

高等院校精品课程建设教材

雷廷武 李法虎 主编

# 水土保持学

Soil and Water  
Conservation



中国农业大学出版社

ZHONGGUONONGYEDAXUE CHUBANSHE

高等院校精品课程建设教材

# 水土保持学

雷廷武 李法虎 主编

中国农业大学出版社

· 北京 ·

## 内 容 简 介

水土资源与水土环境是人类赖以生存与持续发展的基础。水土保持学是研究维持与改善水土环境质量的一门综合性跨学科课程,是一门实践性和地域性较强的学科,它不仅涉及工程学、水文学和土壤学,同时也涉及植物科学、环境科学、生态学、经济学以及社会科学等。结合国外本领域的最新研究进展以及作者的研究成果,本书较系统全面地介绍了水土保持的概念、原理以及水土流失的测定方法、影响因素、控制措施及其危害评估方法,是全面了解和研究水土流失、水土保持和水土环境等领域的学生和科研人员所必须掌握的基本知识。全书共分15章。

本书可作为农业水土环境以及水土保持与荒漠化防治等专业的本科生教材,也可作为相关专业学生、科研人员以及工程技术人员的参考用书。

### 图书在版编目(CIP)数据

水土保持学/雷廷武,李法虎主编. —北京:中国农业大学出版社,2012. 11

ISBN 978-7-5655-0605-5

I. ①水… II. ①雷…②李… III. ①水土保持—高等学校—教材 IV. ①S157

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 222720 号

书 名 水土保持学

作 者 雷廷武 李法虎 主编

责任编辑 孙 勇 田树君

责任校对 陈 莹 王晓凤

封面设计 郑 川

出版发行 中国农业大学出版社

社 址 北京市海淀区圆明园西路2号

邮政编码 100193

电 话 发行部 010-62818525,8625

读者服务部 010-62732336

编辑部 010-62732617,2618

出 版 部 010-62733440

网 址 <http://www.cau.edu.cn/caup>

e-mail [cbsszs@cau.edu.cn](mailto:cbsszs@cau.edu.cn)

经 销 新华书店

印 刷 涿州市星河印刷有限公司

版 次 2012年11月第1版 2012年11月第1次印刷

规 格 787×1092 16开本 20.75印张 610千字

印 数 1~3 000

定 价 36.00元

图书如有质量问题本社发行部负责调换

## 编写人员

主 编 雷廷武 李法虎

副主编 何丙辉 史海滨

编写人员(按姓氏拼音顺序排列)

郭汉清	何丙辉	雷廷武	李法虎	刘士余
史海滨	杨树青	张晴雯	赵 辉	郑子成

# 前 言

水土资源与水土环境是人类赖以生存与持续发展的基础。以水土流失研究为基础的水土保持是指人类通过采用各种措施,控制水土流失,维持和改善人类生存环境,保证社会、经济与生态持续健康发展的综合性实践活动。充分、高效地利用自然资源以及维持健康的生态环境是水土保持的根本。水土保持学不仅涉及自然科学,同时也涉及社会科学。水土保持工作是实践性强、地域差异大、覆盖范围广、综合性强的系统工程,在一定程度上综合反映了当代科技、社会的发展水平。本书较全面地介绍了水土保持学的基本概念、原理以及水土流失的测定方法、影响因素、控制措施及其危害评估方法,是全面了解和研究水土流失、水土保持以及水土环境等领域的学生和科研人员所必须掌握的基本知识。

全书共分 15 章。第 1 章由雷廷武(中国农业大学)和李法虎(中国农业大学)编写,第 2 章由郑子成(四川农业大学)和雷廷武编写,第 3 章由何丙辉(西南大学)编写,第 4 章由雷廷武和李法虎编写,第 5 章由何丙辉和雷廷武编写,第 6 章由郑子成编写,第 7 章由史海滨(内蒙古农业大学)编写,第 8 章由李法虎编写,第 9 章由刘士余(江西农业大学)编写,第 10 章由赵辉(中国农业大学)编写,第 11 章由刘士余编写,第 12 章由赵辉编写,第 13 章由张晴雯(中国农业科学院)编写,第 14 章由郭汉清(山西农业大学)编写,第 15 章由杨树青(内蒙古农业大学)编写,常见水土保持专业术语中英文对照表由李法虎和雷廷武整理编写。全书由李法虎统一审校和定稿。在本书的编写过程中,得到了中国农业大学出版社孙勇老师的大力帮助和支持,在此表示衷心的感谢。

本书可作为水土保持与荒漠化防治以及农业水土环境等专业的本科生教材,也可作为相关专业学生、科研人员以及工程技术人员的参考用书。

水土保持学是一门跨学科课程,涉及内容广泛,知识面宽。限于作者水平,本书难免会存在不足之处,敬请读者和同行专家提出宝贵意见。

编 者

2012 年 6 月

# 目 录

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 水土保持基本概念及研究范畴 .....	1
1.2 国内外水土保持发展状况 .....	5
1.3 水土保持学与其他相关学科的关系 .....	7
1.4 水土保持学的发展趋势及重点研究领域 .....	8
<b>第 2 章 坡面水文过程</b> .....	12
2.1 雨滴特性.....	12
2.2 土壤水与入渗.....	15
2.3 径流.....	20
<b>第 3 章 土壤侵蚀类型及作用机制</b> .....	26
3.1 土壤侵蚀动力与土壤侵蚀类型.....	26
3.2 土壤侵蚀作用机制.....	28
3.3 土壤侵蚀的影响因素.....	36
<b>第 4 章 农地水土环境</b> .....	42
4.1 农地土壤侵蚀.....	42
4.2 农地水环境.....	51
4.3 农地土壤环境.....	53
<b>第 5 章 土壤侵蚀预报模型</b> .....	62
5.1 土壤侵蚀预报模型类型.....	62
5.2 土壤水蚀预报模型.....	64
5.3 土壤风蚀模型.....	76
<b>第 6 章 土壤侵蚀常用研究方法</b> .....	84
6.1 径流小区法.....	84
6.2 土壤侵蚀调查法.....	87
6.3 示踪法.....	92
6.4 室内模拟试验法.....	93
<b>第 7 章 土壤侵蚀危害的预测评估</b> .....	98
7.1 土壤侵蚀危害预测评估的内容及指标体系.....	99
7.2 土壤侵蚀危害预测评估的方法 .....	101
7.3 土壤侵蚀危害预测评估的评判标准 .....	104
<b>第 8 章 土壤侵蚀控制原理及策略</b> .....	109
8.1 土壤侵蚀控制理论基础 .....	109
8.2 土壤水蚀控制原理与策略 .....	115

8.3	土壤风蚀控制原理与策略 .....	125
8.4	土地植被的恢复与重建 .....	126
<b>第9章</b>	<b>水土保持林草措施</b> .....	<b>128</b>
9.1	概述 .....	128
9.2	水土保持林草建设的布局 and 配置 .....	136
9.3	水土保持造林种草技术 .....	139
9.4	水土保持林草抚育与管护技术 .....	143
<b>第10章</b>	<b>水土保持工程措施</b> .....	<b>149</b>
10.1	坡面治理工程 .....	149
10.2	沟道治理工程 .....	165
10.3	小型蓄排引水工程 .....	188
10.4	山地灾害治理工程 .....	193
<b>第11章</b>	<b>水土保持耕作措施</b> .....	<b>203</b>
11.1	概述 .....	203
11.2	主要水土保持耕作措施 .....	206
11.3	农林复合经营技术 .....	211
<b>第12章</b>	<b>地面集水工程</b> .....	<b>218</b>
12.1	概述 .....	218
12.2	地面水聚集工程 .....	223
12.3	地面贮用工程 .....	226
12.4	地面集水工程的配套设施 .....	233
12.5	农业集水工程的利用技术 .....	235
<b>第13章</b>	<b>农地水土污染与防治</b> .....	<b>240</b>
13.1	农地水土污染与研究现状 .....	241
13.2	农地非点源污染控制与治理 .....	245
13.3	污染农地治理与修复 .....	250
<b>第14章</b>	<b>城市水土环境和水土保持</b> .....	<b>256</b>
14.1	城市水土环境 .....	257
14.2	城市水土流失 .....	262
14.3	城市水土保持 .....	267
<b>第15章</b>	<b>流域管理与规划</b> .....	<b>285</b>
15.1	流域规划原则与流域管理目标 .....	285
15.2	国内外流域管理法规政策 .....	287
15.3	流域管理中的社会与经济问题 .....	296
<b>附录</b>	<b>常见水土保持专业术语中英文对照</b> .....	<b>314</b>

# 第1章 绪 论

[摘要]本章主要介绍水土流失与水土保持的基本概念,水土流失的特点和危害,水土流失影响因素,国内外水土保持的发展状况与趋势以及近期水土保持科学研究的重点领域。

水土资源是人类生存和发展的基本条件。我国人口众多,水土资源短缺,生态环境问题严重。水土流失严重地区多位于大江大河的中上游地区和水源区,同时也多是我国生态环境脆弱、经济发展滞后的地区。在我国诸多生态环境问题中,水土流失涉及范围广、影响大、危害重,是生态恶化的集中反映,已成为制约经济社会可持续发展和构建和谐社会的重大环境问题之一。因此,水土保持是促进人与自然和谐、保障国家生态安全与可持续发展的一项长期的战略任务。

## 1.1 水土保持基本概念及研究范畴

我国在2000多年前即已出现水土保持方面的记载。我国劳动人民为保护生存条件,在平原地区修沟洫畦田,在山区修建梯田、引洪漫地,采用蓄水保土等耕作方法,积累了丰富的水土保持治理经验。随着对水土流失问题认识的深入和扩展,土壤侵蚀和水土保持两个名词的含义和研究范畴的差别愈益明显。

### 1.1.1 水土流失与水土保持的概念和含义

科学出版社出版的《简明水利水电词典》,对水土流失的定义为“地表土壤及母质、岩石受到水力、风力、重力和冻融等外力的作用,使之受到各种破坏和移动、堆积过程以及水本身的损失现象。这是广义的水土流失。狭义的水土流失是特指水力侵蚀现象。”《中国大百科全书·水利卷》对水土流失的定义为“在水力、重力、风力等外营力作用下,水土资源和土地生产力的破坏和损失,包括土地表层侵蚀和水土损失,亦称水土损失。”辛树帜和蒋德麒主编的《中国水土保持概论》(1982)认为“水土流失”一词的含义等同于“土壤侵蚀”一词,“是指地表土壤及母质受外力作用发生的各种破坏、移动和堆积过程以及水的损失,包括水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀和冻融侵蚀等”。项玉章和祝瑞祥主编的《英汉水土保持辞典》(1995)将水土流失解释为“在水力、风力、冻融、重力等外力作用下,水土资源和土地生产力的破坏和损失,包括土地表层侵蚀及水的损失”。关君蔚先生认为,水土流失与土壤侵蚀是两个有区别的概念,前者是在陆地表面由外营力引起的水土资源和土地生产力的损失和破坏,后者则是指陆地表面在水力、风力、冻融和重力等外力作用下土壤、土壤母质及其他地面组成物质被破坏剥蚀、转运和沉积的全过程;水土流失包括水的流失和土的流失这两个相互渗透和相互依存的侧面,土壤侵蚀是“土的流失”的同义语。水土流失是指由水作用为营力,造成水土资源和土地生产力的破坏和损失,它直接反映了土壤侵蚀的危害。与土壤侵蚀相比较,在应用水土流失概念时,水不仅是



作为引起土壤侵蚀的营力,同时也是农业生产的资源要素。从农业生产角度出发,水土流失不仅造成土壤及其养分的流失,也造成土壤水分和水资源的流失。

土壤侵蚀作为世界重大环境问题越来越受到世界各国政府及科技工作者的关注。由于世界各国科技文化发展水平不均衡、所处的自然环境及社会经济状况不同以及土壤侵蚀发生和发展动力因素的差异,土壤侵蚀的表现形式也各具特点,因此世界各国对土壤侵蚀和水土保持的定义也略有不同。

美国学者 Bennett 自 20 世纪 20 年代初开展了较为系统的水土流失定位观测研究。他将水蚀和风蚀列为土壤侵蚀两种主要类型进行了详细分析,并对水土保持定义为“在人类活动中,合理地利用土地和保证土地的可持续利用”。1971 年美国土壤保持局把土壤侵蚀解释为“土壤侵蚀是水、风、冰或重力等营力对陆地表面的磨蚀,或者造成土壤、岩屑的分散与移动”。英国著名水土保持学者哈德逊在《土壤保持》(1995)一书中定义土壤侵蚀为“土壤侵蚀本质上是一种夷平过程,它使土壤和岩石颗粒在外力作用下发生转运、滚动或流失,风和水是使颗粒变松和破碎的主要营力”。澳大利亚把土壤侵蚀作为引起土地退化的主要因素,他们的水土保持意义更宽,包括了所有防治土地退化的行动,近年又引申为“土地保育”。除了一般的水蚀过程外,日本的土壤侵蚀问题主要是指由于降雨引发的山体滑坡、崩塌以及陡坡地坍塌等重力侵蚀形式,其治理方针为“治山治水”。新西兰国家水土保持局根据本国的水土流失具体情况,在 1985 年对全国土地资源清查时,制定了新西兰土壤侵蚀分类系统。在这个分类系统中,侵蚀形式分成了面蚀、重力侵蚀和水力侵蚀 3 大类型。

《中国大百科全书·农业卷》中对水土保持的定义是“防治水土流失,保护、改良与合理利用山丘区和风沙区水土资源,维护和提高土地生产力,以利于充分发挥水土资源的经济效益和社会效益,建立良好生态环境的事业”。《中华人民共和国水土保持法》对水土保持定义为,“水土保持是指对自然因素和人为活动造成的水土流失所采取的预防和治理措施”。新时期水土保持的任务是“防治水土流失,保护、改良与合理利用水土资源,提高水的利用效率和土地生产力,建立良好的生态环境,促进经济、社会、生态环境的可持续发展以及人与自然和谐相处的综合性措施”。

水土保持的研究对象不只是土地资源,还包括水资源。保持(conservation)的内涵不只是保护(protection),而且包括改良(improvement)与合理利用(rational use)。不能把水土保持理解为土壤保持、土壤保护,更不能将其等同于土壤侵蚀控制(soil erosion control)。水土保持是自然资源保育的主体。

虽然土壤侵蚀和水土保持基本概念和内涵的定义和解释各国不尽相同,但它们都包含了地表土壤移动的共同点,在引起土壤侵蚀作用力中都包括了内、外营力以及人为活动作用。根据侵蚀形式,土壤侵蚀可分为面蚀、沟蚀、崩塌、泻溜和滑坡、泥石流等;根据侵蚀营力,土壤侵蚀可分为水蚀、风蚀、重力侵蚀以及冻融侵蚀等。

从土壤侵蚀以及水土保持概念和内涵的发展演变过程中,可以看出人们对土壤侵蚀和水土保持的认识是一个不断发展深化的过程。土壤侵蚀从简单的由水力或风力作用引起的土地表面物质的移动,逐步发展到土壤在内、外营力(如水力、风力、重力、人为活动等)作用下,被分散、剥离、搬运和沉积的过程。水土保持概念也由初期的土壤保持逐渐发展到今天的土壤保持和水的保持,从单一强调土壤侵蚀引起土地生产力退化到同时强调土壤侵蚀环境与全球生态环境的联系。例如水土流失与水环境的联系,水土保持与全球气候变化的联系等。随着

人们认识的发展,土壤侵蚀与水土保持学概念还在不断地完善和深化。水土保持学正在逐步演变成一个涉及物理、化学、数学、计算机、气象、水利、农业、林业、资源、环境以及社会经济等的综合学科。

### 1.1.2 我国水土流失特点及危害

水是生命之源,土是生存之本,水土资源是人类赖以生存和发展的基本条件。土壤原本是一种可再生资源,但在人类活动的影响下,水土流失速度已大大超过了土壤自然形成的过程,使土壤这种可再生资源变成了实际上的不可再生资源。水土流失既是造成土地生产力退化的主要原因,亦是水体非点源污染的重要来源,它对农业发展、人们生活和生存构成了严重威胁,是当前全球性灾害之一。自20世纪40年代以来,全球人口的急剧增长、工业化进程的加剧以及随之而来的对水土等资源的掠夺式开发利用,已导致了大面积水土资源流失的发生。

土地资源的损失已成为全球性的资源环境问题,发展中国家所面临的状况尤为严重。中国是世界上水土流失最为严重的国家之一,水土流失已成为重要的环境问题。每年因生产建设而造成1万多 $\text{km}^2$ 新的水土流失面积,这使得我国业已短缺的水土资源变得更加紧张。我国每年有50多亿t沃土付诸东流,流失的氮、磷、钾等养分远大于全国化肥的年产量,而有机质的损失则永难弥补。根据2008年中国水土流失与生态安全综合科学考察报告,中国现有土壤侵蚀面积356.92万 $\text{km}^2$ ,其中水力侵蚀面积161.22万 $\text{km}^2$ ,风力侵蚀面积195.7万 $\text{km}^2$ 。我国水土流失具有三个明显特点:一是水土流失面积大,分布范围广。中国水土流失不仅广泛发生在农村地区,而且也发生在城镇和工矿区。二是流失强度大,严重侵蚀区所占的比例高。我国年均土壤侵蚀总量约50亿t,主要江河的多年平均土壤侵蚀模数约为3400 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,部分区域的侵蚀模数甚至超过3万 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ,侵蚀强度远高于土壤的容许流失量。按照水土流失面积占国土面积的比例及流失强度等指标综合判定,我国现有严重水土流失县646个。其中,长江流域265个、黄河流域225个、松辽流域44个、海河流域71个、淮河流域24个以及珠江流域17个。三是流失成因复杂,区域差异明显。我国东北黑土区、北方土石山区、黄土高原区、长江上游及西南诸河区、北方农牧交错区、西南岩溶石漠化区青藏高原高寒区以及南方红壤区等各区域的自然和经济社会发展状况差异较大,水土流失的主要成因、产生的危害、治理的重点各有不同。

水土流失危害主要表现在以下四个方面:一是导致土地退化,毁坏耕地,威胁国家粮食安全。经测算,按现在的流失速度,50年后东北黑土区1400万亩耕地的黑土层将流失殆尽,粮食产量将降低40%左右;35年后西南岩溶区的石漠化面积将翻一番,届时将有近1亿人失去赖以生存和发展的土地。二是导致江河湖库淤积,加剧洪涝灾害,对我国防洪安全构成巨大威胁。1950—1999年,黄河下游河道淤积泥沙92亿t,致使河床普遍抬高2~4m;辽河干流下游部分河床已高于地平面1~2m而成为地上悬河。全国8万多座水库,年均淤积16.24亿 $\text{m}^3$ 。洞庭湖年均淤积泥沙0.98亿 $\text{m}^3$ ,从而导致调蓄能力下降。三是恶化生存环境,加剧贫困,成为制约山丘区经济社会发展的重要因素。水土流失与贫困互为因果、相互影响。经济最贫困地区往往也是水土流失最严重的地区。中国76%的贫困县和74%的贫困人口生活在水土流失区。赣南15个老区县中,水土流失严重县有10个;陕北老区27个县全部为水土流失严重县;太行山老区45个县中,水土流失严重县达33个。此外,我国西南、西北许

多少民族区也多为水土流失严重区。贵州省铜仁地区和黔西南布依族苗族自治州的 11 个民族县,全部为水土流失严重县。云南省楚雄彝族自治州 10 个民族县中,水土流失严重县有 7 个;文山壮族苗族自治州 8 个民族县中,5 个为水土流失严重县。宁夏南部山区 8 个回族为主的县,全部为水土流失严重县。甘肃省临夏回族自治区的 8 个民族县,全部为水土流失严重县。四是削弱生态系统的调节功能,加重旱灾损失和面源污染,对我国生态安全和饮水安全构成严重威胁。2000 年我国水土流失带来的经济损失至少在 2 000 亿元以上,相当于当年度全国 GDP 的 2.25%。

水力侵蚀、风力侵蚀、冻融侵蚀以及滑坡与泥石流等重力侵蚀的特点各异、相互交错、成因复杂。西北黄土高原区、东北黑土漫岗区、南方红壤丘陵区、北方土石山区以及南方石质山区多以水力侵蚀为主,同时伴随着大量的重力侵蚀;青藏高原以冻融侵蚀为主,其西部干旱区、风沙区和草原区风蚀严重,西北半干旱农牧交错带则为风蚀与水蚀共同作用区。

经过多年的综合防治,我国部分地区水土流失程度有所减轻。但从全国来看,水土流失严重、生态恶化的趋势尚未得到有效遏制,总体程度在加剧,危害在加重。当前水土保持领域比较突出的问题是:①经济建设中重开发、轻保护的现象仍普遍存在。为了降低工程建设成本,在工程建设过程中不重视水土保持,随意弃土弃渣、破坏地貌与植被。大规模的采石、挖沙、取土等生产建设活动以及部分山丘区林果业的无序开发,也造成了大面积的植被破坏和水土流失。“十五”期间开发项目扰动地表面积 5.53 万 km<sup>2</sup>,弃土弃渣量达 92.1 亿 t。②坡耕地和侵蚀沟治理滞后,已成为水土流失的主要来源地。全国现有的 18.3 亿亩耕地中,坡耕地约 3 亿亩,每年产生的土壤流失量约为 15 亿 t,占全国水土流失总量的 33%。黄土高原地区的坡耕地,每生产 1 kg 粮食流失土壤 40~60 kg。我国大面积的坡耕地及其严重的水土流失,不仅破坏了水土资源,而且恶化了生态,已成为影响生态重建和恢复的关键因素。此外,山丘区侵蚀沟的水土流失严重,亟待加强治理。沟道侵蚀量约占水土流失总量的 40%~50%,许多水土流失灾害都来自沟道侵蚀。目前,黄土高原区长度大于 1 km 的侵蚀沟约有 30 万条,黑土区有 8.7 万条;南方红壤区有崩岗 22.2 万处;长江上游及西南诸河区有滑坡 20 万处、泥石流沟 1 万余条。③部分地区水土流失防治措施配置不当。例如,干旱、半干旱地区草种或树种选择不当,耗水过度,或成活率和保存率低。一些地区水土保持林林相单一,抚育管理不合理,林地的水土流失较为严重。部分地方在措施配置时未做到生态与经济的有机结合,致使治理成果难以巩固。此外,只注重人工治理而忽视生态自然修复,这样既加大了生态治理成本,又影响了生态恢复的效果和进度。④贫困地区水土保持投入不足,防治速度缓慢。“十五”期间,国家水土保持投入达到了历史最高水平,2004 年达 16.3 亿元,但仍仅占 GDP 的 0.012%,许多严重流失区无法进行有效治理。⑤统筹协调不够,采取的治理措施难以形成合力。水土流失防治工作涉及面广,必须加强各部门之间的协调与配合。但从目前情况看,部门间、地区间、项目间的统筹协调十分薄弱,措施配置、资金投入、监督执法以及组织管理上协调不够。

我国水土流失治理任务十分艰巨。如果不能尽快对水土流失严重地区进行有效治理,我们就难以维持赖以生存的土地资源的持续开发利用。

## 1.2 国内外水土保持发展状况

### 1.2.1 国外状况

国外对水土保持的研究是从19世纪末到20世纪初逐步发展和形成起来的。德国土壤学家沃伦在1877—1895年建立了第一个水土保持研究试验小区,观测植被及地面覆盖物对防止侵蚀和土壤板结的影响作用,以及坡度对径流与侵蚀的影响。土壤科学的奠基人、前苏联科学家 Dokuchaev(1877, 1879)首次关注水土流失带来的危害。20世纪20年代,美国学者 Bennett 根据 Miller 提出的径流和侵蚀定量评价研究方法,首次在全美不同自然地理区建立了10个水土保持试验站网,开展水土流失的试验研究,为水土保持科学研究的发展奠定了基础。

美国、前苏联、新西兰、日本、澳大利亚等先后建立了国家级水土保持管理机构和流域管理机构,成立了各级水土保持科研单位,并在有关高等院校开设了水土保持专业,培养了大批水土保持领域的专业人才,在水土保持基础理论、应用技术和开发治理等方面的研究取得了显著进展,并制定了相关的法律、法规和规划,保证了水土保持工作的开展和实施。

美国的水土流失比较严重,也是世界上开展水土保持工作较早的国家之一。在19世纪和20世纪初期,由于大量移民、砍烧森林垦荒以及粗放的耕作方法,导致了强烈的水土流失和农作物产量的下降。美国水土保持的发展主要经历了3个阶段,即初期的“先开发后治理”阶段、中期的“开发与治理并进”阶段和后期的“重视生态环境修复或环保优先”阶段。第一阶段从19世纪末至20世纪30年代中期。美国西部的开发过程,走的是一条先开发后治理的道路。1890—1920年发起第一次水土保持运动,重点在造林。1930年,美国农业部拟订了全国性土壤研究计划,为水土流失研究打下了基础。第二阶段从20世纪30年代中期至50年代末。在此期间,通过立法,大规模开展了水土流失的研究和防治。1935年,美国国会通过水土保持法案,确认水土流失可能成为国家威胁,并在全国成立了水土保持机构,在各州设立了3000个土壤保持区,开展治理工作。1944年,Ellison通过实验认识到降雨击溅是水蚀过程的主要营力之一,从而将以径流侵蚀工程防护措施为主的防治思想扩展到以消除雨滴击溅作用的覆盖措施(如免耕法、少耕法等)。在大量研究和实测资料的基础上,于1956年提出了“通用土壤流失方程”。第三阶段为60年代以来的全面提高阶段。在研究方面,以扩大“通用土壤流失方程”的应用领域和范围、建立水土流失预报机理模型以及研究覆盖耕作、免耕和少耕法对水土流失的影响效果等为主,多次开展全国自然资源普查。在治理方面,为适应农业大机具的应用,对原有梯田、地埂、渠道等水土保持设施进行了技术改造,从针对流失地块治理向以小流域为治理对象的过渡,促进农村、城市以及各种工程建设的生态环境向整体改善的方向发展。

19世纪后期,欧洲水土保持学科发展的一个重要方向是研究山洪和雪崩的发生过程及防治措施。在对山洪和雪崩研究的基础上,1860年出版了《山区土壤保持和山洪防治手册》。此后的水土保持研究工作,除继续研究减少河流泥沙输移和河槽沉积外,对水土流失特征及防治工作也给予了极大关注。不同专业的研究者从不同的角度对水土流失现象和过程进行观测研究。

前苏联地区地域辽阔,水土流失面积大、分布广。西部地区主要以水蚀为主,土壤侵蚀面积约50万 $\text{km}^2$ ;东部地区以风蚀为主,土壤侵蚀面积约45万 $\text{km}^2$ 。每年被冲蚀的土壤达

5 亿 t 以上, 流失各种营养物质约 3 800 t。1952 年, 苏联科学院组织水土流失考察队, 对水土流失状况和防治办法进行调查和研究。并于 1958 年编制了全苏水土流失因素图, 提出了不同水土流失类型区的综合防治措施, 从工程技术措施、农业技术措施、土壤改良措施和森林改良土壤措施等方面进行综合防治。

新西兰是一个以畜牧业为主的国家。为了发展畜牧业, 大量采伐森林。由于山多坡陡, 地质构造作用频繁, 降雨量大且多暴雨, 水土流失十分严重。新西兰 1941 年制定了《水土保持及河川治理条例》, 1952 年建立了土地生产潜力分类系统。

澳大利亚水土流失面积约为 260 万  $\text{km}^2$ , 占可利用土地面积的 50%。在 19 世纪 40 年代, 由于毁林扩牧、毁草经农以及开矿的破坏, 导致了严重的水土流失。1936 年, 澳大利亚各州成立了水土保持局, 并先后制定了水土保持法。近几十年来, 水土保持工作取得了显著成效, 昔日许多水土流失严重的土地得到了有效治理。

日本约 70% 的国土面积是山区, 多数河流水流湍急, 地震和火山喷发频繁, 泥石流等地质灾害多发。1950 年以来, 日本先后颁布了“林业基本法”、“防治滑塌法”、“治山治水决议案”等有关水土保持法案, 从法律、经济和技术等方面, 采取了一系列措施, 推动了水土保持工作的开展。在水土流失严重地区, 上游修谷坊、下游筑堤坝。在泥石流防治、滑坡防治以及斜面塌滑防治等方面具有独特的防治经验。

### 1.2.2 国内状况

我国水土保持事业经历了 3 个阶段。20 世纪初期至 20 世纪中叶为起步阶段。1923 年, 南京金陵大学任承统等人在山西和山东开展了水土流失状况的调查研究。1940 年, 黄河水利委员会林垦设计委员会与金陵大学农学院和四川大学农学院在成都召开了防止水土流失的学术研讨会, 并首次提出“水土保持”一词。1945 年在重庆成立了中国水土保持协会, 并先后在甘肃天水、四川内江、福建长汀河田、广西西江等地设立了水土保持试验站, 研究水土流失规律, 开创了我国水土保持的研究工作。20 世纪 50 年代至 80 年代末期为大力发展阶段。20 世纪 50 年代, 以治理黄土高原为重点, 水利部、中国科学院和黄河水利委员会在黄河中游地区组织了 3 次大规模的水土流失考察与勘查工作。1950—1954 年, 在黄河中上游地区扩建了天水、绥德、西峰、榆林、延安、平凉、定西、离石等水土保持试验推广站。先后制定了《中华人民共和国水土保持工作条例》及《中华人民共和国水土保持法》等有关法律和法规。20 世纪 80 年代以后为发展提高阶段。在最近的几十年内, 我国的水土保持研究工作及治理工作得到了迅速发展和提高。在水土保持学的基础理论研究如水土流失机理、水土保持工程、水土保持规划、水土保持监测以及水土保持法律与法规建设等方面, 均取得了长足进展。由中国独创的小流域综合治理理论与配套技术体系及模式、梯田建设技术等, 不仅在中国水土保持工程建设与水土流失综合治理工作中起到了重要的科技支撑作用, 而且得到了国际水土保持界的承认与推崇, 在国际水土保持学界占有重要的地位。尽管在基础理论及研究手段上与国外先进国家还有一定的差距, 但在水土保持工程技术与综合治理实践方面, 我国在国际上处于明显的领先地位。

经过半个多世纪的努力, 中国水土保持逐步发展成为一门独立的学科, 基本确立了水土保持在我国科学体系中的学科地位。

①初步形成了水土保持基础理论体系。通过长期的水土流失试验研究和治理实践, 基本

摸清了我国水土流失的规律,提出了水土流失分类系统,建立了以水土流失学、流域生态与管理科学、区域水土保持学为基础的中国水土保持理论体系。

②建立了一批小流域水土流失综合治理样板,提出了较完整的小流域水土流失综合治理理论与技术体系。逐步形成了以小流域为单元,合理利用水土资源,采用各项工程措施、生物措施和农业技术措施优化配置的综合技术体系。

③初步建立了水土流失观测与监测站网及其信息系统。信息收集与整合能力不断提高,为水土保持科研和宏观决策提供了基础数据。

④建立了较为完善的水土保持技术标准体系。已颁布实施的技术标准涵盖了水土保持规划设计、综合治理、生态修复、竣工验收、效益计算、工程管护、监测评价、信息管理等各个方面,为实现科学化、规范化管理提供了技术保障。

## 1.3 水土保持学与其他相关学科的关系

水土保持学是伴随长期农业生产发展而产生的科学,它与农业生产乃至人类开发和利用自然资源等许多方面都是密不可分的。水土保持学与地貌学和土壤学同源,也是与地理学、土壤学、地貌学、沉积学、水力学、泥沙运动力学、林学、农学、水利工程学以及计算机技术等多学科交叉的新型学科和边缘学科。学科发展与生态环境安全以及国土安全密切相关,它直接为生态环境建设以及农业、林业、牧业、水利、国土资源和环境保护等行业和部门服务,对促进社会经济可持续发展有着极其重要的作用。

水土保持学是指防治水土流失、保护改良与合理利用水土资源、维护和提高土地生产力的综合科学技术,其实质就是维护与提高水土资源的生产力、使社会经济得到持续发展。因此,人类必须立足于可持续发展的战略高度,控制水土流失,保护、改良与合理利用水土资源,增强土地生产力,并建设和谐的生态环境。水土保持学涉及多种自然科学学科以及人文科学与社会经济等方面的理论和应用。

### 1.3.1 与气象学和水文学的关系

气候与水土流失强度关系密切。大风、暴雨等是造成水土流失的直接动力,而温度、湿度、日照等因素对植物生长、植被类型、岩石风化、成土过程以及土壤性质都有一定的影响,进而间接地影响水土流失的发生和发展过程。降水是地表径流和下渗水分的主要来源,是导致土壤流失最直接的动力因素,是水力侵蚀的基础。降水包括降雨、降雪、冰雹等多种形式。降雨对土壤侵蚀的影响决定于降雨与径流侵蚀力。降雨侵蚀力是降雨量、降雨强度、雨型和雨滴动能的函数。降雨历时同样影响土壤的侵蚀强度。水土保持工作要根据气象和气候因素对水土流失的影响作用以及径流和泥沙的运行规律,采取相应的措施。

### 1.3.2 与地貌学和地质学的关系

地貌因素是影响水土流失的重要因素之一。地面坡度、坡长、坡形以及沟壑密度等地貌因素都会对水土流失产生较大的影响,而水土流失对地形塑造有重要的影响作用。

地质因素对水土流失的影响主要反映在地质构造背景、地层结构和地质构造运动方面。地质因素对水土流失影响最为密切的是现代地质构造运动,包括直接作用和间接作用。破坏

性地震属于直接作用,它是现代地质构造运动的重要表现之一。强烈地震常诱发和复活大量的滑坡和崩塌。水土流失受新构造上升差异的影响较明显,多发生在新构造的上升区域。

### 1.3.3 与土壤学的关系

水土流失严重地区的土壤一般都是极易被冲刷的土壤类型。我国黄土高原土体疏松,易被水分散,抗冲刷能力极弱;西南地区的紫色土易于风化,土体疏松,侵蚀严重;华南地区的红壤、黄壤以及赣、湘、浙等省的红土和石灰质土,透水性能差,易形成水流汇集从而增大侵蚀力。

### 1.3.4 与农林科学的关系

水土流失将导致土壤养分的流失。水土保持工作将农田由跑水、跑土和跑肥的“三跑田”变成“三保田”,同时还有利于改善农田生态环境,建设可持续发展的水土保持生态农业。根据不同的侵蚀地貌景观和生态环境,我国在生产实践中创造了极为丰富的水土保持生态农业,将千沟万壑的坝地农业改造成引洪淤地、引水拉沙造田农业,发展梯田农业、防风固沙林网田农业以及合理配置的混林(果)或混牧坡地生态农业等,从而构成了中国特有的水土保持景观生态系统。

### 1.3.5 与系统工程学的关系

大面积水土流失治理工作开展半个世纪以来,我国以小流域为单元的水土流失综合治理成效显著,取得了不少宝贵的经验。但水土保持治理工作涉及面广、影响因子多,既涉及多学科的自然科学,又受社会和经济等多因素的影响,是一个综合性的系统工程。系统工程学的发展和应用,将极大地推动水土保持工作的开展和深化。

### 1.3.6 与社会经济学的关系

水土保持学不仅是一门自然科学,也是一门社会科学。水土保持不仅关系到国民经济的发展和建设,而且与社会进步密切相关。水土保持与社会经济发展相辅相成,互相促进。

## 1.4 水土保持学的发展趋势及重点研究领域

### 1.4.1 发展趋势

水土保持学的重点是研究水土流失地区水土资源与环境演化规律及各要素之间的相互作用过程,建立水土流失综合防治理论和技术体系,促进人与自然的和谐以及经济社会的可持续发展。世界各国都十分重视水土保持与生态环境保护工作,投入了大量人力、物力和财力开展水土流失和水土资源保护的研究,并取得了一系列成就。水土保持学科近年来的发展动态,主要可概括为以下几个方面。

①水土流失机理研究。建立水土流失预报模型,开发水土保持生态环境效应评价模型,扩展水土流失模型的服务功能,在机理模型中引入非点源污染物迁移与预报研究。美国和英国等国家先后研发了通用土壤流失方程(RUSLE)以及土壤水蚀预报模型如 WEPP(Water Erosion Prediction Project)、EUROSEM(European Soil Erosion Model)、ANSWERS(Areal Non-

point Source Watershed Environment Response Simulation)、GUEST(Griffith University Erosion System Template)和风蚀预报模型 WEPS(Wind Erosion Prediction Project)等。

②研究手段革新。应用空间技术和信息技术,推动水土保持数字化的研究。利用高分辨率遥感对地观测技术以及计算机网络技术及其强大的数据处理能力,开展水土流失研究;利用径流泥沙含量与流量在线实时自动测量等新技术,实现水土流失和水土保持过程的精细监测。

③水土保持理念深化。将水土保持与环境保护、江河污染防治、土地生产力改良、区域生态修复、环境整治、水利工程安全、地质灾害防治等联系起来开展多学科交叉研究,提高水土保持在国家经济、社会、环境可持续发展中的作用。

④生态系统健康评价与生态修复研究。生态系统修复研究主要包括从短期到长期时间尺度、从局部到区域空间尺度的社会系统、经济系统和自然系统的功能,目标是保护和增强环境容量及其恢复力,保持地球环境为人类服务的功能。

⑤流域水土资源开发与保护。将水土流失治理与河流健康相结合,水土流失不仅关系到河流的资源功能,也影响着河流的生态功能。加强流域水土流失治理,实现水土等自然资源的合理经营及河流的服务功能。

⑥水土保持与全球气候变化。全球气候变化受到各国高度关注。全球气候变化改变着水土流失的分布和地表植被的分布,相应地对水土保持产生影响。水土保持工程中的植树种草改变了土地碳循环过程,水土流失和泥沙搬运引起土壤碳库的变化和转移,从而影响全球 C、N、P 和 S 的循环过程。水土保持与全球气候变化的耦合关系研究将日益受到重视。

### 1.4.2 重点研究领域

根据水土保持生态建设发展的需求,参考国际水土保持科技发展水平,我国需在以下几个方面加强科学研究,以促进我国水土保持事业的健康发展。

#### 1. 水土流失过程及机制

应用数字和力学理论与研究方法研究水土流失过程与机制,重点研究内容包括:①水力侵蚀动力学机理与世程的研究,包括径流水动力学特征、坡地降雨径流侵蚀与输沙机理、水沙汇集与输移过程、小流域水蚀机制、侵蚀过程模拟;②风力侵蚀过程与动力学机制的研究,包括风和风沙流动力学特征以及风蚀作用、沙粒与沙丘的运动机制、沙尘暴发生机制;③重力侵蚀发生机理的研究,包括重力侵蚀与泥石流发生的力学机制、重力侵蚀与泥石流的发生条件、泥石流预测预报理论和方法、重力侵蚀与泥石流对河流泥沙与河道淤积的影响、滑坡监测与预测研究;④人为侵蚀与特殊侵蚀的研究,包括耕作侵蚀机制、开发建设造成的水土流失以及农牧草交错带风蚀与水蚀交互作用。

#### 2. 侵蚀预测预报及评价模型研究

用数学方法定量表达各个因子对水土流失的影响,预报土壤流失量。重点研究内容包括模型参数的确定、水土流失因子的定量评价、坡面水蚀预报模型、小流域水蚀预报模型、风蚀预报模型、农业非点源污染物迁移模型、滑坡与泥石流预报模型,以及各类预报模型的适用范围及效果评价。

#### 3. 水土流失对污染物迁移过程以及水质的影响机理

水土流失向河、湖、塘、库等输送了大量的营养物质,导致了水体富营养化。农地水土流失与各种水体的污染密不可分。通过对农地地表径流和侵蚀泥沙中农业化学物质的分析测试,



研究侵蚀过程对农地水土污染物迁移的影响及其污染物迁移对水质的影响。

#### 4. 水土保持措施机理及其适用性

分析总结各地区水土保持经验,研究各种措施的防蚀机理与适用性,对指导水土保持实践具有重要意义。研究的重点包括水土保持措施防蚀机理,水土保持措施适用性评价以及水土保持措施效益分析等。

#### 5. 流域水土保持措施配置

研究小流域水土流失过程以及水土流失治理方法,是水土保持学科的重要组成部分。研究重点包括小流域水土流失及其对环境演化过程的影响、水土保持对小流域生态系统结构与功能的影响以及小流域水土保持措施配置与流域健康诊断等。

#### 6. 水土流失与水土保持效益评价

分析水土流失与水土保持对环境过程和环境要素的影响,为社会经济持续发展和水土保持决策提供支持。研究内容包括水土流失与水土保持对环境要素和环境过程的影响、水土保持效益评价指标与模型等。

#### 7. 水土保持与社会经济

在技术方法和研究手段发展的同时,应加强水土保持与社会经济、法律、管理体制等社会经济学联系方面的研究。研究重点包括水土流失与社会经济发展的相互作用机理、社会经济政策对水土保持的影响、水土保持对社会经济发展的贡献、人口和土地利用结构对水土流失的影响等。

#### 8. 水土保持生态效益补偿机制

优化上游地区的生产经营方式,保护生态环境,用经济补偿的方式解决上游地区人们的生存与发展问题,减少上游地区水土流失对下游生产和社会经济的影响。研究重点包括水土流失区土地生态经济功能分区和评价模式、水土保持与流域防洪减灾的关系以及水土保持生态效益补偿标准及其补偿机制等。

### 思考题

1. 名词解释:水土流失、水土保持、土壤侵蚀过程、土壤侵蚀预报模型。
2. 如何理解水土流失与水土保持的关系?土壤侵蚀与水土流失有什么异同?
3. 水土流失的危害性有哪些?
4. 简述中国水土保持的发展状况。
5. 国外水土保持的发展对中国水土保持有什么启示?
6. 近期水土保持科学研究的重点领域有哪些?

### 参考文献

- [1]哈德逊·N·W. 土壤保持. 窦葆璋译. 北京:科学出版社,1976.
- [2]王礼先,朱金兆. 水土保持学. 北京:中国林业出版社,2005.
- [3]关君蔚. 水土保持原理. 北京:中国林业出版社,1996.
- [4]唐克丽. 中国水土保持. 北京:科学出版社,2004.
- [5]朱显谟. 土壤学与水土保持. 西安:陕西人民出版社,2004.
- [6]雷廷武,张晴雯,闫丽娟. 细沟侵蚀物理模型. 北京:科学出版社,2009.