

## 序

我很高兴地阅读了“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材《土壤侵蚀原理》(第三版)的全部书稿,看到其主要内容在一定程度上保留和继承了课程发展中的精华,又较好地融入了该学科发展动态和最新研究成果,使得教学内容更加完善和系统,看得出来,这是编著者多年来教学实践积淀和教学经验的升华。相信本书的出版,对于促进我国水土保持与荒漠化防治专业教学水平的提升、帮助学生系统认识土壤侵蚀形式和掌握土壤侵蚀发生发展规律、并据此制定相应防治措施等方面都能起到积极作用。

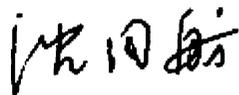
自1958年我国创建“水土保持与荒漠化防治”专业(原“水土保持”专业)以来,虽然其教学计划及课程体系经过数次修改与完善,但“土壤侵蚀原理”课程始终被列为该专业课程体系中一门核心骨干性专业基础课程。教材建设,尤其是主要课程的教材建设更是大学本科专业建设、教学方案制定、课程体系建设、教学内容深化与改革等方面一项不可或缺的工作,教材编著水平直接影响到教学质量和学生的业务素质。建设好一门课程、编著一本好的教材看似简单,实为需要编著者们长期付出不懈努力与辛勤劳动,《土壤侵蚀原理》(第三版)的出版就是编著者们长期努力的结晶。它为我国水土保持与荒漠化防治专业本科教学提供了一本好的教材,相信也会对本科教学质量的提高发挥作用。

本书主编张洪江教授大学毕业后留校任教至今,师从我国水土保持教育事业的奠基人关君蔚院士,在进行教学和科学研究的同时,注重课程和教材建设,他主讲的“土壤侵蚀原理”课程分别被教育部评为北京市级和国家级精品课程,2013年他主讲的“土壤侵蚀原理”课程又分别被教育部遴选为国家级精品资源共享课和国家级精品视频公开课。面向21世纪课程教材《土壤侵蚀原理》(第一版)和普通高等教育“十一五”国家级规划教材《土壤侵蚀原理》(第二版)均由他担任主编,后者还被评为北京市精品教材。

他还编译出版了北京市高等教育精品教材立项项目的中英文双语教材《土壤侵蚀》(张洪江等编译,科学出版社,2012),主编出版了《水土保持与荒漠化防治实践教程》(张洪江主编,科学出版社,2013)。本书再版为“土壤侵蚀原理”课程构建了一套不可多得的、较为系统的、适用于课堂内外不同教学环节的配套教学用书,同时也丰富了水土保持与荒漠化防治专业本科教学用书。他在课程与教材建设方面所付出的辛勤劳动与获得的成就值得赞誉,他也因此获得北京市教学名师称号。

张洪江教授是关君蔚院士在改革开放以后培养的首位弟子。我与关君蔚院士曾长期合作共事,并多次得到他的关心与帮助,因此我也很关心关院士的事业继承与发展问题,对于张洪江教授的成长过程我是始终关注着的。现在关君蔚院士已驾鹤西去,而他的弟子张洪江教授已把这门“土壤侵蚀原理”课程完全继承了下来,同时把它发展成为一门与现代科学技术水平相适应的精品课程,我感到欣慰,也向以张洪江教授为首的编著者表示由衷的祝贺。

中国工程院院士、北京林业大学教授



2014年3月

# 前 言

教材建设是一项需要长期实践经验积累而又辛苦的工作。一本好的教材，需要经得起时间检验，所涵盖内容应具有继承性、科学性、系统性和一定的前瞻性，一方面教材应是在前人知识基础上的历史凝练和提高，另一方面要能够较为全面而系统地反映当前相关领域的发展水平及发展趋势。一本好教材需要编著者付诸大量时间和心血，从这一点上来说教材编著是教师对自己所从事职业的一种崇高敬仰和无私奉献。

20世纪90年代末，由教育部确定实施、由北京林业大学王礼先教授等主持并完成了高等农林教育面向21世纪教学内容和课程体系改革计划项目“高等农林院校生态环境类本科人才培养方案及教学内容和课程体系改革的研究与实践”（项目编号：04-20）。该项目系统研究了面向21世纪本科人才培养和教学改革的指导思想，结合我国水土保持与荒漠化防治事业发展水平和生产实际、学科特点和对本科人才培养要求，确定了新的专业人才培养方案、教学内容和课程体系，将《土壤侵蚀原理》再次列为水土保持与荒漠化防治专业的核心骨干性专业基础课程（现称之为“主要课程”）。继而由北京林业大学张洪江教授为主编，编著出版了“面向21世纪教材”《土壤侵蚀原理》（第一版）（中国林业出版社，2000）。

2006年教育部批准《土壤侵蚀原理》（第二版）为普通高等教育“十一五”国家级规划教材，仍由北京林业大学张洪江教授为主编编著出版（中国林业出版社，2008），该教材出版后又被评为北京市精品教材。

2012年教育部本着“突出重点、锤炼精品、改革创新、特色鲜明”原则，重点遴选长期用于本科教学、根据经济社会发展、学科专业建设和教育教学改革不断修订完善，并经过教学实践检验、使用效果好的优秀教材作为“十二五”普通高等教育本科国家级规划教材，《土壤侵蚀原理》（第三版）再次入选。

可以说“土壤侵蚀原理”课程教学团队在该课程建设中付出了长期艰辛努力与劳动，在课程的教与学中不仅得到了广大师生的认可，也得到了有关教育教学管理部门的肯定，2013年“土壤侵蚀原理”课程分别被遴选为“国家级精品资源共享课”（[http://www.icourses.cn/coursestatic/course\\_3663.html](http://www.icourses.cn/coursestatic/course_3663.html)）和“国家级精品视频公开课”（<http://www.icourses.cn/viewVCourse.action?courseId=ff80808141db790e0141dec4287501d6>）。

在《土壤侵蚀原理》（第三版）中，基本上保留了《土壤侵蚀原理》（第二版）的构架，调整和补充的内容主要有以下几个方面：一是补充和完善了相关章节内容，使学生更加系统地获得基础理论知识；二是调整了有关章节的土壤侵蚀防治部分内容，为学生后续专业课程的学习奠定基础；三是针对学科进展较成熟的部分，进行了最新成果内容的补充；四是本着强化基础、传承历史和着眼发展的原则，对“我国土壤侵蚀类型分区”一章进行了较大程度的修订。

除以上几点外，尤其需要指出的是在保留教材以传统纸质媒介为知识载体的同时，在本教材中的大部分章节还添加了以现代电子媒介为知识载体的二维码。使用者只要将智能手机（或其他相关电子设备）对准本教材中的二维码进行扫描，即可在手机（或其他相关电子设备）中看到相应部分内容的授课视频。这就较大方便读者通过使用不同知识载体，更好

地理解和掌握所学内容。

本书编写分工如下：第1章由北京林业大学张洪江教授编写并统稿；第2章由张洪江教授和北京林业大学程金花副教授编写，张洪江教授统稿；第3章由西北农林科技大学吴发启教授、王健副教授和北京林业大学程金花副教授编写，张洪江教授统稿；第4章由北京林业大学丁国栋教授和内蒙古农业大学高永教授编写，丁国栋教授统稿；第5章由北京林业大学王玉杰教授和王云琦副教授编写，王玉杰教授统稿；第6章由北京林业大学王云琦副教授和程金花副教授编写，王云琦副教授统稿；第7章由北京林业大学高甲荣教授和史明昌教授编写，高甲荣教授统稿；第8章由西南林业大学陈奇伯教授和北京林业大学程金花副教授编写，陈奇伯教授统稿；第9章由内蒙古农业大学高永教授和北京林业大学张洪江教授编写，高永教授统稿；第10章由北京师范大学谢云教授和北京林业大学程金花副教授编写，程金花副教授统稿；第11章由北京林业大学史明昌教授、程金花副教授和张洪江教授编写，史明昌教授和程金花副教授统稿；第12章由山东农业大学张光灿教授和北京林业大学程金花副教授编写，张光灿教授统稿。全书由主编张洪江教授和程金花副教授统稿。

本书概要地阐述了土壤侵蚀研究现状与发展趋势，并对导致土壤侵蚀的营力及其作用过程、影响因子等进行了较为系统地分析，主要内容包括土壤侵蚀类型（水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀、混合侵蚀、冻融侵蚀与冰川侵蚀、化学侵蚀）、我国土壤侵蚀类型及其分区、土壤侵蚀调查与评价、土壤侵蚀监测与预报和土壤侵蚀研究方法等。通过本课程学习，使学生建立起科学的、系统的、严谨的土壤侵蚀知识。

值此《土壤侵蚀原理》（第三版）完稿付印之际，感谢在本书第一版和第二版编著中付出艰辛劳动的各位老师和同行，因篇幅所限，恕不在此逐一详表。

在此由衷地感谢中国工程院院士、北京林业大学教授沈国舫先生，感谢先生对我在教学和科研等诸多方面所给予一如既往的关心与指导，并在百忙中审阅书稿和为本书作序。

感谢我的老师，北京林业大学教授、著名水土保持与荒漠化防治专家王礼先先生，是他带我走进了教材与课程建设大门，并为我的水土保持生涯指明了方向。

感谢北京林业大学教务处于志明处长、张戎副处长和孙楠老师等对本教材编写和出版所给予的支持与鼎力帮助。

必须在此特别感谢我的水土保持启蒙老师，北京林业大学教授、中国工程院资深院士、我国水土保持教育事业的奠基人关君蔚先生，虽然先生已于2007年驾鹤西去，但如果说学生在水土保持科学方面有所进步，多得益于先生悉心的教导。

同时对硕士研究生阮芯竹在本书编写中的资料整理所付出的劳动，以及为本书编写提供基础资料、在各方面给予关心、帮助和支持的前辈及同行们表示谢意。

在本书编写过程中，引用了大量科技成果、论文、专著和相关教材，因篇幅所限不能在参考文献中逐一列出，谨向作者们致以深切的谢意。限于我们的知识水平和实践经验，缺点、遗漏、甚至谬误也在所难免，热切希望各位读者提出批评，以期本书内容的不断完善和水平的逐步提高。

尽管由于现代信息技术为知识传播提供了更多便捷的手段和方式，但本书的编著者们在长期的教学实践中，仍深感以纸质为载体的教学用书在教与学过程中具有不可替代的重要作用。为此，本书主编还组织编译出版了北京市高等教育精品教材、中英文双语教材《土壤侵蚀》（张洪江等编译，科学出版社，2012）、《水土保持与荒漠化防治专业实践教学教程》（张洪江主编，科学出版社，2013）。如果以上两种教材与《土壤侵蚀原理》（第三版）一

起，能够为“土壤侵蚀原理”课程形成一套较为完整和系统的、适用于课堂内外不同教学环节的配套教学用书，对提高教学质量起到积极的推动作用，也算是本人在水土保持教学生涯中感到快慰的一件事情。

在水土保持与荒漠化防治专业教材与课程建设等方面，相信年轻人能够通过他们的聪明才智、辛勤劳动和不懈地努力，做出更大的成就，使专业人才培养质量不断提高、水土保持与荒漠化防治事业不断辉煌。

北京林业大学教授 张洪江

2014年3月于北京



# 目 录

序

前言

第1章 绪论 .....	1	2.3 土壤侵蚀形式 .....	21
1.1 课程性质及使用对象 .....	1	2.3.1 水力侵蚀形式 .....	21
1.2 课程涉及范围及与其他课程关系 .....	1	2.3.2 风力侵蚀形式 .....	24
1.2.1 课程涉及范围 .....	1	2.3.3 重力侵蚀形式 .....	26
1.2.2 土壤侵蚀原理与其他课程关系 .....	2	2.3.4 混合侵蚀形式 .....	28
1.3 土壤侵蚀在水土保持科学中的位置 .....	3	2.3.5 冻融侵蚀形式 .....	29
1.4 土壤侵蚀危害及其对国民经济的影响 .....	3	2.3.6 冰川侵蚀形式 .....	30
1.4.1 我国土壤侵蚀概况 .....	3	2.3.7 化学侵蚀形式 .....	30
1.4.2 土壤侵蚀危害 .....	3	2.3.8 植物侵蚀形式 .....	31
1.5 土壤侵蚀发展历史与现状 .....	6	2.4 土壤侵蚀程度及强度 .....	32
1.5.1 国际发展简史与现状 .....	6	2.4.1 土壤侵蚀量与土壤流失量 .....	32
1.5.2 国内发展简史与现状 .....	8	2.4.2 土壤侵蚀程度 .....	32
1.5.3 土壤侵蚀研究进展 .....	10	2.4.3 土壤侵蚀强度 .....	32
1.5.4 发展趋势及存在问题 .....	10	2.4.4 允许土壤流失量 .....	32
思考题 .....	11	思考题 .....	33
扩展阅读 .....	12	扩展阅读 .....	34
第2章 土壤侵蚀类型及土壤侵蚀形式 .....	13	第3章 水力侵蚀 .....	35
2.1 土壤侵蚀基本概念及导致土壤侵蚀的营力 .....	13	3.1 水及水流的基本特性 .....	35
2.1.1 土壤侵蚀基本概念 .....	13	3.1.1 水的物理特性 .....	35
2.1.2 土壤侵蚀基本营力及其分析 .....	14	3.1.2 水流的基本特性 .....	39
2.2 土壤侵蚀类型及其类型划分 .....	19	3.1.3 水流的侵蚀作用 .....	44
2.2.1 依据导致土壤侵蚀的外营力种类划分 .....	19	3.1.4 水流搬运作用 .....	45
2.2.2 依据土壤侵蚀发生的时间划分 .....	20	3.1.5 水流的堆积作用 .....	47
2.2.3 按土壤侵蚀发生的速度 .....	20	3.2 溅蚀 .....	48
		3.2.1 雨滴特性 .....	48
		3.2.2 溅蚀过程及溅蚀量 .....	53
		3.2.3 影响溅蚀的因素 .....	55
		3.3 面蚀 .....	56
		3.3.1 坡面径流形成 .....	57
		3.3.2 坡面径流能量分析 .....	57
		3.3.3 坡面侵蚀过程 .....	59
		3.3.4 影响因素 .....	59

3.4 沟蚀 .....	63	4.5.1 沙尘暴及其分布 .....	99
3.4.1 侵蚀沟的形成 .....	64	4.5.2 沙尘暴形成因素 .....	100
3.4.2 侵蚀沟的发育阶段 .....	64	4.6 风力侵蚀防治 .....	101
3.4.3 影响侵蚀沟发育的自然 因素 .....	66	4.6.1 风力侵蚀影响因素分析 .....	101
3.5 山洪侵蚀 .....	67	4.6.2 风蚀防治技术措施 .....	104
3.5.1 山区洪水类型 .....	67	思考题 .....	105
3.5.2 山洪时空分布 .....	68	扩展阅读 .....	106
3.5.3 影响山洪因素 .....	69	<b>第5章 重力侵蚀</b> .....	107
3.5.4 山洪侵蚀特征 .....	70	5.1 重力侵蚀作用分析 .....	107
3.5.5 山洪沉积物特征 .....	70	5.1.1 重力侵蚀作用 .....	107
3.6 海岸、湖岸及库岸侵蚀 .....	70	5.1.2 重力侵蚀应力 .....	108
3.6.1 海岸与海岸带划分 .....	70	5.2 崩塌 .....	110
3.6.2 海浪、湖浪及库浪形成 .....	71	5.2.1 崩塌作用方式 .....	110
3.6.3 波浪在浅水区的变形 .....	71	5.2.2 崩塌分类 .....	110
3.6.4 海岸侵蚀地貌 .....	72	5.2.3 崩塌形成条件 .....	111
3.6.5 影响海岸侵蚀作用的因素 .....	74	5.3 滑坡 .....	112
3.7 水力侵蚀防治 .....	75	5.3.1 滑坡的地貌特征 .....	112
3.7.1 防治原则 .....	75	5.3.2 滑坡力学机制及滑坡 形成条件 .....	114
3.7.2 防治措施及布设 .....	75	5.3.3 滑坡类型及其发展阶段 .....	115
思考题 .....	77	5.3.4 滑坡影响因素分析 .....	116
扩展阅读 .....	79	5.4 错落 .....	118
<b>第4章 风力侵蚀</b> .....	80	5.4.1 错落特征 .....	118
4.1 近地面层风及其特性 .....	80	5.4.2 发生条件和原因 .....	118
4.1.1 近地面层风 .....	80	5.5 蠕动 .....	119
4.1.2 近地面层风的特性 .....	81	5.5.1 蠕动的特征 .....	119
4.2 风沙运动 .....	84	5.5.2 松散层蠕动(土屑或 岩屑蠕动) .....	119
4.2.1 沙粒的起动 .....	84	5.5.3 基岩岩层蠕动 .....	121
4.2.2 风沙流及其特征 .....	89	5.6 溜砂坡 .....	121
4.3 风蚀与风积作用 .....	93	5.6.1 溜砂坡特征 .....	121
4.3.1 风蚀与风积作用的概念 .....	93	5.6.2 溜砂坡基本要素 .....	121
4.3.2 风沙地貌与沙丘移动 .....	95	5.6.3 溜砂坡分类 .....	122
4.4 风蚀荒漠化 .....	97	5.6.4 溜砂坡形成过程 .....	123
4.4.1 风蚀荒漠化形成机制 .....	97	5.7 崩岗 .....	124
4.4.2 我国风蚀荒漠化成因 及其类型 .....	98	5.7.1 崩岗分类及其地貌组合 .....	124
4.5 沙尘暴 .....	99	5.7.2 崩岗侵蚀的主要过程 .....	125

5.7.3 崩岗发育的影响因素分析 .....	126	6.6.2 防治措施.....	157
5.8 陷穴与泻溜.....	127	思考题 .....	160
5.8.1 陷穴形成机制、分布与 类型.....	127	扩展阅读 .....	161
5.8.2 泻溜及其形成过程.....	128	<b>第7章 冻融侵蚀与冰川侵蚀</b> .....	162
5.9 重力侵蚀防治.....	128	7.1 冻融侵蚀.....	162
5.9.1 排水工程措施.....	128	7.1.1 冻土作用机制.....	162
5.9.2 削坡、减重和反压填土 措施.....	129	7.1.2 冻土层中地下冰和地下水 .....	164
5.9.3 支挡工程措施.....	130	7.1.3 冻土地表类型.....	167
5.9.4 锚固措施.....	130	7.1.4 热融作用.....	171
5.9.5 护坡工程措施.....	131	7.2 冰川侵蚀.....	171
5.9.6 滑动带加固措施.....	131	7.2.1 冰川分布与类型.....	172
5.9.7 落石防护措施.....	131	7.2.2 冰川运动.....	173
5.9.8 植物固坡措施.....	132	7.2.3 冰川侵蚀过程.....	175
思考题 .....	132	7.3 冻融侵蚀及冰川侵蚀防治.....	176
扩展阅读 .....	133	7.3.1 防治原则.....	176
<b>第6章 混合侵蚀</b> .....	134	7.3.2 主要防治措施.....	177
6.1 泥石流和泥石流流域.....	134	思考题 .....	181
6.1.1 泥石流性质.....	134	扩展阅读 .....	183
6.1.2 泥石流流域.....	135	<b>第8章 化学侵蚀</b> .....	184
6.2 泥石流形成.....	138	8.1 岩溶侵蚀.....	184
6.2.1 形成因素.....	138	8.1.1 岩溶侵蚀特征.....	184
6.2.2 泥石流形成机理.....	140	8.1.2 岩溶侵蚀影响因素.....	186
6.3 泥石流分布及其活动特征.....	142	8.2 淋溶侵蚀.....	190
6.3.1 泥石流分布.....	142	8.2.1 淋溶侵蚀特征.....	190
6.3.2 我国泥石流危险性分区 .....	143	8.2.2 淋溶侵蚀影响因素.....	191
6.3.3 泥石流分布规律.....	145	8.3 土壤盐渍化.....	195
6.3.4 泥石流活动特征.....	146	8.3.1 土壤盐渍化形成条件 .....	195
6.4 泥石流分类.....	147	8.3.2 土壤次生盐渍化.....	197
6.5 泥石流的力学特征.....	149	8.3.3 土壤潜在盐渍化.....	197
6.5.1 泥石流的静力学特征 .....	149	8.3.4 土壤碱化.....	199
6.5.2 泥石流动力学特征.....	150	8.3.5 土壤钙积层.....	201
6.5.3 泥石流的发生发展特征 .....	153	8.3.6 土壤水盐运动的影响因素 .....	202
6.6 泥石流防治.....	157	8.4 化学侵蚀防治措施.....	206
6.6.1 防治原则.....	157	8.4.1 岩溶侵蚀防治措施.....	206
		8.4.2 淋溶侵蚀防治措施.....	207
		8.4.3 土壤盐渍化防治措施 .....	207

思考题 .....	208	10.3 水力侵蚀调查 .....	235
扩展阅读 .....	209	10.3.1 面蚀 .....	235
<b>第9章 我国土壤侵蚀类型及其分区</b> ..	<b>210</b>	10.3.2 沟蚀程度调查与强度判定 .....	239
9.1 土壤侵蚀类型分区 .....	211	10.3.3 山洪侵蚀调查 .....	239
9.1.1 分区目的与任务 .....	211	10.4 风力侵蚀调查 .....	240
9.1.2 分区原则 .....	211	10.4.1 输沙量及风沙流结构调查 .....	240
9.1.3 分区的主要依据、指标 .....	211	10.4.2 沙丘移动状况 .....	240
9.1.4 土壤侵蚀类型分区命名 .....	213	10.4.3 地面粗糙度调查 .....	241
9.1.5 土壤侵蚀类型分区系统 .....	213	10.4.4 风蚀成因调查 .....	241
9.2 以水力侵蚀为主的类型区 .....	215	10.5 重力侵蚀调查 .....	242
9.2.1 西北黄土高原区 .....	215	10.5.1 重力侵蚀形式及其程度 .....	242
9.2.2 东北低山丘陵和漫岗丘陵区 .....	220	10.5.2 重力侵蚀发生发展强度 .....	242
9.2.3 北方山地丘陵区 .....	221	10.6 混合侵蚀调查 .....	242
9.2.4 南方山地丘陵区 .....	222	10.6.1 混合侵蚀发生条件 ..	242
9.2.5 四川盆地及周围山地丘陵区 .....	223	10.6.2 混合侵蚀发生发展趋势判定 .....	242
9.2.6 云贵高原及其山地丘陵区 .....	224	10.7 冻融侵蚀与冰川侵蚀调查 ..	243
9.3 以风力侵蚀为主的类型区 .....	225	10.7.1 冻融侵蚀调查 .....	243
9.3.1 西北干旱绿洲外围沙漠化地区 .....	225	10.7.2 冰川侵蚀调查 .....	243
9.3.2 内蒙古及长城沿线半干旱草原沙漠化地区 .....	225	10.8 化学侵蚀调查 .....	243
9.4 以冻融及冰川侵蚀为主的类型区 .....	228	10.8.1 岩溶侵蚀 .....	243
9.4.1 冰川侵蚀区 .....	229	10.8.2 淋溶侵蚀 .....	243
9.4.2 冻土侵蚀区 .....	229	10.8.3 土壤次生盐渍化 .....	244
思考题 .....	230	10.9 土壤侵蚀的综合分析与评价 ..	244
扩展阅读 .....	231	10.9.1 土壤侵蚀调查报告 ..	245
<b>第10章 土壤侵蚀调查与评价</b> .....	<b>232</b>	10.9.2 图面资料整理 .....	245
10.1 土壤侵蚀调查目的及手段 ..	232	10.10 土壤侵蚀图的制备 .....	245
10.1.1 调查目的 .....	232	10.10.1 计算机辅助制图 .....	246
10.1.2 调查手段 .....	233	10.10.2 专题图制备 .....	247
10.2 土壤侵蚀调查步骤 .....	233	10.10.3 土壤侵蚀制图 .....	248
10.2.1 准备工作 .....	233	10.11 调查结果评价与分析 .....	249
10.2.2 资料收集与整理 .....	233	10.11.1 信息源评价 .....	249
		10.11.2 调查手段评价 .....	250
		10.11.3 调查误差分析 .....	250
		10.12 3S技术在土壤侵蚀调查中的应用 .....	251

10.12.1 第一次全国土壤侵蚀 遥感调查·····	251	11.4.1 经验模型·····	272
10.12.2 第二次全国土壤侵蚀 遥感调查·····	254	11.4.2 数理模型·····	273
10.12.3 第一次全国水利普查水 土保持情况普查·····	255	11.4.3 随机模型·····	278
思考题·····	257	11.4.4 混合模型·····	278
扩展阅读·····	258	11.4.5 专家打分与逻辑判别 模型·····	279
<b>第11章 土壤侵蚀监测与预报</b> ·····	259	11.4.6 土壤侵蚀数字模型·····	279
11.1 土壤侵蚀监测与预报目的 及成果·····	259	思考题·····	281
11.1.1 监测与预报目的及 原则·····	259	扩展阅读·····	282
11.1.2 监测与预报分类·····	260	<b>第12章 土壤侵蚀研究方法</b> ·····	283
11.1.3 监测与预报指标体系 ·····	260	12.1 土壤侵蚀调查研究·····	283
11.1.4 监测与预报成果·····	260	12.1.1 测量学方法·····	283
11.1.5 监测技术标准·····	261	12.1.2 水文学方法·····	284
11.2 我国监测预报网络系统·····	262	12.1.3 地貌学方法·····	285
11.2.1 监测预报网络系统的 层次与任务·····	262	12.1.4 土壤学方法·····	286
11.2.2 监测预报网络系统 技术构造技术构架·····	263	12.1.5 遥感学方法·····	286
11.2.3 监测预报网络系统结构 与功能·····	265	12.2 土壤侵蚀定位研究·····	286
11.3 监测方法与过程·····	267	12.2.1 土壤水蚀野外定位 观测·····	286
11.3.1 遥感监测方法·····	267	12.2.2 土壤风蚀定位观测·····	288
11.3.2 无人机监测方法·····	270	12.3 土壤侵蚀模拟研究·····	289
11.3.3 自然坡面监测·····	271	12.3.1 水力侵蚀模拟降雨 试验·····	289
11.4 土壤侵蚀预报模型·····	272	12.3.2 风力侵蚀风洞模拟 实验·····	291
		12.4 土壤侵蚀示踪研究·····	291
		思考题·····	292
		扩展阅读·····	293
		<b>主要参考文献</b> ·····	294
		<b>附录</b> ·····	299





**[本章导言]** “土壤侵蚀原理”课程是高等院校水土保持与荒漠化防治专业本科生的一门核心骨干性专业基础课程，其在水土保持科学中具有十分重要的地位。土壤侵蚀破坏土地、吞食农田、降低土壤肥力、加剧土壤干旱、淤积抬高河床、加剧洪涝灾害发生等。土壤侵蚀是制约山区、丘陵区 and 风沙区经济发展的主要问题之一，也是国内外水土保持与荒漠化防治科学研究人员普遍关注的生态环境问题。

### 1.1 课程性质及使用对象



本书是高等院校水土保持与荒漠化防治专业本科生学习“土壤侵蚀原理”课程所使用的主要教材。“土壤侵蚀原理”是高等院校水土保持与荒漠化防治专业本科生的一门核心骨干性专业基础课程。通过本课程学习主要使学生具备土壤侵蚀基本知识、认识土壤侵蚀基本规律，并掌握水土资源管理、土壤侵蚀监测、调查和评价的基本技能（基本知识、基本规律和基本技能），同时为该专业本科生后续课程的学习，如流域管理学、荒漠化防治工程学、林业生态工程学和水土保持工程学等专业课程，以及今后独立从事水土保持与荒漠化防治工作奠定坚实的认识、理论和技术基础。

本书还可供“自然保护与环境生态类”其他专业（野生动物与自然保护区、农业资源与管理）、“林学类”和“草学类”相关专业本科生作为教学用书，也可作为相关学科研究生教学参考用书，对于在水土保持与荒漠化防治、土地利用、国土整治、环境保护等方面从事科学研究、教学、管理和生产实践人员，也可将本书作为参考用书之一。

在作为水土保持与荒漠化防治专业本科生教学用书时，教学学时分配为课堂讲授 24 学时，室内实验 8 学时，另外安排 0.5 周课程野外现场教学和实习。用于其他专业或不同层次人员培训使用时，可根据具体讲授内容适当增减学时数。

### 1.2 课程涉及范围及与其他课程关系

#### 1.2.1 课程涉及范围

“土壤侵蚀原理”课程涉及水力学、水文学、土壤学、气象学、地貌学、植物学、生态学和岩土力学等内容，因此本课程要求先学习流体力学、地学、气象学、水文与水资源学、土壤学与土地资源学、生态学和岩土力学等课程，以便使学生能够较为全面地掌握本课程所

授知识。

在理论教学中，以土壤侵蚀形式、土壤侵蚀发生发展规律和分析影响土壤侵蚀的自然因子为主，为学生学习水土保持与荒漠化防治专业的其他课程建立坚实的理论基础。使学生掌握调查、分析和监测水土资源及土壤侵蚀的基本技能，为进行独立的水土保持科学研究、从事水土保持管理和生产实践等奠定实践技术基础。

在课程实验和野外现场教学与实习等实践教学环节中，要求学生能够较为熟练地掌握在不同地质、地形、土壤、气象、植被等条件下土壤侵蚀调查与分析方法。并据以组织综合措施防治土壤侵蚀的发生与发展，改良、维护和提高土地生产力，在合理利用水土资源的同时，防治土壤侵蚀的发生和改善生态环境。

### 1.2.2 土壤侵蚀原理与其他课程关系

土壤侵蚀原理课程是水土保持与荒漠化防治专业本科教学课程体系中的一个重要组成部分，它与一些基础性、应用性科学等方面的课程均有不同程度的联系。在土壤侵蚀规律方面，它与影响土壤、地质、地形等自然因素紧密相关，在土壤侵蚀防治方面，随着新技术的不断应用，与许多学科发生了相互渗透、相互促进的作用。了解土壤侵蚀原理与其他课程关系，有助于更好地把握土壤侵蚀原理课程的自身性质及特点。

与气象学、水文学的关系。土壤侵蚀原理与气象学、水文学的关系主要体现在多种气象因素和不同气候类型对土壤侵蚀的直接或间接影响，这些因素有直接影响到水文特征的形成。在研究暴雨、洪水、风沙、干旱等自然灾害时，一方面要根据气象、气候对土壤侵蚀的影响以及径流、泥沙运行规律采取相应措施进行防治，使其变害为利；另一方面通过长期的土壤侵蚀综合治理，改变大气层的下垫面性状，对局部地区的小气候及水文特征会起到调节和改善作用。

与地学方面的关系。土壤侵蚀原理与地学的关系主要体现在地貌、地质及地理对土壤侵蚀量和土壤侵蚀过程的影响。同时，水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀及冻融侵蚀等土壤侵蚀过程在塑造地形中又都起着一定的作用。地面多种侵蚀地貌是影响土壤侵蚀的重要因素之一，也是土壤侵蚀参与作用的结果，它们是土壤侵蚀原理课程中主要研究的对象。土壤侵蚀与地质构造、岩石特性具有紧密关系，滑坡、泥石流等土壤侵蚀问题和土壤侵蚀防治工程措施涉及的地基、地下水等问题，又需要运用第四纪地质学及水文地质学、工程地质学等方面的专业知识。

与土壤学的关系。土壤侵蚀与土壤学及土地资源学的关系也是非常紧密的，土壤、母质及浅层基岩是土壤侵蚀作用和破坏的主要对象。不同的土壤具有不同的蓄水、透水和抗蚀能力。因此，改良土壤性状，提高土壤肥力对防治土壤侵蚀有着重要作用。

与水利科学的关系。土壤侵蚀与流体力学、水力学等课程的关系更为密切，无论是水力侵蚀、风力侵蚀还是重力侵蚀等导致的径流、泥沙、风沙流等，都与以上学科有紧密联系。在研究有关水力、风力、泥沙及风沙流等的运动规律时，土壤侵蚀原理着重研究从坡面到沟道、从上游到下游、从风力侵蚀地到风积地土壤侵蚀发生发展规律。而水利科学则着重研究径流、泥沙进入河流后的运行规律。

与环境科学的关系。土壤侵蚀与环境科学有着密切联系，土壤侵蚀所研究的问题正是山区、丘陵区和风沙区的生态环境问题。人为活动从不同方面对土壤侵蚀过程的影响，也会涉及区域环境问题，人们通过各种措施防治土壤侵蚀的发生和发展，实际上就是保护和改善生

态环境。土壤侵蚀所导致的泥沙对水土资源的破坏、河道淤积等都是造成环境破坏和污染的重要方面。

### 1.3 土壤侵蚀在水土保持科学中的位置

土壤侵蚀研究是水土保持科学研究的基础，在水土保持科学中具有十分重要的位置。水土保持科学研究主要是从土壤侵蚀机理和治理两个方面来展开。一是土壤侵蚀机制研究，我国土壤侵蚀研究领域重点集中在四个方面：土壤侵蚀调查与基础性、关键性科学问题研究；土壤侵蚀过程及其机理研究；土壤侵蚀与沟道河流泥沙输移及洪涝灾害关联研究；小流域综合治理配套技术研究。二是土壤侵蚀治理研究，科学家和劳动者通过不断研究总结控制土壤侵蚀的措施和方法，目前基本形成了四大类水土保持措施，即农业技术措施、工程技术措施、生物技术措施和管理措施。



### 1.4 土壤侵蚀危害及其对国民经济的影响

#### 1.4.1 我国土壤侵蚀概况

土壤侵蚀是水土保持和荒漠化防治学科的重要基础和组成部分，它关系着山区、丘陵区及风沙区水土资源的开发、利用和保护，关系着江河、湖泊的利用和整治，涉及整个区域生态环境、经济持续发展和社会稳定，在国民经济建设中具有特殊的重要位置。

土壤侵蚀关系着国民经济的各个部门，土壤侵蚀属于自然灾害，它包含面蚀、沟蚀、崩塌、滑坡、山洪、泥石流和风沙危害等，给山区、丘陵区 and 风沙区的农业、工矿、交通及城镇带来巨大灾害。据统计，我国西南、西北地区常因这些灾害造成农田淤埋、桥梁被冲、厂矿被毁、道路中断等现象，风沙区的道路也常被风沙淹埋，给整个经济运转和区域经济发展造成极大困难。

我国是世界土壤侵蚀最严重的国家之一，其范围遍及全国各地。土壤侵蚀的成因复杂、危害严重，主要侵蚀类型有水力侵蚀、风力侵蚀、重力侵蚀、冻融侵蚀和冰川侵蚀等。根据2013年3月26日中华人民共和国水利部、中华人民共和国国家统计局发布的《第一次全国水利普查公报》，全国（未含香港特别行政区、澳门特别行政区和台湾地区）土壤水力、风力侵蚀面积总计为294.91万 $\text{km}^2$ ，其中，水力侵蚀面积为129.32万 $\text{km}^2$ ，风力侵蚀面积为165.59万 $\text{km}^2$ 。另外还有冻融侵蚀面积66.10万 $\text{km}^2$ 。

土壤侵蚀的发生除受到自然因素影响外，另一重要原因就是人类不合理活动。虽然经过几十年的不断努力，土壤侵蚀的综合治理也取得了显著成效，但由于毁林开荒、陡坡耕种、过量采伐林木、过度放牧和工矿建设中的不合理活动等，导致土壤侵蚀面积和侵蚀程度不断扩大加剧的趋势逐渐得到缓解和遏制。

#### 1.4.2 土壤侵蚀危害

土壤侵蚀直接影响到水、土资源的开发、利用和保护问题，水土资源是人类生存最基本的条件。由于人口数量的增长，耕地资源相对减少，而社会需求日益增加。

据统计, 1950~1990年, 我国耕地平均受灾面积达0.32亿 $\text{hm}^2$  (4.8亿亩<sup>①</sup>), 约占总耕地面积的32%。我国又是泥石流、崩塌、滑坡、地震等灾害发生的较多的国家, 平均每年因此类灾害所造成的损失高达人民币200亿元以上。

长江是中国的第一大河流, 流域总面积180.7万 $\text{km}^2$ , 占中国国土总面积的18.83%, 养育着全国30%以上的人口。由于人口增长对土地形成的压力, 再加之长期过量采伐森林, 目前长江流域的森林覆盖率仅为20.3%。森林覆盖率的减少导致土壤侵蚀面积不断扩大, 长江的多年输沙量达5.14亿 $\text{t/a}$ 。1998年8~9月长江流域发生历史上罕见的洪水灾害, 其原因一是因长江中上游持续长时间的较强降雨过程, 加剧了长江中下游干流全线洪水水位的长时间居高不下; 二是严重土壤侵蚀导致河流、湖泊淤积抬升, 导致其行洪、蓄洪能力降低。由于土壤侵蚀严重, 长江流域年均土壤侵蚀量高达24亿 $\text{t}$ , 严重的土壤侵蚀导致大量泥沙下泻淤积在江河湖泊内, 使得河床抬高、湖面面积减小水深降低, 导致河床行洪能力降低、湖泊蓄洪能力下降。20世纪50年代初期长江中下游的湖泊面积为2.58万 $\text{km}^2$ , 由于泥沙淤积每年湖面面积平均减少400多平方公里。

在黄河流域, 由于其中、上游处于干旱和半干旱地区, 年降雨量多在200~500mm, 地表植被稀少, 涵养水源作用急剧降低, 再加之气候和水资源利用上存在的不合理等问题, 导致黄河断流现象屡屡发生, 1998年黄河断流达到217天。黄河流域土壤侵蚀总面积为45万 $\text{km}^2$ , 其中有严重土壤侵蚀面积15.6万 $\text{km}^2$ , 侵蚀模数达0.5万~3万 $\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ 。严重土壤侵蚀区是黄河下游泥沙的主要来源, 黄河多年平均输沙量为16亿 $\text{t/a}$ , 为世界上输沙量最高的河流之一。

在联合国环境与发展大会上许多专家认为, 土壤侵蚀和荒漠化的危害可以从三个层次上来认识, 从全球来看, 土壤侵蚀和荒漠化对生态系统中的气候因素造成不利影响, 破坏生态平衡, 引起生物物种的损失并导致政治上的不稳定; 从一个国家来看, 土壤侵蚀和荒漠化引起国家经济损失, 破坏能源及粮食生产, 加剧贫困, 引起社会的不安全; 对一个局部地区来说, 土壤侵蚀和荒漠化破坏土地资源及其他自然资源, 使土地退化, 妨碍经济及社会的发展。

由此可以看出, 土壤侵蚀与荒漠化的危害已不是局部问题, 它危及全人类的生存、社会稳定和经济发展。土壤侵蚀的危害具体表现在以下几个方面。

#### 1.4.2.1 破坏土地, 吞食农田

西北黄土区、东北黄土区和南方花岗岩“崩岗”地区土壤侵蚀最为严重。黄土高原的侵蚀沟头一般每年前进1~3m。宁夏回族自治区固原县在1957~1977年的20年内, 平均每年损失土地333多公顷(5000多亩)。吉林省浑江市的坡耕地已被沟壑吞蚀4800 $\text{hm}^2$  (7.2万亩), 占耕地总面积的15%。黑龙江省的黑土区有大型冲沟14.4万条, 已吞蚀耕地9.33万 $\text{hm}^2$  (140多万亩)。自新中国成立以来辽宁省12个市由于土壤侵蚀已损失土地71.2万 $\text{hm}^2$  (1068万亩)。

新中国成立以来, 长江中上游许多地方由于土壤侵蚀导致的“石化”面积急剧发展。贵州省六盘水市水城特区平均每年“石化”面积增加2100 $\text{hm}^2$  (3.2万亩), 重庆市的万县平均

<sup>①</sup> 1亩 $\approx$ 0.067 $\text{hm}^2$

每年“石化”面积增加 2500 hm<sup>2</sup> (3.75 万亩), 陕西省安康市平均每年“石化”面积增加近 700hm<sup>2</sup> (1.0 万亩), 湖北省的秭归县平均每年“石化”面积增加 400hm<sup>2</sup> (6000 亩)。

在湖北省勋西县、四川省会理县等地, 有些坡耕地表层土壤全部流失, 群众无法生活, 被迫迁居外地。山东省目前坡耕地的“石化”面积已有 16.13 万 hm<sup>2</sup> (242 万亩)。坡面的土壤侵蚀造成下游农田水冲沙压, 坡耕地被迫弃耕。据广西壮族自治区苍梧、岑溪、百色等 10 个县的调查, 常受泥沙淤埋的农田达 0.84 万 hm<sup>2</sup> (12.6 万亩), 这 10 个县每年因此而损失的粮食达 1600 万 kg。

严重的土壤侵蚀导致土地“沙化”。在我国西北干旱草原和与风沙区相邻的黄土丘陵区, 常因风力侵蚀危害造成土地“沙化”现象。宁夏回族自治区 1961 年有沙化土地面积 18.87 万 hm<sup>2</sup> (283 万亩), 1983 年增加到 25.86 万 hm<sup>2</sup> (388 万亩), 22 年内平均每年增加 0.32 万 hm<sup>2</sup> (4.8 万亩)。地跨陕西省与内蒙古自治区的神府—东胜煤田, 1977 年“沙化”土地面积为 10372km<sup>2</sup>, 1996 年发展到 13259km<sup>2</sup>, 20 年内损失土地 2887km<sup>2</sup> (433 万亩), 土地沙化面积占土地总面积的比例由 64.0% 增加到 81.8%。

#### 1.4.2.2 降低土壤肥力, 加剧干旱发展

土壤中含有大量氮、磷、钾等各种营养物质, 土壤流失也就是肥料的流失。我国东北地区辽宁、吉林、黑龙江三省共有坡耕地 561.47 万 hm<sup>2</sup> (8422 万亩), 因土壤侵蚀每年损失氮 92.4 万 t、磷 39.9 万 t、钾 184.4 万 t。据湖北省有关部门观测分析, 坡耕地每年流失土壤约 2.1 亿 t, 其中含有机质 273 万 t, 氮、磷、钾等养分 231 万 t。

坡耕地水、土、肥流失后, 土地日益瘠薄, 田间持水能力降低, 加剧了干旱发展。据统计全国多年平均受旱面积约 1960 万 hm<sup>2</sup> (2.94 亿亩), 成灾面积约 673.3 万 hm<sup>2</sup> (1.01 亿亩)。据甘肃省 18 个干旱县 1933 ~ 1976 年 44 年的资料分析结果, 降水量正常年为 11 年, 占 25%; 干旱年与大旱年为 17 年, 占 38.6%; 涝年与偏涝年为 16 年, 占 36.4%, 而且随着土壤侵蚀的增加旱情有不断增加的趋势。

#### 1.4.2.3 淤积抬高河床, 加剧洪涝灾害

土壤侵蚀使大量坡面泥沙搬运后沉积在下游河道, 削弱了河床泄洪能力, 加剧了洪水危害。新中国成立以前有记载的 2000 多年历史中, 黄河决口泛滥 1500 多次, 大改道 26 次, 每次决口泛滥都造成房舍淹没、田园荒废、人畜死亡。1933 年大洪水中, 黄河下游两岸大堤决口 56 处, 淹没了河南、河北、山东三省 67 个县, 受灾面积 11 万 km<sup>2</sup>, 灾民 364 万人, 死亡 18000 多人, 直接经济损失折合人民币 3.2 亿元。新中国成立以来, 黄河下游河床平均每年淤高 8 ~ 10cm, 目前很多地段已高出两岸地面 4 ~ 10m, 成为地上“悬河”。

近几十年来, 包括我国长江在内的全国各地都有类似黄河的情况, 随着土壤侵蚀的日益加剧, 各地大、中、小河流的河床淤高和洪涝灾害也日趋严重。1998 年 7 ~ 8 月发生在长江干流、松花江流域的特大洪水灾害给国家造成了数亿元的损失, 在很大程度上说明了由于土壤侵蚀造成河床淤高、行洪能力下降导致洪水危害不断增大的问题。

#### 1.4.2.4 淤塞水库湖泊, 影响开发利用

新中国成立以来, 山西省修建的大、中、小型水库共有 40 多亿立方米库容, 由于土壤侵蚀平均每年损失库容约 1 亿 m<sup>3</sup>。内蒙古自治区 46 座水库已淤积 8 亿 m<sup>3</sup>, 占总库容的

45.5%。山西省汾河水库库容 7.26 亿  $\text{m}^3$ ，已淤积 3.2 亿  $\text{m}^3$ ，严重影响到太原市供水和 15 万  $\text{hm}^2$  (225 万亩) 农田的灌溉。四川省龚嘴水电站库容 3.6 亿  $\text{m}^3$ ，原设计为蓄水发电的水利枢纽，但 1976 年水库建成后，1987 年就被泥沙淤满，不得不改为径流发电。甘肃省碧口水电站 5.21 亿  $\text{m}^3$  的库容，1975 年建成后到 1987 年已淤积 50%。山东省共兴建小型水库和山塘共 36810 座，总库容 41.4 亿  $\text{m}^3$ ，现已淤积 25.5 亿  $\text{m}^3$ ，占总库容的 61.7%。辽宁省有大、中、小型水库 1033 座，总兴建库容 52.1 亿  $\text{m}^3$ ，现已淤积 6.8 亿  $\text{m}^3$ ，占总库容的 13%，在 733 座小型水库中，已有 106 座由于淤积而报废。初步估计全国各地由于土壤侵蚀而损失的各类水库、山塘等库容历年累计在 200 亿  $\text{m}^3$  以上。

长江中游的洞庭湖在清代道光年间面积为 6270  $\text{km}^2$ ，由于土壤侵蚀导致的泥沙淤积，加之沿湖围垦等，1949 年湖面面积缩小至 4350  $\text{km}^2$ ，1993 年又缩小到 3641  $\text{km}^2$ ，同时由于湖底因泥沙淤积而升高，使得其容量减少了 40%，严重影响了洞庭湖的缓洪能力和湖周的生态环境，1998 年长江干流发生的特大洪水灾害与之有着密切关系。

#### 1.4.2.5 影响航运，破坏交通安全

由于土壤侵蚀造成河道、港口的淤积，致使航运里程和泊船吨位急剧降低，而且每年汛期由于水土流失形成的山体塌方、泥石流等造成的交通中断，在全国各地时有发生。据统计，1949 年全国内河航运里程为 15.77 万  $\text{km}$ ，到 1985 年减少为 10.93 万  $\text{km}$ ，1990 年又减少为 7 万多公里，已经严重影响到内河航运事业的发展。

#### 1.4.2.6 土壤侵蚀与贫困形成恶性循环

中国大部分地区土壤侵蚀是由陡坡开荒、破坏植被造成的，且逐渐形成了“越垦越穷，越穷越垦”的恶性循环，这种情况是历史遗留下来的。1949 年以后，人口增加更快，土壤侵蚀与贫困同步发展。如不及时扭转，土壤侵蚀面积日益扩大、自然资源日益枯竭、人口日益增多、群众贫困日益加深的后果将不堪设想。

## 1.5 土壤侵蚀发展历史与现状

### 1.5.1 国际发展简史与现状

全球遭受土壤侵蚀的面积大约为 1642 万  $\text{km}^2$ ，其中水力侵蚀面积 1094 万  $\text{km}^2$ ，风力侵蚀面积 578 万  $\text{km}^2$ 。水力侵蚀危害最严重的地区位于 50°N ~ 40°S (干旱沙漠和赤道森林除外)，特别是美国、俄罗斯、澳大利亚、中国、印度以及南美洲、非洲北部的一些国家。风力侵蚀危害最大地区是美国大平原、非洲撒哈拉沙漠和卡拉哈里沙漠、中国西北部及澳大利亚中部。

对于全世界土壤侵蚀发展过程，目前国际上尚无统一看法，仅就欧洲、美国、日本和澳大利亚的土壤侵蚀科学发展情况进行简单介绍。

#### 1.5.1.1 欧洲

欧洲防治山洪、泥石流、滑坡等自然灾害最早是从阿尔卑斯山区各国开始，然后推向全欧洲。1884 年，奥地利制定了世界第一部有关防止土壤侵蚀的《荒溪治理法》，总结出一套

综合防治土壤侵蚀的森林——工程措施体系。1950年联合国粮农组织林业委员会（Committee on Forestry of FAO, COFO）为了加强山地土壤侵蚀防治与国际协作，成立了山区流域管理工作组（Working Party on Mountain Watershed Management）。这个工作组的主要任务是防治山洪、泥石流、滑坡灾害方面组织欧洲各国进行合作。欧洲山区流域治理工作组自1978年第11次会议以来与国际林业研究组织联盟（International Union of Forestry Research Organization, IUFRO）关系日益密切，二者建立了永久性的合作关系并定期出版山区流域治理方面的论文集。

1978年5月在罗马召开的第11次山区流域治理学术讨论会上，联合国粮农组织林业委员会赞同将欧洲山区流域治理工作组“国际化”，把山区流域治理工作组的成员国扩大到发展中国家。

欧洲各国山地森林覆盖率较高，土地利用主要为牧业用地，土壤面蚀作用较轻微，而山洪、泥石流、滑坡侵蚀作用强烈、危害大。他们已建立起生物措施、工作措施、土地利用调整、法律措施等综合措施治理体系。

### 1.5.1.2 美国

美国国土总面积937.3万 $\text{km}^2$ ，其中强烈水力侵蚀及风力侵蚀面积114万 $\text{km}^2$ ，轻微侵蚀面积313万 $\text{km}^2$ 。19世纪60年代后期移民增多，大量垦殖荒地，致使20世纪30年代后期，发生3次大的黑风暴，给农业生产造成很大危害。20世纪70年代前年均土壤侵蚀量约36亿t，70年代后，由于农业集约化的负面影响，水土流失开始加剧，据土壤侵蚀普查，年土壤侵蚀量达64亿t。在强化水土保持工作后，1982年调查年土壤侵蚀量降至30亿t。1935年美国成立土壤保持局，1996年土壤保持局改名为自然资源保育局。

1915年美国林业局在犹他州布设了第一个定量的土壤侵蚀观测小区后，米勒（M. F. Miller）于1917年在密苏里农业试验站布设了径流观测小区，不久第一次出版了野外小区土壤侵蚀量观测成果。此后的10年间，美国有44个试验站都开展了同类研究，面积从小区到小流域，内容涉及雨滴特性、土壤养分流失，种植制度、植被覆盖对减少土壤侵蚀的影响等。

20世纪30年代，在美国土壤保持局第一任局长贝内特博士（H. H. Bennett）的积极支持下，美国设立19个保土试验站，研究降雨强度、历时时间、季节分配和土壤可蚀性的关系，地面坡度、作物覆盖及土地利用和土壤侵蚀的相互关系等。同时，米德尔顿（H. E. Middleton）用测定土壤理化性质的方法来确定土壤的可蚀性，霍顿（R. E. Horton）从水文学观点建立了土壤入渗能力概念和入渗方程。1935年以后，尼尔（J. H. Neal）、辛格（A. W. Zingg）、史密斯（D. D. Smith）等人开始雨滴溅蚀机制研究。1940年，劳斯（J. O. Laws）完成了降雨过程的溅蚀研究。1944年埃利森（Ellisen）完成了雨滴溅蚀的分析研究，揭示出溅蚀本质。在此期间，富雷（E. E. Free）开展风力侵蚀的研究。

1956年后随着计算机的问世和应用以及土壤侵蚀研究资料的积累，威斯迈尔（W. H. Wischmeier）和他领导的印第安那州普渡大学研究机构，推出了通用土壤流失方程式（Universal Soil Loss Equation，简称USLE），而后又提出修正的土壤流失方程式和风力侵蚀方程。在研究方法上，除了现代化观测设备外，梅耶（Meyer）等人推出了精密的人工模拟降雨装置，后来又在立体摄影、遥感技术的应用上迈出了较大步伐。

近年来美国在应用基础方面的主要研究内容为研制评估、预测和监测土地生产能力和土

地资源变化的新技术, 提供为改良、保护和恢复农业用地生产能力的技术, 合理利用水资源的先进管理制度及用水技术, 优化土地资源管理所需要的综合利用土、水、气资源技术。在基础理论研究方面主要有雨滴溅蚀、水流剥蚀及输移原理, 水流中泥沙沉积机理, 研究土壤侵蚀预报的新方法和评估水土保持措施效益的新方法、新的侵蚀控制概念评价和野外试验, 土壤侵蚀对土地生产力和对土地利用影响的经济后果等。

### 1.5.1.3 日本

日本的砂防 (Subao) 大致与我国的水土保持为同一语, 是与控制山地侵蚀、搬运, 防止山区流域荒废、泥沙灾害相联系的。17 世纪后期, 学者河村瑞贤提出荒山恢复建议, 要把造林与工程措施相结合, 被政府采纳。此后设置砂防机构, 发展砂防工程。1897 年为防治山区灾害, 制定了《森林法》、《砂防法》和《河川法》, 后经修订延续至今。

为推进水土保持技术向现代化迈进, 1873 年, 荷兰土木工程师代里克 (D. Rijke) 到日本传授西欧水土保持工程措施, 被称为代里克工程法。1904 年日本邀请奥地利荒溪治理专家霍夫曼 (A. Hoffmann) 讲学, 开始了正规水土保持教育, 推动了荒溪治理的森林工程体系。

第二次世界大战后, 日本重新开始治山工作, 并于 1953 年设立水土保持对策协议会, 制订基本对策。此后, 从多方面开展土壤侵蚀研究, 如三原的土壤侵蚀分析研究, 驹村富士弥的斜坡侵蚀研究等, 其研究重点是滑坡及泥石流灾害治理。

日本的自然灾害防治事业中, 治山 (土壤侵蚀防治) 事业占据主要地位, 1953 年日本在全国大水灾以后公布了《治山治水基本对策纲要》, 1959 年日本伊势湾遭受强台风危害, 1960 年颁布《治山治水紧急措施法》, 并制定了 10 年计划。在日本政府的林业机构中, 治山是一项主要任务。1957 ~ 1986 年用于砂防事业的总投资达 37660 亿日元, 50 年代年均投资 146 亿日元, 80 年代年均投资 3040 亿日元。

尽管日本防治土壤侵蚀的工程措施、工程施工方法较为先进, 但其理论研究相对来说较为滞后。

### 1.5.1.4 澳大利亚

澳大利亚国土总面积 768.2 万  $\text{km}^2$ 。中部及西北部为荒漠及半荒漠地区, 约占国土面积的 1/3; 东北、东南及西南部为相对湿润的农牧区。19 世纪 40 年代发现金矿后, 移民剧增, 毁林毁草严重, 100 多年内森林资源已毁掉近 1/2。20 世纪初, 风力侵蚀严重, 形成红色尘暴, 全国遭受严重水力侵蚀或风力侵蚀的土地面积约为 260 万  $\text{km}^2$ 。1938 年通过《新南威尔士土壤保护法》和《水土保持法》后, 各州相继立法。1946 年联邦政府成立水土保持常务委员会, 其垂直机构共分 5 级: 联邦政府、州、区、流域管理委员会及民间组织。科工组织 (相当于科学院) 下属的水土资源保护研究所遍布全国。

全国十分重视土地资源评价等基础工作及草场建设, 牧草的科学选育和牧场的规划管理是水土保持的主要内容。

## 1.5.2 国内发展简史与现状

土壤侵蚀科学属于应用基础理论, 它源于生产又服务于生产, 是伴随着生产实践和社会发展而诞生和发展的。

早在公元前10世纪的西周时期,就有“平治水土”之说,《诗经》中记述了朴素的土壤侵蚀防治原理及合理土地利用的重要性。战国时期有“土返其宅,水归其壑”(《礼记·郊特牲》)的理论。秦汉以后,土壤侵蚀日趋严重,在《汉书·沟洫志》中有“一石水而六斗泥”的记载,张戎明确提出河流重浊的泥沙淤积是黄河决溢的主要原因。宋、元、明代时期,土壤侵蚀在坡耕地上已十分严重,开始修筑梯田,明周用提出“使天下人人治田,则人人治河”的思想;水利专家徐贞明在《潞水客谈》中倡导“治水先治源”,并提出泥沙侵蚀、搬运和沉积的关系。清代的胡定分析了黄河泥沙来源提出“汰沙澄源”的治黄方略,并阐述了泥沙产生与运移规律。还有人分析了影响土壤侵蚀的因素,尤其对植被作用的保持水土作用有了一定认识。南宋的《四明它山水利备览》和清代梅伯言的《书棚民事》都论述了森林植被具有减缓流速、固结土壤、涵养水源等防治土壤侵蚀功能。

20世纪20年代末,受西方科技发展影响,我国开始了系统的土壤侵蚀研究,先后在四川内江、甘肃天水、陕西长安、福建河田、广西柳州西江等地建立了土壤侵蚀研究试验区,积累了一些研究资料和研究经验。这些水土保持机构曾引进国内外优良水土保持树种及草种,并对土壤侵蚀规律、土壤侵蚀防治措施及其效益进行了研究取得了一些成果。1945年有少数农林院校开设土壤侵蚀防治方面的课程。

1940年黄河水利委员会的一些科技人员针对治黄工作,提出了防治泥沙问题,并成立了林垦设计委员会,开展水土保持造林工作。以森林防治土壤侵蚀、保护农田、涵养水源、改善水力条件等。

新中国成立后,党和政府极为重视水土保持工作,1952年政务院发出《关于发动群众继续开展防旱、抗旱运动并大力推行水土保持工作的指示》,1956年成立了国务院水土保持委员会,1957年国务院发布了《中华人民共和国水土保持暂行纲要》。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组织了3次大规模的水土流失考察工作,基本摸清了黄河流域水土流失的情况,总结了群众的蓄水保土经验。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、离石等土壤侵蚀试验推广站,各省也开展了水土保持试点。

1964年国务院制定了《关于黄河中游地区水土保持工作的决定》,1982年6月30日国务院批准发布了《水土保持工作条例》,1991年6月29日,第七届全国人大常委会第20次会议一致通过了《中华人民共和国水土保持法》,至此我国的水土保持工作逐步走向了法制化、规范化和科学化的道路。2010年12月25日修订的《中华人民共和国水土保持法》由中华人民共和国第十一届全国人民代表大会常务委员会第18次会议通过,并于2011年3月1日起施行。

各地区、各部门的土壤侵蚀试验研究蓬勃发展,开启我国土壤侵蚀研究的新时代,取得了丰硕成果。如雨滴击溅侵蚀、坡面耕地冲刷机理、沟道冲刷及重力侵蚀机理和分布特征、风力侵蚀机理、治理措施拦水减沙效益分析、全国土壤侵蚀分类及地域性分异规律等,为土壤侵蚀的防治方针、防治措施和防治标准等提出了理论依据。

在土壤侵蚀防治和水土保持教研方面,新中国成立初期在北京林学院林业专业首先设置了“森林改良土壤学”课程,讲授土壤侵蚀规律及土壤侵蚀防治措施等方面的内容。1958年根据国务院水土保持委员会及全国第二次水土保持会议的精神,在北京林学院设置了水土保持专业,从此在我国高等教育部专业目录中有了专门培养水土保持高级技术人才的专业。1980年根据我国水土保持事业的发展,北京林业大学成立了水土保持系,除了培养大

学本科生以外，还培养硕士研究生，1985年开始培养博士研究生。之后，西北林学院、山西农业大学、甘肃农业大学、山东农业大学和华北水电学院等高等院校也相继设置水土保持专业或开设水土保持课程。1985年中国水土保持学会成立。

### 1.5.3 土壤侵蚀研究进展

自20世纪初以来，人们为研究掌握土壤侵蚀发生发展规律，曾研究探讨了一系列土壤侵蚀研究方法。20年代初金陵大学美籍教授罗德民（W. C. Lowdermilk）曾在山西沁源等地首次建立了径流小区，研究观测不同森林植被和无植被坡面土壤侵蚀量的变化。之后，40年代初在甘肃天水等水土保持试验站，相继建立了径流观测小区。直至今日，全国主要土壤侵蚀区均以径流小区作为观测土壤侵蚀规律的重要手段，并且为土壤侵蚀的定量评价和预报提供了重要的科学数据。自20世纪50年代起，根据国民经济建设的需要，国家把治理黄河任务列为重要议程，在黄河流域的黄土高原地区开展了大规模的土壤侵蚀野外考察研究，积累了大量的第一手考察资料，编制了系列图件，直到现在仍被广泛应用。其中，比较突出的有黄秉维编制的黄河中游流域土壤侵蚀分区图，辛树帜、关君蔚、蒋德麒等编制的中国水土流失类型分区图，朱显谟等研究确定的黄土区土壤侵蚀分类及其编制的中国土壤侵蚀类型图等一系列开创性的工作，为以后区域性和全国性的土壤侵蚀调查研究奠定了重要基础。

针对土壤侵蚀规律研究野外调查方法和定位观测方法存在的某些局限性，朱显谟首先提出了开展野外人工降雨和室内模拟实验技术的研究设想。与此同时，中国科学院兰州沙漠研究所开展了研究风力侵蚀规律的风洞模拟实验研究。20世纪70年代后期，美国通用土壤流失方程（USLE）被介绍到中国后，如何研究适合中国的土壤侵蚀预报方程，成为土壤侵蚀学界的一个热点问题。随之提出了确定土壤侵蚀因子参数的研究方法，并开展了应用同位素示踪技术测定侵蚀量的研究。70年代起国外遥感技术引进我国，于“七五”期间在土壤侵蚀方面得到较广泛的应用研究，使土壤侵蚀的研究进入到一个新的信息技术阶段。从野外考察进入到与航天航空影像的目视解译相结合，不仅提高了效率，而且使一般的目测估算进入到定性定量评价。遥感技术（RS）与地理信息系统（GIS）的结合，使土壤侵蚀的研究进入到水土流失动态监测和侵蚀预报的研究领域。近年来，全球卫星导航系统（GNSS）的发展，进一步展示了研究土壤侵蚀微观动态过程的前景。

### 1.5.4 发展趋势及存在问题

近年来，随着“3S”技术、计算机技术的飞速发展与应用，以及在土壤侵蚀机理研究和防治理论研究方面引入现代系统科学，如系统论、控制论、运筹学、生态经济理论、景观生态学原理等，我国土壤侵蚀研究步伐大大加快，不仅扩大了研究的深度和广度，取得了丰硕成果，更为可喜的是某些理论研究成果已步入世界前沿或达到国际领先水平。

同时，一些科技人员出访了美国、澳大利亚、日本等国家，引入了西方先进的科学技术，如引进人工模拟降雨技术，加快了不同坡度、不同降水量水土流失规律的研究进展；引用美国通用土壤流失方程并加以改进，对不同地区土壤侵蚀状况进行分析；运用卫星遥感技术进行全国水土流失状况的监测和制图；运用系统动力学动态仿真模型进行水土保持规划；用模糊聚类分析对水土流失类型进行分类分区；采用灰色系统分析水土保持效益等。

尽管土壤侵蚀研究取得了重要进展，然而，由于土壤侵蚀过程的复杂性和影响因子的多变化性，有许多科学问题还有待进一步研究。例如，堤岸和河岸侵蚀过程、沟蚀过程和泥沙搬