实践均有一定进步,但仍然有以下问题有待深入研究。

1.3.1 区域水土流失过程研究

在区域尺度上,从水土流失环境、水土流失因子、水土流失类型和区域、水土保持组织实施与决策等方面研究水土流失的过程,为区域水土流失评价预报模型的建立提供理论依据。

1.3.2 评价单元与评价参数问题

如何客观、准确地划分评价单元(数据采集、存储的基本信息元),利用多边形还是规则网格,都有待于分析论证。同时与评价单元相适应,利用什么参数(指标体系)进行评价及其模型的构建,也有待进一步研究。

1.3.3 区域水土流失评价模型及其空间尺度转换

在以往坡面土壤侵蚀预报模型的基础上,研究建立多种尺度的区域性水土流失评价模型,同时建立模型所反映的时空尺度之间的转换关系,以便在不同空间尺度的调查结果之间建立协调的关系。换句话说,大区域研究应取得小区域研究的支持,小流域治理经验和研究成果应推广到较大的区域。

2 水土流失动态监测与评价预报

国家对水土流失监测预报和信息系统十分重视。《中华人民共和国水土保持法》(1991 年)规定:“国务院水行政主管部门建立水土保持监测网络,对全国水土流失动态进行监测预报并定期公告”。

2.1 国外水土流失动态监测与评价的现状

美国、加拿大、前苏联等国家在资本主义发展的早期(19 世纪末到 20 世纪初),均由于不合理的土地利用和在自然资源开发中不注意水土保持工作,而遭到自然的报复。20 世纪 30 年代美国发生的黑风暴即是一例。为此,第二次世界大战以来各国均十分重视水土保持和自然资源的合理利用,水土保持监测和评价预报研究得到了迅速的发展。

美国农业部自然资源保护局负责全美水土流失监测。全美被划分为 6 个工作区,建成了由 80 万个监测点组成的网络系统,投入 10 000 余人专门从事该项工作。监测结果每

5 年汇总统计上报联邦政府,为自然资源的利用、水土保持规划提供决策依据。近年来 GIS 技术已经被广泛地运用于水土流失的监测、土地利用与水土保持规划。在定量评价预报方面基本上还是利用修订的通用土壤流失方程(RUSLE)进行。

2.2 国内水土流失动态监测的发展现状

近代中国土壤流失定量监测始于 20 世纪 40 年代。新中国成立以后,特别是改革开放以来取得较大进步。1995 年水利部编制了水土保持监测网络规划,最近又组织进行监测技术规程的编写。但是尚未形成可以运行的监测系统。

由于我国水土流失面积广大、类型复杂、治理任务艰巨,所以,20 世纪 70 年代以来遥感技术在水土流失监测中得到广泛应用。先后以航天、航空等多层次遥感资料为信息源,以大、中、小不同尺度对全国、大江大河、重点水土流失区和小流域进行遥感调查与监测,编制了大量的遥感图件,及时准确地为政府部门提供了决策依据。1989 年,水利部组织完成了第一次全国水土流失调查;1999 年以来,第二次全国水土流失遥感调查正在实施之中。

2.3 国内水土流失评价与预报

中国水土流失预报模型的系统研究始于 20 世纪 80 年代。首先是研究坡面统计模型,借鉴 USLE 的思路,根据中国的观测资料,计算各因子值,然后计算坡面和流域土壤流失量,并逐渐开展了物理模型的研究。现有的研究多是地方性的,不能用于较大的区域。

区域性的评价预测研究相对比较薄弱,中国土壤流失趋势预测研究中首先对中国水土流失进行了分区趋势性预测。黄土高原水土流失评价研究在 GIS 支持下建立了定量评价模型。目前存在的主要问题是:对影响区域流失的因子缺乏系统深入分析;对评价单元的划分,特别是客观定位缺乏必要的研究;缺少系列化统计数据,特别是缺乏治理和土地利用数据的支持。

2.4 水土流失监测预报中急需研究解决的问题

2.4.1 监测网络布局方案

着眼于水土流失类型、区域特征和生态建设的要求,在监测网络规划的基础上,拟订一套切实可行的网络建设方案,特别是站点布设方案,以便在国家财力许可的条件下逐步实施到位。

2.4.2 监测指标体系

研究拟订水土流失监测指标体系,对各类监测站点(小区、小流域、区域、全国)的监测内容、数据项目、观测(测试)方法、数据记录方法、数据传输,以及遥感影像提取方法等予以统一的规定和说明。

2.4.3 预报模型

两次全国性水土流失定性调查后,应立即着手研究开发定量评价预报模型,特别是较小尺度的预报模型和宏观趋势预测评价。通过定量评价分析,以便对水土流失现状和动态有一个相对量化的认识。

3 区域水土流失与水土保持的环境效应

所谓环境效应,是指区域内部或者毗邻地区水土流失和水土保持对区域环境过程的影响与作用。从宏观空间尺度,对水土流失与水土保持的生态学、环境学和社会经济学效应进行综合性、宏观性研究分析和评价,是区域水土保持研究的又一个重要领域。

3.1 水环境效应

有关水土流失与水土保持的环境效应,本次研讨主要集中在水环境效应方面。概括为三点:①水土流失产生的泥沙使河道河床抬高、水库和湖泊淤积,土壤侵蚀使“土壤水库”功能被破坏,从而使河道防洪排洪能力明显降低,加剧了洪水灾害发生的几率和危害。水土保持则通过减少河流泥沙,调节水情,从而抑制洪水的发生。②水土保持将在一定意义上缓解水资源的紧缺,改善水质。③坡地改梯田以后,由于有效拦截了地表径流,土壤水分状况将有所改善。但造林种草以后,将形成土壤干层,土壤含水量将明显低于荒坡和农田。

3.2 有待研究的问题

完整的区域水土流失与水土保持环境效应的研究将从两个方面入手。一是对区域水土流失与水土保持所导致的重大环境问题进行研究,包括水环境效应(河川径流消长、水体污染、水源涵养)、土环境效应(土壤水分、土壤肥力、土地生产力)、大面积治理对全球变化的影响(包括:大气粉尘、CO₂、水气通量与能量等)、社会经济效应(食物安全、消除贫困)、主要水土保持措施(梯田、人工林等)的水保效益与环境效应。另一个是对水土流失与水土保持具有重大影响的重点区域及其关键问题进行研究,包括区域水土流失和水土保持环境效应的重点区域,黄土高原水土流失和水土保持与黄河断流及下游平原可持续发展,长江上游水土流失和水土保持与三峡工程安全,中心城市周边地区水土保持与城市环境。

4 3S 技术应用与水土保持信息系统

4.1 3S 技术在区域水土保持中的应用现状

3S 技术、计算机网络和通讯技术已经得到迅猛发展。美国新一代资源卫星图像分辨率已经达到 16m, 1m 分辨率的图像即将投入使用。这些技术的发展将允许我们用 1m×1m 的网格对地球进行三维和多种分辨率的表示。在“数字地球”和“数字中国”有关构想的基础上,我们提出了“数字黄土高原”研究的设想并将其作为水土保持领域内进一步利用 3S 技术的试验研究。

4.1.1 遥感技术的应用

通过遥感图像(结合数字地形图)可以准确、快速、连续地提取植被盖度、土地利用与覆盖、地形起伏度的指标,用于水土流失的定量评价。传统的点线状、静态研究将被推广到面上的和动态的研究,从而使调查研究的时空精度得到极大的提高。

4.1.2 GIS 技术的应用

主要表现在:建立水土保持基础数据库,特别是土壤侵蚀环境背景数据库,用以进行水土流失环境的分析;建立定量评价预报模型,进行土壤侵蚀过程的时空模拟,包括空间

尺度转换;建立国家和区域水土保持信息系统。

4.1.3 GPS 的应用

GPS 是水土保持动态监测和评价研究中数据源数据快速更新的手段。

4.1.4 “数字黄土高原计划”

“数字地球”(包括“数字中国”)已经成为资源环境领域集成 3S 研究与应用实现国家目标和科学目标,以及已有地理信息资源共享的重要科学研究思潮。考虑到黄土高原综合治理的需要,中科院、水利部水土保持研究所在知识创新研究中启动了“数字黄土高原计划”,对“数字黄土高原”的概念、发展战略与阶段,及其基本结构、数据管理、应用与共享等问题进行了初步的设计。该研究将作为一个典型案例研究,与“国家水土保持基础数据库”建库工作结合起来,其进一步的发展方向将是“数字化中国生态环境建设和水土保持”的研究和应用。

4.2 水土保持信息系统

中国建立国家和区域水土保持信息系统,是 3S 技术应用于水土保持的一个重要方面。有关科研教学单位对中国水土保持信息系统的设计、建立和软件开发进行了卓有成效的探索。中国水土保持管理信息系统在完成总体设计的基础上,开发了基于网络平台的区域水土保持信息系统(以新疆为例)、水土保持法规文献系统、小流域系统等模块。以国产 GIS 工具软件为平台,开发并嵌入若干专业模型,将是实用性水土保持信息系统发展的基本方向。

(本文由杨勤科同志执笔。)

水土流失动态监测与评价研究^{*}

李 锐 杨勤科 张晓萍 焦 锋 李智广

(中国科学院、水利部水土保持研究所 陕西杨凌 712100)

水土保持作为我国生态环境建设的一项基础工程,在制定规划、确定方略、安排部署时经常碰到两个问题:什么地方发生水土流失,程度如何?什么地方水土保持搞好了,效益如何?迫切需要用现代高新技术提供最新的水土流失与水土保持状况,并尽快将精确的定性、定量、定位的信息提供给决策部门。1991年6月29日经第七届全国人大常委会第20次会议审议通过了《中华人民共和国水土保持法》,其中第二十九条规定:“国务院水行政主管部门建立水土保持监测网络,对全国水土流失动态进行监测预报并定期公告。”1993年8月国务院颁布的《中华人民共和国水土保持法实施条例》中明确规定:“水土保持监测网络是指全国水土保持监测中心,大江大河的水土保持监测中心站,省、自治区、直辖市水土保持监测站以及省、自治区、直辖市重点防治区水土保持监测分站。”国务院领导也多次指示,要对大江大河的水土流失状况进行监测,提出定量数据。因此,建立全国水土流失监测预报系统势在必行。

1 国外水土流失动态监测与评价的现状

由于不合理的土地利用以及在自然资源开发中不注意水土保持工作,人类已经遭到了自然的报复。20世纪30年代美国发生的黑风暴即是一例。为此,第二次世界大战以来,各国均十分重视水土保持和自然资源的合理利用,水土保持监测和评价预报研究得到了迅速的发展。美国农业部(USDA)下设自然资源保护局(NRCS, Natural Resources Conservation Service),1994年前称土壤保持局(SCS, Soil Conservation Service),负责全美自然资源保护和管理。水土流失动态是NRCS监测内容的重要部分。NRCS将全美划分为六个工作区(东部区、西南部区、中东部区、北部区、西部区、南部区),各区派驻有NRCS的联络员(全国共有10 000余人)专门从事该工作。经过多年的建设,他们已经建成了由80万个监测点组成的网络系统,对全国的水土流失进行长期定位监测。监测结果每5年汇总统计,上报联邦政府,公布全国,为自然资源的合理利用、水土保持规划提供决策依据。监测项目十分广泛,除土壤侵蚀与水土保持措施外,还有土地利用、土壤、防护林、作物及其轮作、灌溉、地下水等。监测工作用实地观测和遥感监测相结合的方法进行,对较大区域,还利用了卫星遥感技术。由于数据管理的需要,近年来地理信息系统(GIS, Geographical

^{*} 中国科学院资源环境重点项目:区域水土流失快速调查与评价研究(KZ-952-S1-234);水利部基金项目:区域水土流失遥感快速清查技术研究(SJ-9725);中国科学院知识创新项目:中国水土流失宏观分析与评价研究(99-01-05)。

Information System)技术已经被广泛运用于水土流失的监测和土地利用与水土保持规划。近年来,监测结果大多已经在 Internet 网上公布,或者制成光盘无偿提供给社会各界利用。

美国的土壤侵蚀预报研究开始于 20 世纪 40 年代,至今已有近 60 年的历史。1954 年,普度大学成立了土壤流失数据中心,负责收集、整理全美各地的径流和土壤流失数据,到 1956 年,已收集到了 7 000 个小区和 500 条流域的降水、土壤流失及相关数据,以这些数据为基础,经统计分析于 1959 年第一次提出了通用土壤流失方程式(USLE, Universal Soil Loss Equation),并以 USDA 农业手册 282 号(1965 年)和 537 号(1978 年)的形式由官方颁布执行。自 1985 年起,美国又对 USLE 做了较大的修正,命名为修正土壤流失方程式(RUSLE, Revised Universal Soil Loss Equation),并于 1994 年被 SCS 确定为官方土壤保持预报和规划工具。

USLE 开发的初衷是为土地利用和水土保持规划提供支持。其设计思想,如侵蚀因子选择原则,对地理因子的处理方式,各因子的算式以及方程式简单明了的表达形式等,均为土壤侵蚀模型的开发提供了典范,方程本身为田间水土保持规划提供了一个简单实用的工具技术,并在世界范围内得到广泛的应用。

在 USLE 使用了 30 多年后,人们发现 USLE 有明显的不足和限制。1986 年四个政府部门(农业部农业研究局、土壤保持局、林业局、内政部土地管理局)共同发起了开发新一代侵蚀模型的项目——水蚀预报项目(WEPP, Water Erosion Prediction Project)。1987 年完成了用户需求报告,规定了 WEPP 的基本框架。1995 年 8 月在依阿华州(Des Moines, Iowa)发布了第一个官方正式版本 WEPP95。由于 WEPP 是过程模型,所以比现有侵蚀预报模型有明显优越性,主要特点包括:①对土壤侵蚀及其相关的多种过程(气候、地表水文、土壤水分平衡、植物生长、残茬管理、细沟和细沟间侵蚀)进行描述和模拟;②估算土壤侵蚀的时空分布及全坡面或坡面任意一点的净土壤流失量及其随时间的变化;③作为过程模型,它可以应用于更广泛的条件。

欧洲土壤侵蚀模型(EUROSEM, European Soil Erosion Model, Morgan, 1994)是根据欧洲土壤侵蚀研究成果开发的,用以描述和预报田间和流域的土壤流失,该模型在欧洲取代了 USLE 形式的统计方程。

荷兰土壤侵蚀模型(LISEM, Limburg Soil Erosion Model, 1996)是在荷兰南部黄土区研究开发的。当地暴雨径流和土壤侵蚀问题比较突出,暴雨洪水对地方公共设施和私有财产构成了多种潜在的危害(房屋和道路的淹没,表土包括种子的冲刷、化肥农药和杀虫剂污染水体等),因此,迫切需要制定土壤保持规划,以防止和减少径流和土壤流失。为此,荷兰 1991 年设立了一个土壤侵蚀研究项目,开发了一个基于物理过程和 GIS 的土壤流失和径流定量预报模型。模型中考虑了降雨、截留、填洼、渗透、土壤分散、水分运动等主要过程。LISEM 模型在对土壤侵蚀过程的描述和模拟方面不如 WEPP 那样深入和全面。但是 LISEM 被认为是第一个能与 GIS 完全集成并直接利用遥感数据的土壤侵蚀预报模型。LISEM 可更加清楚地反映土壤侵蚀的机理和时空动态,在一定程度上代表了土壤侵蚀模型开发的新思潮,即基于 GIS 开发空间模型的土壤侵蚀模型。

此外,澳大利亚、加拿大、新西兰以及许多发展中国家也在水土流失动态监测和评价方面做了大量研究与试验,在应用方面取得了许多进展。

2 中国水土流失动态监测与评价发展现状

2.1 水土流失地面监测和试验观测现状

近代中国土壤流失定量监测始于 20 世纪 40 年代。中国先后在水土等地建立了水土保持试验站,对水土流失进行定位观测。大规模的水土流失监测是 1950 年以后,截至 1996 年共建有水土保持科研站所 100 多个,有科研人员 6 000 多人。1989 年以来,水利部在长江中上游地区建立了滑坡、泥石流预警系统,成功预报了湖北省秭归山体滑坡,使 2 500 多人幸免于难,危险区内能转移的财产全部转移,减少了 250 万元的经济损失,以后又成功地监测预报了多处滑坡,保护了人民生命财产安全。水利部组织编制了水土保持监测网络系统规划,该系统由 5 级监测站组成:国家监测中心、大江大河监测中心站、省级监测站、重点防治区监测分站、监测样地(小区、小流域)。计划在全国范围内布设 300 个不同类型的水土保持监测站,建立基准站 30 个、标准站 80 个、普通观测站 190 个。

2.2 水土流失遥感监测现状

由于我国水土流失面积分布广大、类型复杂、治理任务艰巨,现代空间技术(遥感、地理信息系统、全球定位系统)在水土流失监测过程中发挥着愈来愈重要的作用。

70 年代以来,中科院水土保持研究所、南京土壤研究所、成都山地灾害研究所、北京林业大学,以及地方教学、研究、工程单位都开展了水土保持空间遥感应用试验和研究,以航天、航空等多层次遥感资料为信息源,以大、中、小不同尺度对全国、大江大河、重点水土流失区和小流域进行遥感调查与监测,编制了大量的遥感图件,及时准确地为政府提供了决策依据。1985 年,水利部对全国的水土流失状况进行了调查,利用最新卫星照片通过人工目视解译,绘制了全国分省 1:50 万及全国 1:200 万比例尺的水土流失现状图。调查结果表明,轻度以上水力和风力侵蚀面积 367 万 km^2 ,约占国土面积的 38.2%。1999 年又开展了第二次全国水土流失遥感调查。

在小流域、区域等中小尺度,各地利用 GIS 结合遥感制图技术,分别进行了土壤侵蚀的评价和空间分布特征的研究。例如,在陕北黄土丘陵区纸坊沟流域,将土壤侵蚀定量评价模型与 GIS 系统 ARC/INFO 集成,完成了小流域土壤侵蚀空间变化定量研究。在晋陕蒙脆弱生态区,采用 50m $\times$ 50m 网格数据,以 1:10 万比例尺的土地利用图与土地类型图的复合图斑作为制图单元,建立空间数据库,对土壤的水蚀和风蚀进行了定量评价研究。黄土高原土壤侵蚀制图,利用 1:50 万 TM 卫星影像划分评价单元,以降雨(R)、植被盖度(G)、沟壑密度(Y)、相对高差(L)等为评价因子,对土壤侵蚀进行了评价制图。在编制中国 1:1 500 万土壤侵蚀与水土保持图的过程中,首先根据地貌、土壤、植被、土地利用、人口分布等条件划分土壤侵蚀/水土保持类型区,然后根据对地区土壤侵蚀调查或实测数据的综合分析结果编制出土壤侵蚀图,在对土壤侵蚀危害性和水土保持迫切性评价的基础上编制了中国水土保持图。

2.2.1 小流域土壤侵蚀/水土保持信息系统

以大比例尺信息源(1:5 000~1:10 000)为基础,以小流域(面积在 10 km^2 左右)资源开发、土地利用、水土保持规划为服务对象,使小流域治理和定位实验更加科学化、模式化并向更大范围推广。该系统采用了彩红外航空像片资料、土地系列制图资料、试验观测资

料等,可提供资源清查及评价、决策与规划、预测与预报(主要指土壤流失量)等服务。

2.2.2 区域性水土保持信息系统

“黄土高原土壤侵蚀监测与管理信息系统”将多层遥感信息与地面常规监测技术相结合,获取有关的信息数据并建立空间数据库(DTM 图像、专题地图等)、属性数据库和模型库,形成一个集数据采集、数据管理、规划、设计等功能于一体的多功能复合系统,提供系列化、动态化的侵蚀环境数据(图、表格、文字等),并作出预测预报。然后为土地利用规划、水土保持规划、工程措施设计、水土保持效益评价等提供辅助工具。

2.3 水土流失评价与预报研究现状

2.3.1 关于坡面土壤侵蚀预测预报的统计模型

中国坡面土壤侵蚀预测预报模型研究始于 20 世纪 50 年代,系统的模型研究始于 80 年代。多数研究参考了 USLE 的思路,结合中国的实际计算各因子值,然后计算坡面和流域土壤流失量。有的研究还分析了在一个流域范围内土壤流失的空间变异特征。在各侵蚀因子的定量研究中,目前比较成熟的是降雨侵蚀因子、地形(坡度、坡长)因子的研究,植被因子也有一些研究。关于土壤对侵蚀的影响,一种方法是对土壤可蚀性(K)因子测量或推算,另一种研究是关于土壤抗冲抗蚀性的研究,但由于概念上的差异和本身研究方法、指标等方面的不尽统一和不尽成熟,所以还难以运用于模型之中。比较系统全面、富有中国特色的工作是在黄土高原进行的,虽然已有比较大的进展,但是还存在一系列的问题,主要有:①现有的研究多是地方性的,不能用于较大的区域;②作物与水保因子尚无系统全面的研究与观测资料,影响了模型的实用性;③大多数模型尚不能用于流域土地利用和水土保持规划;④对 USLE 的应用,还存在一些不尽合理的地方,包括将 USLE 用于较大区域(1:25 万比例尺)、以网格为计算单元的地形因子(坡长 L)的确定等。总之,目前还没有形成像 USLE 那样严密、具有中国特色、实用性较强的模型。

2.3.2 关于坡面土壤侵蚀预测预报物理模型

中国已有的物理模型主要是考虑并计算坡面径流量、径流侵蚀力、溅蚀和沟蚀分散量、输沙能力等。在黄土高原通常根据黄土侵蚀地貌的特征,按梁峁坡、沟坡、沟道三个单元分别建立模型。在这些研究中,沟坡模型基本上还是统计模型,认为沟坡侵蚀产沙量与沟坡径流和上部产沙量等有关。沟道模型则主要是用泥沙输移比来研究沟道冲淤变化规律,严格说还是半物理性质的。

2.3.3 小流域土壤侵蚀预测预报模型

小流域土壤流失过程是水文、气象因子、下垫面因子的函数。水文气象因子包括降雨量、径流量。下垫面因子包括流域几何特征、地貌特征、土壤特征、植被与土地利用、水土保持措施等。因为小流域由若干坡面组成,所以小流域的上述指标只能是某种统计特征值,如平均坡度、农地比例、沟谷密度等。

2.3.4 区域土壤侵蚀预测预报模型

在一个较大的区域,由于水土保持、江河治理的需要,进行土壤侵蚀与水土保持的综合、宏观定量评价,是十分必要的。黄土高原区域水土流失遥感评价采用降雨(R)、植被盖度(G)、沟壑密度(Y)、相对高差(L)等作为评价因子,利用变权模糊数学模型进行半定性评判。中国土壤流失趋势预测将中国划分为东北漫岗丘陵区、黄土高原区、北方山地

丘陵区、江南丘陵区、四川盆地区、华南丘陵区、青藏高原区等几个区,选用了年径流量(Q)、一日最大洪水量(M)作为气候指标,选用“水土保持治理面积/水土流失面积”(P)作为反映人为活动的指标,分别对各个区建立模型,预测了水土流失的趋势。与小流域模型比较,区域模型更加宏观,服务对象主要是区域性或国家水土保持宏观决策。目前存在的主要问题是:对影响区域水土流失的因子缺乏系统深入分析,对评价单元的划分,特别是客观定位缺乏必要的研究,缺少系列化观测与统计数据,特别缺乏治理和土地利用数据的支持,遥感与GIS等先进技术方法尚未引入。

3 中国水土流失动态监测与评价急需研究解决的若干问题

中国在水土流失的预测预报与效益评价研究方面也已有相当的积累,但是现有调查、监测和研究的成果还难以为水土保持决策提供有力的支持,急需研究解决下列问题。

3.1 水土保持监测与评价指标体系

分析研究水土流失的过程,以及水土流失与水土保持的影响因子、类型和强度的区域特征,根据水土流失评价预报和水土保持效益评价的需要,建立国家水土保持监测技术规程和区域水土流失趋势预测和预警体系。

3.1.1 水土保持监测评价指标体系

研究全国水土流失的类型和区域划分,并针对不同的时空尺度,提出水土流失与水土保持动态监测的指标及其技术规程,包括以下内容:

(1)水土流失分类、分区。水土流失分类包括发生类型、形态类型、强度类型和人为水土流失的类型。水土流失分区包括多级别的水土流失区域、水土保持工作区域以及水土保持空间数据网格规范等。

(2)水土保持动态监测指标。分区域、按类型拟订水土流失动态监测的指标体系、指标的采集与观测方法、数据记录方式及数据更新周期等。

(3)动态监测数据管理方法。研究拟订国家水土流失监测数据格式,包括数据记录格式、交换格式等,开发/规定统一的软件系统,对动态监测数据的管理和数据传输提供技术支持。

3.1.2 水土流失指示因子与预警

分析研究区域土壤侵蚀的过程,在水土流失重点地区和大型项目建设地区,选择影响水土流失的指示因子并对其作评价分级,拟订预警临界标准。

(1)水土流失指示因子及其评价:拟订区域水土流失的指示因子,依据各因子对侵蚀泥沙量、农业生产、环境质量等的影响,对各因子进行评价分级,拟订预警临界标准。

(2)区域水土流失预警。根据地面监测和水文气象预报信息,对指示因子超过警戒指标地区的高强度水土流失和突发性水土流失事件提供报警服务。

3.2 中国水土保持评价模型系统研究

水土流失评价预报的理论研究,是国际水土保持研究的重大课题,是反映一个国家土壤侵蚀与水土保持研究水平的重要标志。同时作为一项实用技术,土壤侵蚀评价预报模型是土地利用与水土保持规划、决策的重要支持工具,因此,土壤侵蚀评价预报模型的开发在国内外受到极大重视。为了加速中国水土流失治理进度,发展中国水土保持学理论