

QUYU SHUITU LIUSHI JIANCE YU PINGJIA

区域水土流失监测与评价

杨勤科 等著



黄河水利出版社

区域水土流失监测与评价

杨勤科 等著

黄河水利出版社

· 郑州 ·

内容提要

本书是作者近30年从事区域水土流失调查、监测与评价的初步总结。全书分三篇,第一篇尝试总结和讨论区域水土流失监测与评价的理论基础,包括区域水土流失的过程与格局、区域水土流失监测的若干理论问题。第二篇讨论区域水土流失主要影响因子的提取和分析方法,包括地形因子、土壤因子、植被和水保措施以及水文气候因子。区域水土流失影响因子既是区域水土流失的研究内容,也是进行综合评价的数据基础。第三篇讨论区域水土流失定量评价、制图的方法,包括区域水土保持信息系统、区域水土流失模型和区域水土流失调查与制图。

本书可为全国、省区和流域水土流失监测、调查制图和综合评价提供参考,也可供从事水土流失、水土保持、现代地表过程等方面的研究者和大学师生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

区域水土流失监测与评价/杨勤科等著. —郑州:
黄河水利出版社, 2015. 1
ISBN 978 - 7 - 5509 - 1005 - 8

I. ①区… II. ①杨… III. ①水土流失 - 监测
②水土流失 - 评价 IV. ①S157. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 010932 号

出版社:黄河水利出版社

网址:www. yrcp. com

地址:河南省郑州市顺河路黄委会综合楼 14 层

邮政编码:450003

发行单位:黄河水利出版社

发行部电话:0371 - 66026940、66020550、66028024、66022620(传真)

E-mail:hhsclbs@126. com

承印单位:河南省瑞光印务股份有限公司

开本:787 mm × 1 092 mm 1/16

印张:21. 25

插页:8

字数:490 千字

印数:1—1 000

版次:2015 年 1 月第 1 版

印次:2015 年 1 月第 1 次印刷

定价:65.00 元

序 言

区域水土保持研究是水土保持学的一个重要研究领域,其主要目标是应用现代地球与环境科学理论与技术,从宏观尺度研究水土流失分布规律、演变过程、发展趋势,及其对区域生态与环境的影响,建立区域水土流失与水土保持评价理论与技术体系,发展区域水土保持学,完善和丰富水土保持学理论体系,进而为国家水土保持宏观战略规划、区域性重大措施的配置和大江、大河的综合治理提供科学依据。其主要研究内容包括以下几个方面:

(1)区域水土流失演变过程研究:目前土壤侵蚀过程与机理研究在坡面和小流域尺度取得了许多成果,为了适应国家宏观决策需求,迫切需要研究区域水土流失与保持的宏观动态演变过程、驱动因子、发展趋势,建立区域水土流失与保持评价理论和技术体系,构建区域水土流失模型。同时要研究多源数据集成、融合与应用,构建区域水土保持基础信息平台。该领域将涉及地理科学、环境科学、遥感信息科学以及应用数学等。

(2)区域水土流失与保持的环境效应研究:水土流失/保持对环境的影响涉及范围是区域性的,必须从宏观尺度,对水土流失与水土保持对区域生态、环境、社会经济影响进行评价,包括影响的方式、范围、程度、产生的后果,以及相应对策,建立区域水土流失/保持环境效应评价理论与技术体系;还要研究区域之间平衡与互馈、对全球气候变化的响应,以及区域水土流失环境灾害警示等,为政府规划提供科学依据。该领域将涉及生态科学、环境科学、社会经济学等。

(3)区域水土保持宏观战略与规划研究:水土保持是一门应用性很强的综合性学科,涉及地理、生物、环境、社会经济等基础学科,也是农学、林学、水利等应用学科的交叉学科。水土流失的防治是一项综合性的系统工程,需要在对水土流失区域特征研究的基础上,结合区域社会经济状况制定水土保持措施配置原则,总结和提出区域水土保持模式,进而建立水土保持决策支持系统。

随着全球范围内人口增长与资源环境之间矛盾的加剧,水土保持作为一门应用性较强的学科愈来愈受到社会各界的广泛关注。特别是自 20 世纪 90 年代中期以来,我国的水土保持工作已经由以小流域为单元的治理进入了区域化、规模化治理阶段,政府决策部门对区域水土流失定量评价和趋势预测的需求比以往任何时期都更加迫切,因此区域水土保持已经成为水土保持学的重要领域之一。从学科发展现状与趋势看,水土保持学是随着人类与水土流失作斗争的实践产生与发展的。研究的尺度也发生了变化,从坡面小区到小流域,从小流域到中等流域,再到大区域。由于尺度的变化,水土流失过程、机理、影响因子的作用也发生了相应的变化,迫切需要有新的理论与技术的支撑。针对区域水

土保持的客观需求,从 20 世纪 90 年代开始,中国科学院水利部水土保持研究所组建了区域水土保持与环境研究室,从区域水土流失过程和尺度效应等方面进行了比较系统的综合性研究,国内相关科研单位也开展相应研究。近 20 年来,结合全国水土流失与生态安全考察、全国水利普查以及其他相关研究项目和任务,区域水土流失因子定量表征、区域水土流失过程模拟、区域水土流失模型开发、区域水土流失效应评价、区域水土流失治理规划,以及水土流失与现代地表过程、全球变化的关系等方面的研究取得了许多有意义的进展。本书就是对上述研究部分成果的一个初步总结。相信本书的出版,对促进区域水土流失研究的深入开展,完善区域水土流失研究的理论和技术体系,提高区域水土流失监测和评价的科学性,将发挥重要作用。

中国科学院水利部水土保持研究所研究员 **李锐**
世界水土保持学会主席

2014 年 12 月

前 言

水土流失是一个与时空尺度相关的过程,土壤侵蚀发生的空间尺度主要有坡面、小流域和区域三个尺度层次。水土流失的研究,也可从这三个相互联系的尺度层次上展开。

区域水土流失研究,通过坡面和小流域土壤侵蚀试验研究成果的总结,理解区域水土流失过程及影响因素;用地面调查和遥感观测相结合的方法进行水土流失及其环境因子调查和分析,为区域水土流失定量评价奠定数据基础;基于对水土流失过程及其与影响因子之间关系的理解,开发区域水土流失模型,实现对区域水土流失的定量评价;用水土流失类型与强度的调查制图成果,完成区域水土流失格局分析,为区域水土流失治理和生态建设方案制订提供支撑;全面分析评价水土流失、水土保持对区域地理环境因子和环境过程的影响,并将区域水土流失研究与现代地表过程、全球变化等研究相结合;最后为国家 and 省区的水土流失普查、为水土保持规划决策方案编制提供理论和数据支撑,促进区域水土流失科学有效治理,发展完善水土保持科学体系。可见,区域尺度的水土流失监测和评价研究,既是水土保持学科体系的重要组成部分,也是现代地表过程研究的重要领域,还是水土保持管理和决策的科技基础。

坡面和小流域尺度土壤侵蚀的试验观测、大区域环境要素、土壤侵蚀类型与强度调查制图数据的积累和现代空间信息科学技术的发展及其在土壤侵蚀研究中的应用,为区域水土流失研究奠定了良好的理论基础、数据基础和技术基础。全球变化研究对区域水土流失及其治理与土地利用、植被覆盖和循环之间关系的关注,也促进了区域水土流失的研究。所以,从 20 世纪 90 年代中期以来,国内学术界和水土保持管理部门开始重视区域水土流失这一领域,开展了比较系统的研究。

本书就是自 1997 年以来该领域研究的一个初步总结。希望将我们研究的点滴成绩与读者分享,将我们的困惑与同行专家共同面对,为区域水土流失研究、现代地表过程等相关研究尽一份力。

本书在黄河水利委员会水土保持局资助和鼓励下完成。我们的研究得到黄河水利委员会水土保持局、黄河水利委员会上中游管理局、中国科学院水利部水土保持研究所和西北大学城市与环境学院的多方支持。

本书编写计划由杨勤科拟定,各章主笔人员为:第一章杨勤科、牛志鹏;第二章杨勤科,姚志宏;第三章杨勤科,刘咏梅;第四章赵牡丹、杨勤科;第五章庞国伟、杨勤科;第六章刘咏梅、杨勤科;第七章姚志宏、杨勤科、牛志鹏;第八章姚志宏、张宏鸣;第九章姚志宏、杨勤科;第十章王春梅、牛志鹏、杨勤科。各篇前的介绍文字由杨勤科起草,全书最后由杨勤

科统稿。

笔者的多位研究生围绕区域水土流失的研究工作为本书稿奠定了基础,任宗萍在水保所任研究员助理期间(2009—2010 年)协助处理了大量琐碎事务性工作,在此对他们的努力工作和付出表示感谢!

作 者

杨勤科 2014 年 7 月

目 录

序 言 前 言

第一篇 区域水土流失过程与格局

第一章 绪 论	(6)
第一节 研究背景	(6)
第二节 国内外研究现状和存在问题	(13)
第三节 本书内容简介	(23)
第二章 区域水土流失的过程与格局	(25)
第一节 区域土壤侵蚀过程	(25)
第二节 全国水土流失的类型与格局	(34)
第三节 黄土高原水土流失类型与格局	(43)
第三章 区域水土流失监测的若干理论问题	(52)
第一节 水土流失监测概述	(52)
第二节 水土流失监测的内容与指标	(56)
第三节 水土保持监测的方法	(64)
第四节 监测数据管理	(67)

第二篇 区域水土流失因子

第四章 区域水土流失地形因子	(73)
第一节 侵蚀地形的准确表达	(73)
第二节 多尺度土壤侵蚀地形因子	(88)
第三节 区域水土流失地形因子计算	(91)
第五章 区域水土流失的土壤因子	(108)
第一节 绪 论	(108)
第二节 黄土高原土壤抗侵蚀性分析	(117)
第三节 黄土高原土壤抗侵蚀性的空间分布	(126)
第四节 经验模型中的土壤可蚀性因子(K)	(145)

第六章 区域水土流失的植被与水土保持措施因子	(147)
第一节 绪论	(147)
第二节 区域水土保持监测中的遥感影像处理	(153)
第三节 土地利用与植被覆盖信息提取	(156)
第四节 水土保持措施信息提取与分析	(172)
第七章 区域水土流失的水文因子	(183)
第一节 气候和水文因子概述	(183)
第二节 径流和输沙系列制图	(188)
第三节 区域输沙与径流时空动态变化	(201)

第三篇 区域水土流失评价与制图

第八章 区域水土保持信息系统	(220)
第一节 地理信息系统及其应用	(220)
第二节 数据库设计	(226)
第三节 区域水土流失监测与评价系统的结构与功能	(234)
第九章 区域水土流失模型	(238)
第一节 模型研究的意义	(238)
第二节 区域水土流失模型的总体设计	(240)
第三节 区域水土流失模型开发	(249)
第四节 模型的运行与分析	(256)
第十章 区域水土流失调查与制图	(259)
第一节 水土流失制图概述	(259)
第二节 基于常规制图方法的土壤侵蚀制图	(264)
第三节 基于 GIS 的侵蚀制图	(269)
参考文献	(292)

第一篇 区域水土流失过程与格局

区域水土流失的过程与格局,是区域土壤侵蚀监测与评价的基础。本篇首先分析区域土壤侵蚀研究中的区域观,然后分析区域土壤侵蚀过程、格局,并对区域土壤侵蚀监测中若干理论问题进行初步探讨。

一、水土流失研究中的“区域观”

在水土流失与水土保持研究中,“区域”指具备完整统一的土壤侵蚀(或水土流失)发生学基础,共同的土壤侵蚀类型与时空格局特征,相同或相对一致的水土流失治理和生产发展方向,覆盖较大面积的空间区域。

从水土流失空间分异特征看,区域是土壤侵蚀或者水土保持区划等级体系中的一个地域单元。例如在中国,分为东部水蚀区、西北风蚀区和青藏高原冻融侵蚀区,是三个特征明显的侵蚀区域(辛树帜等,1982;杨勤科等,1994;宋桂琴,2004;唐克丽,2004)。而在黄土高原,黄秉维着眼水土流失治理划分的5个副区(黄秉维,1955),朱显谟划分的土壤侵蚀区(朱显谟,1958),以及唐克丽划分的综合治理开发区(唐克丽等,1991),都是区域土壤侵蚀研究中区域的实例。

从水土流失治理组织管理看,区域可以是一个行政区,类似于我国经济地理研究中的西北、东北、西南或省等概念。在陕西省,可以是陕北(延安、榆林两市)、关中(宝鸡、咸阳、西安、渭南、铜川)和陕南(安康、汉中和商洛)等区域。

从土壤侵蚀动力学过程看,土壤侵蚀是一个发生在坡面上的、比较微观的过程。然而水土流失的影响却表现出较为宏观的时空尺度特征。在流域的上中游侵蚀地区,物质被不断冲刷并汇集到河道;在各级沟道和河道中,径流和泥沙物质被不断向下游传输;到了下游地区,则发生沉积并使地面抬升或陆地向海洋延伸。土壤侵蚀及其治理对生态和环境的影响,已引起了全球变化研究者的广泛关注(Favis-Mortlock et al,1996;Kirkby,1999;Boardman,2010)^①。

从空间尺度层次看,区域是土壤侵蚀及其模拟研究的一个主要尺度等级。在全球变化研究中,将土壤侵蚀的空间尺度概括为5个层次,包括微尺度、小区尺度、田间尺度、流域尺度、国家和全球尺度(Williams J et al,1996)。区域土壤侵蚀调查、监测和定量评价研究,是水土保持宏观决策的基础。国际上对区域土壤侵蚀及其环境因子进行了大量的调查制图,研究尺度涉及全球(Oldeman et al,1991;Oldeman et al,1994;Batjes,1996;Reich et al,1999;Yang et al,2003)、洲和国家尺度(Singh et al,1992;Brazier et al,2001;Hughes et al,2001;Lu et al,2001;Marston,2001;Le Bissonnais et al,2002;Lu et al,2002;Gobin et al,

① Boardman J. COST Action 623: Soil Erosion and Global Change. 2002.

2003; Lu et al, 2003)。我国也在国家(朱显谟, 1965; 辛树帜等, 1982; 朱显谟等, 1999; 杨勤科, 2000; 唐克丽, 2004)、大地理区(罗来兴, 1965; 唐克丽等, 1991)和大中流域^①等尺度上进行了大量研究(杨勤科等, 2006)。

无论是从科学研究, 还是从水土流失治理(社会需求)方面看, 展开区域水土流失的监测、评价和调查研究, 均是必要的。

二、区域水土流失过程

(一) 土壤侵蚀过程

土壤侵蚀过程是土壤侵蚀研究的中心内容之一(郑粉莉等, 2003; 唐克丽, 2004)。文献中的土壤侵蚀过程有以下三个方面的含义:

(1) 土壤侵蚀发生发展的机理, 也就是土壤侵蚀是如何发生的(Ellison, 1947; 郑粉莉等, 2003), 主要强调了土壤侵蚀的原因; 影响因素的分析是这种理解的主要内容, 也是早期土壤侵蚀研究的主要内容; 这种理解基本局限在坡面或者更小尺度上。

(2) “剥蚀—搬运—沉积”序列, 指从降雨和雨滴打击、地面径流产生、径流冲刷产生泥沙、流水搬运并在低洼部位沉积的过程; 这种理解强调了“剥蚀—搬运—沉积”全过程, 是在汇水区或小流域尺度上的理解(De Roo et al, 1996; Renschler, 2003), 在上述坡面尺度基础上更加强调径流、泥沙等物质在坡面单元之间的迁移和转换。

(3) 土壤侵蚀变化(梁音等, 2006; 史德明等, 2008), 主要强调在较大时空尺度上, 在自然和人为作用驱动下, 随着时间会发生什么样的变化、其主导因子是什么? 在很大程度上强调了其时间特征。

(二) 微观土壤侵蚀过程

从侵蚀产沙角度看, 土壤侵蚀—产沙过程包括了土壤颗粒被剥蚀、剥蚀的土壤颗粒被向下坡方向搬运和最终被沉积三个环节。雨滴打击和径流冲刷是抵抗土壤黏结力和重力、剥蚀土壤颗粒并将其搬运的两个主要营力(Ellison, 1947; Meyer et al, 1972)。雨滴的主要作用是剥蚀, 而径流的主要作用是搬运被剥蚀的土壤(Ellison, 1947)。

土壤侵蚀过程包括:

(1) 击溅侵蚀: 土壤侵蚀过程通常发生在雨滴打击土壤表面的时候。土壤颗粒在雨滴打击作用下从土壤团块中剥离(Ellison, 1947)。

(2) 径流冲刷: 大气降水过程中, 当降水强度大于入渗速率或土壤被水饱和时, 将开始产生地表积水, 且形成地表径流。地表径流通常以薄层流方式流动很短一段距离(片流)后, 开始形成股流——细沟流。随着径流向坡下的进一步流动和股流的发生, 坡地上形成具有一定形态和格局的细沟。

(3) 泥沙沉积: 如果径流中泥沙的含量超过了径流的搬运能力, 将发生沉积。沉积速率取决于某地点泥沙含量和搬运能力的相对关系。当坡度变缓、径流宽度增加、出现局地洼地、径流被残茬或植被拦截时, 搬运能力将减小, 进而发生沉积(Meyer et al, 1972)。

① 黄河水土保持生态环境监测中心. 黄河流域水土保持遥感普查及监测总结报告. 2002.

USLE 是迄今为止最为实用的土壤侵蚀预报模型,该方程主要是为水土保持规划提供支持。其特色是简单易用,可用来预报多种土地利用和管理组合下的多年平均土壤流失量(Wischmeier et al,1978;Meyer,1984;Wischmeier,1984;Renard et al,1997)。但是,由于这一方程没有明显或者直接地反映 Ellison 等所定义的土壤侵蚀过程(Ellison,1947),因而不能模拟计算坡面各点、各时段土壤流失的详细过程(Meyer et al,1972)。为此,研究者根据径流泥沙平衡方程,提出了土壤侵蚀模型的控制方程,并建立基于侵蚀过程的土壤侵蚀预报模型(Meyer et al,1969)。WEPP 和 LISEM 等基于物理过程的土壤侵蚀预报模型,均是基于这种原理设计开发的(Flanagan et al,1995;De Roo et al,1996;杨勤科等,1998;贾媛媛等,2005)。

(三) 区域土壤侵蚀过程

在上述微观土壤侵蚀过程基础上,引入地理信息科学中的地理表达(Goodchild et al,2007;Yuan,2008)、区域离散化(Burrough et al,1998)理论,着眼区域土壤侵蚀模型开发的需要,在区域尺度上将土壤侵蚀过程抽象为以下三个方面:

(1)降水产流产沙过程:该过程被限制在一个微小的时间和地域单元上上进行描述,如果地域单元足够小,则可以认为是一个坡面,因而坡面水土流失试验观测资料、坡面侵蚀预报模型的部分算法可供区域水土流失模型参考。这种认识,一方面,使区域水土流失模型具有了坚实的土壤侵蚀学基础;另一方面,因为该单元将为 $100\text{ m} \times 100\text{ m}$ 甚至更大,因而在地形复杂地区(如黄土丘陵区、南方红壤区),基本的运算单元将是由一组坡面或地块组成的,因而必须考虑单元内部在地形、土地利用和植被等方面的不均一性,以及这种不均一性带来的单元属性变化,如坡度衰减和坡度扩张(Yang et al,2008;郭伟玲等,2010)。

(2)水沙物质汇集过程:是指地表径流泥沙物质从一个计算单元向较低部位(下坡部位)流动、汇集的过程。因为该过程,才使单元之间相互联系,并组成完整的流域或区域单元。这一过程也是物质能量守恒原理在空间上的表现。这一个过程的描述,须将土壤侵蚀原理与数字地形分析、水文分析和 GIS 空间分析方法结合起来才能实现。同时,因为上述第一过程被限制在微小时间单元,所以这种汇集在运算时可通过迭代计算来完成。

(3)水土流失治理过程:是在流域(或区域)尺度上,充分考虑其空间异质性和泥沙来源地,通过布设各种水土保持措施,实现对水土流失的预防、控制的过程。对这一过程的描述,通过在上述单元模型中加入适当参数(如土地利用和水土保持措施作用系数),考虑水土保持措施空间分布来分析和实现。在进一步的研究中,可在上述单元模型、汇流模型中耦合和集成气候变化、作物生长、土地利用变化等模型;还将考虑区域社会、经济、文化背景,将水土流失视为特定自然条件(侵蚀环境)、特定历史阶段的现象,如美国在二战前后由于不重视治理而引发了黑风暴,又如我国在 20 世纪 90 年代末,流失呈最严重状态,而随着经济发展呈良性发展势头。

三、区域水土流失格局

格局的研究,较多见于景观生态学。广义地讲,景观格局包括景观组成单元的多样性

和空间配置。景观生态学中研究空间格局,是因为格局与过程是相互联系的,可以通过研究空间格局来更好地理解生态学过程(邬建国,2000)。景观空间格局主要是指大小和形状不一的景观斑块在空间上的排列,它是景观异质性(heterogeneity)的重要表现,同时又是各种生态过程在不同尺度上作用的结果(张金屯等,2000)。景观格局也可认为是不同层次水平或相同层次水平景观生态系统在空间上的依次更迭和组合,直观地显示景观生态系统纵向、横向的镶嵌组合规律(王仰麟等,1999)。

水土流失空间格局(简称水土流失格局),是指水土流失的类型或强度在空间上的分布与组合规律,以及侵蚀类型或者强度沿空间的变化(依次更替)。从地学信息图谱观点看,土壤侵蚀信息图谱是土壤侵蚀的因子、类型、强度和过程在空间上的系统排列(段正松等,2009)。土壤侵蚀的格局,是土壤侵蚀发生发展过程在空间上或时间上不均一性(非线性)、土壤侵蚀因子的空间差异性的直接或者间接表现。在土壤侵蚀研究领域,传统的格局研究方法主要有现场考察和图示(蒋定生,1997)、土壤侵蚀区划(朱显谟,1958)、类型区制图(黄秉维,1955;罗来兴,1965)等。蒋定生通过对水土保持模式的研究,总结出了多种模式(蒋定生,1997)。随着土壤侵蚀评价定量化水平提高,特别是基于GIS土壤侵蚀预报模型的研发和应用(De Roo et al,1996;杨勤科等,2006),对土壤侵蚀格局的研究将逐步实现定量化(张志等,2001;李阳兵等,2007)。

近年来,土壤侵蚀空间格局研究的一个重要特点是,土壤侵蚀及其格局与景观格局之间的关系受到研究者关注。景观生态学研究应用景观格局研究的理论方法,尝试开展景观格局与土壤侵蚀关系(张志等,2001;王库等,2003;邱扬等,2004)、土壤侵蚀空间变异性等研究(邱扬等,2004)。

土壤侵蚀格局或空间结构的研究,将有助于间接分析侵蚀过程和系统功能。具体说,对于查清楚泥沙来源地,认识理解各种侵蚀类型及其侵蚀因子在空间上的关系,有针对性地布设水土保持工程项目和各种措施等,具有十分重要的意义。同时,对于土壤侵蚀定量评价和预报结果的评价,也是十分重要的。从实用而言,一个模型对于侵蚀的预报,除对于各点和流域(区域)整体的精度外,能否如实反映其空间格局,是一个更加重要的方面。景观生态系统空间结构在很大程度上控制其功能的特征及其发挥,影响着其中物质、能量和信息各种流过程及其形式(王仰麟等,1999)。土壤侵蚀景观概念的提出扩充了景观生态学的应用领域,使土壤侵蚀学科又增添了新的理论依据。GIS技术的介入使得土壤侵蚀制图的信息(面积、图斑数)得到进一步的挖掘(张志等,2001)。

四、水土保持监测的若干理论问题

我国已经进行了比较大量的水土保持试验观测,也正在建立全国范围内的水土保持监测网络系统。但对水土保持监测的理论问题研究比较薄弱,如什么是水保监测、什么是监测指标、如何确定监测指标体系、如何布设监测站点、各种监测方法之间如何相互配合运用等。这种认识薄弱的状况对于开展水土保持监测工作和研究均十分不利。

在回顾和总结水土保持现状存在问题的基础上,我们认为,水土保持监测是以土壤侵蚀及其治理为对象,以认识理解监测对象时空变化规律为目的,利用地面观测、调查、遥感

解译和分析计算等标准化的技术手段,在坡面、小流域和区域尺度上,长时期、周期性和连续不断地采集土壤侵蚀的因子(模型参数)、类型(包括沉积)、强度和治理状况(措施和效益)等方面信息的工作。

本书第三章,根据我们在水土保持监测方面的研究与实践,对水土保持监测的若干理论问题进行了初步的讨论。

第一章 绪 论

水土流失是土地退化和土地生产力降低的主要原因之一;水土流失也导致了一系列环境问题,如河道、水库和湖泊的淤积,以及径流泥沙中污染物质对下游水和土地的污染等。为了有效治理水土流失,必须对水土流失及其治理的状况进行调查、监测和评价。

水土流失是现代地表过程的主要表现形式,该过程与地表环境因子具有密切的发生过程和空间位置联系,其中耦合了土壤和地表松散物质、地表径流、污染物质以及土壤有机质等物质的运移;水土保持过程是土地利用和地表覆盖变化的重要驱动力之一,因而对区域甚至全球环境形成影响。区域水土流失的研究,除受到土壤学、地貌学等传统学科重视外,也日益受到地球系统科学和水土保持管理者的重视。

本章分析了水土流失调查、监测与评价研究的必要性与意义,从区域水土流失调查、土壤侵蚀监测、水土流失评价和土壤侵蚀与地球系统科学关系等四个方面,对国内外研究现状进行了比较系统的述评,提出了若干有待研究的问题。

第一节 研究背景

区域尺度水土流失监测、综合评价与制图,既是水土流失治理的需要,也是水土保持科学研究的需要,该领域的研究对于现代地表过程研究 also 具有重要意义。

一、水土流失及其危害

(一)世界水土流失概况

水土流失是指在水流作用下,土壤被侵蚀、搬运和沉积的整个过程。在自然状态下,由自然因素引起的地表侵蚀过程非常缓慢,常与土壤形成过程处于相对平衡状态,因此坡地及其上发育的土壤剖面还能被完整地保持,这种侵蚀称为自然侵蚀,也称为地质侵蚀。在人类活动影响下,特别是人类扰动或破坏了坡地植被后,由自然因素引起的地表土壤破坏和土地物质的移动、流失过程加速,即发生水土流失(中国农业百科全书土壤卷编委会,1996)。下文中,除特别申明外,土壤侵蚀和水土流失被认为是同义词。

水土流失是世界上最严重的环境灾害问题,也是土地退化的最主要形式,更是土地退化的根源。1978年联合国环境署(UNEP)资助国际土壤信息中心(International Soil Reference and Information Centre, ISRIC)进行了“全球土地退化评价”(Global Assessment of Soil Degradation, GLASOD)。世界范围内250多位土壤和环境科学家,根据影响土地退化的要素(地形、气候、土壤、植被和土地利用),利用专家经验法和常规制图方法(FAO et al,

1979)进行土地退化评价,编制了全球土地退化图。土地退化划分为四类,包括风力侵蚀、水力侵蚀、物理退化和化学退化,这是第一次对全球土地退化的评价和制图(见表1-1)(Oldeman et al,1991、1994)。GLASOD 编制的土壤侵蚀图(Reich et al,1999)和相应的土壤侵蚀面积表是首次公布的全球水土流失面积。全球水土流失总面积 $16.42 \times 10^6 \text{ km}^2$,其中中度以上侵蚀面积 $10.30 \times 10^6 \text{ km}^2$ 。据此资料,综合考虑流失量和流失面积,中国居世界第二。

表 1-1 世界各大洲土壤侵蚀面积 (单位:万 km²)

地区	侵蚀类型	轻度	中度	强度	剧烈	合计
亚洲	水蚀	124.5	241.7	73.4		439.6
	风蚀	132.4	75.1	14.5	0.2	222.2
	小计	256.9	316.8	87.9	0.2	661.8
非洲	水蚀	57.5	67.4	98.3	4.2	227.4
	风蚀	88.3	89.3	7.9	1	186.5
	小计	145.8	156.7	106.2	5.2	413.9
南美洲	水蚀	45.9	65.1	12.1		123.1
	风蚀	25.8	16.1			41.9
	小计	71.7	81.2	12.1	0	165
中美洲	水蚀	0.6	22.3	23.4		46.3
	风蚀	0.1	4	0.5		4.6
	小计	0.7	26.3	23.9	0	50.9
北美洲	水蚀	13.7	46.1			59.8
	风蚀	2.5	30.8	1.3		34.6
	小计	16.2	76.9	1.3	0	94.4
欧洲	水蚀	21.4	81	9.8	2.4	114.6
	风蚀	3.2	38.2		0.7	42.1
	小计	24.6	119.2	9.8	3.1	156.7
大洋洲	水蚀	79.4	3.2	0.2		82.8
	风蚀	16.3		0.1		16.4
	小计	95.7	3.2	0.3	0	99.2
全球	水蚀	343.0	526.8	217.2	6.6	1 093.6
	风蚀	268.6	253.5	24.3	1.9	548.3
	总计	611.6	780.3	241.5	8.5	1 641.9

水土流失是一个长期受到社会多方关注的全球性环境问题,水土流失、水土保持及其

相关的环境问题研究,在世界范围内受到广泛关注,是历届国际水土保持大会交流讨论的重要议题。

(二)水土流失治理

由于人类不合理的、过度的利用土地,导致了比较严重的后果。比较著名的是 20 世纪 30 年代发生在美国、50 年代发生在俄罗斯的黑风暴和 90 年代发生的沙尘暴(王式功等,1995;陈佐忠,2005)。黑风暴的发生提醒了人们,必须通过实施水土保持工作实现对土地资源的保护和永续利用。二战以后,西方国家投入大量人力、物力进行水土流失治理。比较著名的例子有美国密西西比河流域、田纳西河流域治理(总面积 10.6 万 km^2)等,在治理过程中也进行了相应的水土保持监测。而到 20 世纪末期,由于全球性环境问题的日益突出,水土流失治理更加受到关注,开始建立全球范围内的水土保持监测网络系统,开展了大量的关于小流域的监测(Favis-Mortlock et al,1996;Ingram et al,1996;Posen et al,1996;Boardman,2002;Valentin et al,2002)。国外的小流域监测工作最突出的特点是,将监测和观测与土壤侵蚀模型开发相结合,与水土保持和生态治理工程相结合(De Graaff et al,2007)。

我国是个多山国家,山地面积占国土面积的 2/3。我国又是世界上黄土分布最广的国家,山地丘陵和黄土地区地形起伏较大,黄土或松散的风化壳在缺乏植被保护情况下极易发生侵蚀。我国大部分地区属于季风气候,降水量集中,雨季降水量占年降水量的 60%~80%,且多暴雨。易于发生水土流失的地质地貌条件和气候条件,使我国具有发生水土流失的较大危险(马晓微等,2002)。另外,因为我国人口多,粮食、生活燃料需求等压力大,在生产水平不高的情况下,对土地实行掠夺性开垦,片面强调粮食产量,忽视因地制宜的农林牧综合发展,把只适合种植林草的土地也辟为农田,加重了水土流失。近年经济发展过程中,有些基本建设不完全符合水土保持要求。例如,不合理修筑公路、建厂、挖煤、采石等,破坏了植被,使边坡稳定性降低,引起滑坡、塌方、泥石流等严重的地质灾害(唐克丽,2004)。

水土流失及其导致的土地退化、河流湖泊和水库泥沙淤积等问题是严重的全球性环境问题,并已经对人类的生存和发展构成了威胁。新中国成立以来,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。通过 50 多年长期不懈的努力,全国已累计治理水土流失面积 87.41 km^2 ,兴修梯田 1 475.21 万 hm^2 ,修建数百万座小型水利水保工程,发挥了巨大的生态、经济、社会效益,黄河中游地区每年减少入黄泥沙 3 亿 t(陈雷,2002)^①。黄土高原土壤侵蚀产生的泥沙约有 1/3 沉积在黄河河床,使下游河床高出两岸 3~10 m,最高处达 15 m 以上,成为“地上悬河”,严重威胁着下游 25 万 km^2 、1 亿多人口的生命财产安全,成为中华民族的心腹之患^②。但是由于不合理的人为活动和人口的迅速增长,人们索取自然资源的强度日益剧增,滥伐滥牧滥垦,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。据 1989 年遥感普查统计,全国水土流失面积 367 万 km^2 (水力侵蚀 179 万 km^2 ,风力侵蚀 188 万 km^2);据 2002 年第二次全国土壤侵蚀遥感

① 陈雷. 中国的水土保持——在第十二届国际水土保持大会上的主题报告. 2002.

② 李锐,等. 中国主要水蚀区土壤侵蚀过程与调控研究(973 计划项目申请书). 2006.