

中国土壤侵蚀与环境

SOIL EROSION AND
ENVIRONMENT IN CHINA

景可 王万忠 郑粉莉 著



科学出版社
www.sciencep.com

中国土壤侵蚀与环境

SOIL EROSION AND ENVIRONMENT IN CHINA

景 可 王万忠 郑粉莉 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是论述土壤侵蚀体系、泥沙输移体系 and 水土保持体系与中国区域地理环境关系的专著。全书论述了十个方面的内容:第一章论述与土壤侵蚀相关的几个基本概念;第二章至第六章以翔实的资料和鲜明的观点论述侵蚀环境背景及其特点、侵蚀影响因素、侵蚀类型、侵蚀强度及水蚀预报模型;第七章论述泥沙输移比、输沙模数与流域面积的关系;第八章讨论土壤侵蚀分区;第九章讨论土壤侵蚀防治;第十章论述我国土壤侵蚀学科发展战略。书中引用了大量的实际资料,内容丰富,反映了当前我国土壤侵蚀研究的主要成果。

本书可供从事土壤侵蚀、水土保持、地理、地质及生态环境研究的科技工作者和高等学校相关专业师生从事教学、科研阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

中国土壤侵蚀与环境 / 景可, 王万忠, 郑粉莉 著. —北京: 科学出版社, 2005

ISBN 7-03-014365-5

I. 中… II. ①景… ②王… ③郑… III. 土壤侵蚀-研究-中国
IV. S157

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 101625 号

责任编辑: 彭胜潮 姚岁寒 / 责任校对: 钟 洋

责任印制: 钱玉芬 / 封面设计: 王 浩

科学出版社 出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2005年2月第 一 版 开本: 787 × 1092 1/16

2005年2月第一次印刷 印张: 23

印数: 1—1 000 字数: 532 000

定价: 58.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换〈新欣〉)

前 言

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础。随着人口的剧增和经济的发展,土壤侵蚀(又称水土流失)日益加剧,至今已成为世界性的环境灾害之一,严重地威胁到资源-环境-社会经济的可持续性发展,已引起各国政府和国民的高度重视。我国是世界上土壤侵蚀最严重的国家之一,不仅侵蚀面积广,而且侵蚀强度大,已成为我国当前最大的首位环境问题,它的危害已波及到生态环境的方方面面,因而引起各方面高度重视。我国已将土壤侵蚀治理列为 21 世纪初叶环境治理的主要项目,计划投资治理长江上游、黄河中上游、西南石灰岩山区和北方草原区的水蚀和风蚀区,并将防治土壤侵蚀、改善生态环境作为西部大开发的重要战略任务之一。我国土壤侵蚀研究虽只有 50 余年的历史,但无论是土壤侵蚀,还是与此相关的水土保持研究都取得了可喜的成果,尤其是黄土高原的土壤侵蚀和水土保持经过众多人持之以恒的不懈努力,无论是环境治理,还是科学研究都取得了举世瞩目的成绩,正式出版和发表的著作与论文数不胜数。但从全国角度看,至今还没有一本全面、系统地论述全国土壤侵蚀的专著,尤其是没有从区域生态环境视野研究中国土壤侵蚀的发生发展、侵蚀产沙的时空规律和分异原因,以及侵蚀产沙输移过程的综合性专著。

至今,人们对土壤侵蚀的严重性和它的危害性虽已形成共识,但对其严重性和危害程度在认识上还存在一定的差距。同样,治理与预防土壤侵蚀的重要性虽也已形成共识,但是治理与预防的重点是什么,如何治理,其理论基础又是什么,这些都还存在意见分歧,甚至是对立的;尤其直接关系到治理决策和流域管理的一些重要的土壤侵蚀数据和问题上缺乏统一认识。如容许土壤侵蚀的界定与指标,土壤侵蚀、土地退化、荒漠化和沙漠化等各自的内涵及其之间的内在关系,又如用遥感技术测定土壤侵蚀面积和侵蚀强度的可行性,土壤侵蚀发生发展及土壤侵蚀强度的区域分异与地理环境背景的关系,长江上游的侵蚀泥沙输移比是否果真如此小,水土保持的水文效应,以及对地表水资源的影响等一系列重大问题都缺乏深入的研究。对一些重要数据和问题也存在人云亦云,导致广泛误用的现象。对于这些问题,作者尽管还没有能力做出全面的、详尽的圆满论述,但毕竟自 20 世纪 70 年代末介入黄土高原土壤侵蚀研究已历经 20 多年,不仅时刻关注黄土高原的土壤侵蚀研究动向,也时刻关注全国的土壤侵蚀研究进展,特别是国家西部大开发中将生态环境建设列为优先,更是经常在考虑与生态环境建设相关的土壤侵蚀与水土保持问题,并对其中一些问题做过一些探索性研究,形成了自己的见解。由于问题考虑多了,渐渐萌发了写一本《中国土壤侵蚀与环境》的梦想。梦想应运而生的同时,作者也在嘲笑自己是蚍蜉撼树不自量,为此始终没有勇气提笔。直至西部大开发生态优先的号角吹响,出于一个土壤侵蚀研究者的责任感,才鼓起了勇气,下决心思考撰写,以此为同行们提供一点参考信息。然而在真正着手撰写这本书期间,由于经常忙于一些事务性工作,没能集中力量一气呵成,从拟定提纲到完全脱稿拖了数年之久,最终在同仁们的鼓励、帮助与支持下才完成

了这本拙作。

《中国土壤侵蚀与环境》是土壤侵蚀学和区域环境学的结合。土壤侵蚀学是一门年轻的、综合的、交叉的边缘学科,它与自然环境有着千丝万缕的联系。本书的写作意图是要将侵蚀与环境融为一体,全面而系统地反映我国土壤侵蚀与区域地理环境的关系。因而在写作过程中,始终不渝地坚持以土壤侵蚀学中的侵蚀产沙体系、泥沙输移体系和水土保持体系为轴心,再将这三大体系有机地融会于中国区域地理环境之中。因而写作的立足点坚持以区域为本,写作思路力求两者有机结合。在这个写作思路的指导下,以土壤侵蚀学体系为线索,中间贯穿区域环境学体系,展开写作过程。全书总共分十章:第一章,绪论;第二章,土壤侵蚀环境;第三章,土壤侵蚀影响因素;第四章,土壤侵蚀类型;第五章,土壤侵蚀强度及其时空变化;第六章,水蚀预报模型;第七章,土壤侵蚀泥沙输移;第八章,土壤侵蚀分区;第九章,土壤侵蚀防治;第十章,土壤侵蚀学科发展战略。书中每一章相对独立地阐述一个中心问题,章与章之间又相互联系,有着承上启下的关系,最终形成一个整体——“中国土壤侵蚀与环境”。本书写作执笔分工是:景可撰写第一、二、四、五、七、八、九章;王万忠撰写第三章;郑粉莉、杨勤科、王占礼撰写第六章;郑粉莉、王占礼、杨勤科撰写第十章。

土壤侵蚀涉及众多的相关学科,而《中国土壤侵蚀与环境》不仅要涵盖土壤侵蚀中的有关内容,而且还要涵盖区域自然地理和社会经济学的内容。同时,涉及的区域大,凭借作者孤陋寡闻的浅薄知识、涉足有限的工作区域,要完成如此重任,无论如何是力不从心的。这主要还是得益于从事土壤侵蚀、水土保持、河流泥沙、自然地理和与此相关的优秀工作者在几十年内的辛勤劳动所取得的成果的有形与无形的支持,为完成本书奠定了基础。本书写作过程中参阅了数千篇论文,内容涉及地理、地质、水利、土壤、河流泥沙、生态环境、水文、历史地理、土地利用等自然和人文社会学科的几十种期刊和百余本专著,直接引用的参考文献就有几百篇(本)之多,因此说这本书的完成凝聚了许多同志的智慧和汗水。严格地说,本书与其说是作者所著,还不如说是集体创作,而作者仅是一位记录员则更为确切。由于受篇幅的限制,作者不能在此一一列举出每位专家学者的姓名,只能在此由衷地向所有同仁致谢。本书从梦想到真正实现,还得益于国家自然科学基金委员会的多项基金(批准号:9488006、49571012、4974001、9871015、40071058、40335050、90302001)及中国科学院知识创新重要方向项目(KZCX3-SW-422)资助。资助课题的研究对象尽管是黄土高原和黄河,但使我有机会涉足其他区域,如长江流域,扩大了研究视线,开拓了研究领域。同时,本书也可谓是与兄弟单位合作的结晶,还与作者所在单位中国科学院地理科学与资源研究所,以及与中国科学院水利与水土保持研究所和西北农林科技大学的领导 and 同事们的支持帮助分不开的。此外,还要感谢中国科学院水利与水土保持研究所的焦菊英和郝小品女士、王文龙先生;中国科学院地理科学与资源研究所的李炳元、李钜章、师长兴、王随继先生,成夕芳和李凤新女士。

本书尽管得以面世,但由于作者才识浅薄,文中谬误难免,敬请同仁不吝赐教。

目 录

前 言

第一章 绪论	1
第一节 几个侵蚀概念的内涵	1
第二节 土壤侵蚀研究进展	9
第三节 土壤侵蚀的环境效应	18
参考文献	27
第二章 土壤侵蚀环境	31
第一节 土壤侵蚀环境系统	31
第二节 土壤侵蚀环境背景	33
第三节 土壤侵蚀环境特征	51
参考文献	65
第三章 土壤侵蚀影响因素	67
第一节 降雨侵蚀力	67
第二节 土壤可蚀性	83
第三节 植被的抗侵蚀作用	96
第四节 地貌因素	110
第五节 人为因素	124
参考文献	125
第四章 土壤侵蚀类型	129
第一节 土壤侵蚀类型划分	129
第二节 侵蚀类型的基本特征	130
参考文献	160
第五章 土壤侵蚀强度及其时空变化	162
第一节 概述	162
第二节 确定侵蚀强度的方法	163
第三节 侵蚀强度的时间过程	169
第四节 侵蚀强度的空间分异规律	180
参考文献	194
第六章 水蚀预报模型	196
第一节 国外水蚀预报模型研究进展	196
第二节 国内水蚀预报模型研究进展	202
第三节 土壤侵蚀趋势预测	214
第四节 中国水蚀预报模型研究面临的挑战与任务	221
参考文献	224

第七章 土壤侵蚀泥沙输移	227
第一节 泥沙的基本特性	227
第二节 泥沙输移比的影响因素	232
第三节 侵蚀泥沙输移比界定	239
第四节 黄河、长江泥沙输移比问题	249
第五节 泥沙输移比与流域面积的关系	256
参考文献	266
第八章 土壤侵蚀分区	268
第一节 分区的目的意义	268
第二节 分区的原则与指标	268
第三节 土壤侵蚀分区方案	271
第四节 土壤侵蚀分区特征	274
参考文献	298
第九章 土壤侵蚀防治	300
第一节 概述	300
第二节 防治现状及典型经验	306
第三节 侵蚀治理规划及治理措施	319
第四节 水土保持对地表水资源的影响	335
参考文献	341
第十章 土壤侵蚀学科发展战略	343
第一节 土壤侵蚀学科发展回顾与进展	343
第二节 土壤侵蚀学科发展面临的挑战	352
第三节 土壤侵蚀学科前沿和优先领域	354
参考文献	357

Contents

Preface

Chapter 1 Introduction	1
Section 1 Terminology for Soil Erosion	1
Section 2 The Research Progresses in Soil Erosion	9
Section 3 Environmental Effects Caused Soil Erosion	18
References	27
Chapter 2 The Environment of Soil Erosion	31
Section 1 The Environmental System of Soil Erosion	31
Section 2 The Environmental Background of Soil Erosion	33
Section 3 Environmental Characteristics of Soil Erosion	51
References	65
Chapter 3 The Factors Affecting Soil Erosion	67
Section 1 Rainfall Erosivity	67
Section 2 Soil Erodibility	83
Section 3 Vegetation Resisting in Soil Erosion	96
Section 4 Landforms and Relieves	110
Section 5 Human Impact on Soil Erosion	124
References	125
Chapter 4 Soil Erosion Types	129
Section 1 Classification of Soil Erosion	129
Section 2 Basic Characteristics of Soil Erosion Types	130
References	160
Chapter 5 Soil Erosion Intensity	162
Section 1 Outline	162
Section 2 The Methods for Determining Soil Erosion Intensity	163
Section 3 Temporal Process of Soil Erosion Intensity	169
Section 4 Spatial Distribution of Soil Erosion Intensity	180
References	194
Chapter 6 Water Erosion Prediction Model	196
Section 1 Oversea Research Progresses of Erosion Model	196
Section 2 Research Progresses of Erosion Model in China	202
Section 3 Trend Prediction of Soil Erosion	214
Section 4 Challenges and Tasks of Water Erosion Prediction Model Research in China	221

References	224
Chapter 7 Erosion and Sediment Transport	227
Section 1 Sediment Properties	227
Section 2 The Factors Affecting Sediment Transport Ratio	232
Section 3 Determining Erosion and Sediment Transport Ratio	239
Section 4 The Issues of Sediment Transport Ratio in the Yellow River and the Yangtze River	249
Section 5 The Relationship between Sediment Transport Ratio and Watershed Areas ...	256
References	266
Chapter 8 Soil Erosion Regionization	268
Section 1 Objective and Signification of Soil Erosion Regionization	268
Section 2 Principles and Indices of Soil Erosion Regionization	268
Section 3 The Schemes of Soil Erosion Regionization	271
Section 4 The Characteristics of Different Soil Erosion Regions	274
References	298
Chapter 9 Soil Erosion Control	300
Section 1 Outline	300
Section 2 Current Situations of Soil Erosion Control and Typical Experiences	306
Section 3 Soil Erosion Control Planning and Measures	319
Section 4 Effects of Soil and Water Conservation on Surface Runoff Resource	335
References	341
Chapter 10 Development Strategies of Soil Erosion Science	343
Section 1 Retrospections and Progresses in Soil Erosion Science	343
Section 2 Challenges of Soil Erosion Development	352
Section 3 Front Field Layout and One-up Research Domains of Soil Erosion	354
References	357

第一章 绪 论

第一节 几个侵蚀概念的内涵

地表物质的侵蚀与堆积是塑造地球陆地表面形态的两个相辅相成的一对矛盾。在这对矛盾的运动过程中,侵蚀始终是矛盾的主要方面。只有有了侵蚀过程才能出现异地的输移与堆积过程。土壤侵蚀是自然界中一种常见的、普遍的自然现象,因而地表的侵蚀现象及其后效早被人们认识,但是土壤侵蚀真正作为一门学科开始研究始于19世纪后期。“侵蚀”(erosion)一词源于拉丁语 erodere,意为吃掉、挖掉。德国地质学家瓦尔特·彭克(Walter Penck)于1894年首次将“侵蚀”(erosion)一词引入地质学中,用于描述河水作用下地表固体物质的流失和槽谷的形成^[1]。当时的侵蚀研究目的是着眼于地形的宏观发育过程,还算不上是真正的土壤侵蚀研究。作为一门学科的土壤侵蚀研究开始于20世纪20年代,伴随着工业革命开始以后,经济复兴和大规模的农业开发,从而引发了一系列的农业环境问题,才使土壤侵蚀研究应运而生。土壤侵蚀直接或间接地影响到农业生产环境和生物量,由此引起农户的关心和政府部门的重视,从而土壤侵蚀成为专门的研究对象。从那时起,迄今已有近百年的历史,但这门学科的理论体系发展缓慢,与其形成鲜明对照的是随着全球人口不断地增加,导致土壤侵蚀愈演愈烈,尤其发展中国家的土壤侵蚀更为严重,全世界土壤侵蚀面积已达2500万 km^2 ,占陆地面积的16.8%,全球有27%的耕地受到土壤侵蚀威胁^[2]。据联合国开发计划署统计,全世界每年损失可利用土地500万~700万 hm^2 ,流失土壤260亿t。随着世界人口的迅速增长,需要更多的土地提供粮食,为此将不宜粮作的其他用地如林地、草地改为农地,加速了土壤侵蚀。土壤侵蚀防治已成为一个全球性的问题,为此引起广泛的关注。1992年在巴西里约热内卢召开的“环境与发展”大会,签署了《21世纪议程》,土壤侵蚀列入行动计划。由于土壤侵蚀科学是刚刚发展起来的一门新兴的、年轻的边缘学科,同时也由于环境科学的蓬勃发展,人们对土壤侵蚀及其相关环境科学中的环境现象的概念还存在不同的认识,由此直接或间接地影响到学科的深入发展和土壤侵蚀环境治理。为此有必要对下面几个与土壤侵蚀相关的概念内涵以及相互间的关系深入认识。

1. 土壤侵蚀与水土流失

“土壤侵蚀”、“水土流失”是水土保持学中的两个重要的术语。目前在我国土壤侵蚀研究领域几乎都习惯用“水土流失”一词,而不太习惯用土壤侵蚀。而在国外则刚刚相反,都是用土壤侵蚀,而几乎很少用“水土流失”这一术语。水土流失与土壤侵蚀是何种关系,已有文章论述^[3~7]。但多数学者都认为将土壤侵蚀与水土流失合二为一是不妥的,必须充分地认识到水土流失这一术语是在我国黄土高原这样一个特定环境条件下产生的。客观地说,水土流失与土壤侵蚀之间既有相同之处,又有区别之处;在水力侵蚀区,土壤侵蚀与水土流失没有多少本质的差异和相互抵触之处;而在其他营力作用侵蚀区,如风

蚀区的风蚀,把风蚀称之为土壤侵蚀,这是很好理解的,而把风蚀称之为水土流失就不太合适了,因为这一自然现象中根本就不存在水的流失问题;同样重力侵蚀也是如此,将重力侵蚀称之为广义的土壤侵蚀也是可以理解的,但把重力侵蚀称之为水土流失也不太好理解。由此可见,在我国广泛地用水土流失替代土壤侵蚀一词是不太合适,混淆与模糊了相关自然现象的差异性。总之,我国土壤侵蚀与水土流失使用是比较混乱的,如两次土壤侵蚀普查,而不说两次水土流失普查;但发布土壤侵蚀普查结果时,宣布我国水土流失面积是多少,而不是土壤侵蚀面积是多少。

早期的土壤侵蚀是专指经过生物作用,有过成土过程的地表土壤物质的流失。而现在无论是土壤学家所指的土壤侵蚀,还是地理学家、水利学家、农学家、林学家或其他部门的学者所指的土壤侵蚀,几乎统统是指广义的土壤侵蚀,即包括未经过生物作用的成土过程的母质在内的所有地表物质的侵蚀。“土壤侵蚀”一词已为地学、生物学和水利学界广泛地应用,但是学术界对这一词的基本含义存在不同的认识,有的甚至存在截然不同的理解,《中国大百科全书》水利篇和农业篇是这样定义土壤侵蚀的:“土壤及其母质在水力、风力、冻融或重力等营力作用下,破坏、剥蚀、搬运和沉积过程”。地理篇又是这样定义的,“侵蚀是外营力对地表冲刷、磨蚀和溶蚀等作用的总称;外营力包括流水、冰川、波浪、潮流、海浪和风等”^[8-10]。在原苏联和东欧各国的有关文献中,侵蚀是指水体对土壤和岩石的破坏过程;这个过程包括雨滴对固体物质的直接机械破坏和水体沿槽床运动冲刷,而且还包括水流对物质的搬运和输移,最终堆积,又称侵蚀过程,同时把水的溶蚀和风的吹蚀现象也归属于土壤侵蚀范畴^[11]。英国《大不列颠百科全书》(1980年版)把侵蚀解释为“破坏和塑造地表特征的全部过程”,并把风化过程也包括在侵蚀条目中。同样,R. 拉尔等也认为“侵蚀”这一术语通常作为描述地表风化的综合术语^[12]。前者把侵蚀产沙、泥沙输移和沉积过程统统地归结于侵蚀过程,无形之中扩大了土壤侵蚀的研究领域,把泥沙运动学和泥沙沉积学都纳入侵蚀学中。事实上至今很少有土壤侵蚀研究者在研究侵蚀的同时又研究泥沙的输移和泥沙的堆积过程,更何况泥沙输移和泥沙沉积都有不同的运动过程和运动机理,也都是分别为不同学科的研究对象。英国《大不列颠百科全书》的土壤侵蚀定义首先是混淆了风化与侵蚀的关系,其次是不适当地夸大了侵蚀作用。侵蚀与风化是两个不同的作用过程,风化是指物质在外力作用下,包括温度变化、入渗水的运动、化学作用和生物作用下,地表物质的物理及化学特性发生变化,如粒度变化、空隙度变化、结构变化和某种化学成分的变化如化学元素的迁移等;但无论怎样变化,都仅仅限于物质内部理化性质的变化,物质始终没有发生位移。风化强烈的物质容易遭受侵蚀,但毕竟还不是侵蚀,因为没有发生物质移动。这一认识,还不适当地夸大了侵蚀在地表形态塑造过程中的作用。地球陆地表面形态是极其复杂的,不同的形态类型几乎有着不同的营力作用过程。不可否认,侵蚀是塑造地表形态的重要过程,但毕竟是一种形态外营力过程,而不是全部形态过程。地球陆地表面不但存在大面积的侵蚀、剥蚀形态,而且也还有大面积的堆积形态、溶蚀形态、地球内力作用形态、生物作用形态。因而不能把侵蚀理解为塑造地表形态的全部过程。这一观点,实质也是将侵蚀定位于土壤及其母质在外力作用下的剥蚀、搬运和沉积过程。

国际上一些著名的土壤侵蚀学家对侵蚀的内涵都有过自己见解,如 V. A. 范诺尼的侵蚀定义,是在水和风的作用下,岩石颗粒的分离和移动;W. G. 莫尔认为侵蚀是各自然

力对地表的损毁过程;N. W. 哈德逊认为,侵蚀是一种夷平过程,使土壤和岩石颗粒在重力作用下发生移动、滚动或损失,风和水使颗粒变松和破碎的主要动力^[13-15]。这三位学者都认为侵蚀是外动力(主要是水和风)对地表物质的分离和破坏过程,而实际情况证实,仅仅考虑外动力是不够全面的,内营力也是促使侵蚀的主要营力之一。内营力对侵蚀的影响表现在两方面:一是直接作用;二是间接作用。前者如地震作用形成的滑坡、崩塌;后者如地形势能增大,可以助长其他侵蚀影响因子的作用。在现代土壤侵蚀过程中,人的巨大作用也不容忽视的。曾有人这样强调过人在侵蚀中的作用:“面对当前的历史事实,不能再把土壤侵蚀简单地看成是水、风及斜坡重力的地质输移;而应把土壤侵蚀看成是由人为不合理活动造成的原因由植被的过程破坏而导致原有的良性生长系统的解体,由此派生出的灾难性的地质输移”^[16]。显而易见,在当今人与自然矛盾激烈的社会中,强调人在土壤侵蚀中的作用是十分必要的,但因此而不适当地把当今的土壤侵蚀统统地归咎于人为作用,这也是不适宜的。

我国土壤侵蚀学者陈永宗在分析国内外不同学者对土壤侵蚀内涵认识的基础上,他认为土壤侵蚀的确切含义是:地表物质(岩石和土壤)在外营力作用下的分离、破坏和移动。这里所说的外营力包括各种自然营力(如水、风、重力等)和人为作用^[17]。在分析与概括众多学者对侵蚀内涵的理解基础上,作者认为陈永宗对侵蚀内涵理解是恰当的,较全面地反映出侵蚀的实质,不足之处是侵蚀营力中忽视了内动力。相对比较完整的侵蚀内涵是:地表物质在内外营力(包括人为力)作用下产生脱离母质的分离^[18]。这里强调了内力和脱离,特别是“脱离”,目的在于既很好地地区别风化过程,又明确了侵蚀营力的完整性。如果只是简单地提出物质的分离是不全面的,如岩层的节理、裂隙都存在局部分离,但都没有与母质完全脱离,因而这些现象仅仅是风化过程,都不能称之为侵蚀。所谓产生侵蚀,地表物质不但要脱离母质,还要产生位移;至于位移的距离可长可短,如雨滴溅蚀搬运距离以厘米计,而径流冲蚀产生的泥沙可以搬运到很远的下游,黄土高原的侵蚀泥沙由黄河水流输送到渤海,长江上游的侵蚀泥沙可以输送到黄海与东海。

2. 自然侵蚀与加速侵蚀

自然侵蚀是指在不受人影响的环境平台上,自然营力对地表作用产生土壤物质脱离母质的现象。自然侵蚀又称之为常态侵蚀,或是地质侵蚀。自然侵蚀的发生和发展也是自然侵蚀影响因素相互作用和相互制约的结果。自然侵蚀在自然界比比皆是,只要具有一定势能的坡面都具备侵蚀的发生、发展条件。地表陆地形态中,无论是山地还是丘陵,甚至平原都无不打上侵蚀的烙印。地球陆地的自然侵蚀是一个长期的地质过程,陆地上大范围、大厚度的沉积岩,无论是陆相沉积还是海相沉积,以及一切构造盆地内的巨厚松散沉积物都有力地证明地球上地质时期的自然侵蚀始终是存在的。但自然侵蚀的速度是缓慢的。据 A. 拉普(A. Rapp)估算,在卡尔吉瓦格山地陡崖后退速度是 5m/万年至 10m/万年;卡纳(N. Caine)对科罗拉多落基山的估算是 7.6m/万年;托思(Thorn)对落基山前山的雪下侵蚀作了观测,经推算表明,形成一个中型雪蚀洼地需要 50 万年^[19]。由此可见,自然侵蚀的速率是很小的,而且不同的地表组成物质、不同地表形态、不同的生物气候带,自然侵蚀量都存在差异。干旱半干旱地区的侵蚀量一般要大于半湿润地区,更大于湿润地区。如海南岛尖峰林的自然侵蚀量是 $24\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[20],而子午岭林区的自然侵

蚀量是小于 $100\text{t}/(\text{km}^2 \cdot \text{a})$ ^[21]; 四川盆地琼江流域第四纪的平均自然侵蚀速率为 $0.2\text{m}/\text{ka}$, 重庆地区第四纪侵蚀速率为 $0.13 \sim 0.16\text{m}/\text{ka}$ ^[22]。

与自然侵蚀相对应的是加速侵蚀。人类社会出现以后, 大部分地区的土壤侵蚀则在自然侵蚀的基础上叠加了不合理的人为经济活动影响, 人为对自然生态平衡的破坏而加速了土壤侵蚀过程, 增强了侵蚀强度, 这就是所谓的加速侵蚀。不同的学者对加速侵蚀的理解不尽相同, 如有些土壤侵蚀学者认为表土层中的冲刷不超过土壤形成过程中腐殖质积累的那种侵蚀为正常侵蚀; 而加速侵蚀则为土壤形成过程中腐殖质的积累抵偿不了其冲刷流失, 即土壤的天然肥力不断下降的那种侵蚀, 称之为加速侵蚀^[23]。我国学者唐克丽认为, 凡是有过人类活动的地区产生的侵蚀都是加速侵蚀^[24]。所谓加速侵蚀顾名思义是指侵蚀速率超过自然侵蚀速率的侵蚀, 或者侵蚀速率随着时间推移逐渐增强的那种侵蚀, 加速侵蚀又可分为自然加速侵蚀和人为加速侵蚀^[25]。在无人为因素影响的自然界(如原始森林)土壤表面的水力侵蚀、沙漠戈壁地区的风力侵蚀、高山亚高山地区的冻融侵蚀, 均属上述的自然侵蚀。这些区域的土壤侵蚀在正常情况下只有波动性变化, 而无强弱的趋势性变化, 只有在抗蚀因素或者侵蚀因素任一方面发生变化时才会引起侵蚀强度的变化, 当侵蚀力增强, 或者抗蚀力减弱, 引起自然侵蚀趋势增强, 这种侵蚀为自然加速侵蚀。自然加速侵蚀是指自然界本身由于某种条件的变化而引发的侵蚀量增加; 这些条件的变化有突发性的, 也可是缓慢的。前者如大型滑坡、火山活动、森林火灾等都可以引起侵蚀的加剧; 后者如沟头的溯源发展和横断面的拓宽, 侵蚀临空面的增加也都能引起总侵蚀量的增加。人为加速侵蚀是指在自然侵蚀的基础上叠加了人为作用, 这种人为因素的影响使抗蚀力减小而出现侵蚀量的增加, 如植被的破坏、土地开垦等都能促使侵蚀发展。

自人类历史社会以来, 自然界的自然侵蚀和人为加速侵蚀并不是一成不变的, 在许多地方是相互转化的。即原来是属自然侵蚀的区域, 由于加入人类活动, 如垦荒、过度地破坏森林, 都能使自然侵蚀发展为人为加速侵蚀。当停止人类不合理的经济活动, 并加以适当的防治措施, 植被得以逐渐恢复, 到适当程度以后, 地表的加速侵蚀就可以逐渐恢复到自然侵蚀。子午岭就是自然侵蚀发展到加速侵蚀, 再由加速侵蚀演化到自然侵蚀, 侵蚀互动过程的一个典型例子^[26, 27]。但必须明确一点, 在地球上所有自然侵蚀的区域在人为作用下都可以发展成人为加速侵蚀; 相反, 人为加速侵蚀不一定都能恢复到自然侵蚀过程, 至少是很难或者需要漫长的时间过程。这是因为有些地区自然侵蚀环境是可以逆转的, 有些地区相对是不可逆的。一般在干旱半干旱地区自然环境的恢复是困难的; 而在湿润和半湿润地区自然环境的恢复是可以做到的, 但在这样的地区虽可在短时间内使加速侵蚀恢复到自然侵蚀, 而生物多样性的恢复则要经过漫长的时间过程。人为加速侵蚀是当今世界上普遍关注的环境问题, 也是人类控制侵蚀的主要对象和任务。就目前我国土壤侵蚀形势分析, 湿润与半润湿地区由现在的加速侵蚀恢复到自然侵蚀, 在不太长的时间内(短的 2~3 年, 长的 4~5 年)完全是有可能的, 只要加大治理力度; 而在半干旱地区则要费尽较大力气, 也不一定能够恢复到自然侵蚀。还要明确一点的是: 自然侵蚀不等于容许侵蚀, 有些地方即使恢复到自然侵蚀, 但仍可能是属于有害侵蚀范畴, 其侵蚀量仍然大于容许侵蚀量。

3. 容许侵蚀

自然界具有一定势能条件的地面, 在内外营力作用下, 一旦抗蚀力小于侵蚀力时总是

要产生地面的土壤侵蚀的,但同时陆地表面在生物作用下也要不断地产生新的土壤。因此对具有一定坡度的绝大部分地区来说,地表土壤的流失和地表新的土壤的生成过程始终是同时并存的。但是无论有无加速侵蚀存在,土壤的生成速率和土壤的侵蚀速率不可能始终是保持平衡的。当土壤的流失速率大于土壤的生成速率,那么地表的熟化土壤层将逐渐减薄,直至完全消失。我国南方大片的石灰岩山地的裸岩区就是一例。相反如果土壤的流失率小于土壤的生成率,土层则越来越厚,如在自然保护比较好的地区,或者天然植被保存好或植被恢复好的区域。在自然界只有当土壤的流失量和土壤的生存量相等时,才能保持地表土壤层的厚度不变。这样条件下的土壤的流失量被称之为土壤的容许侵蚀量。研究土壤容许侵蚀量有重要的意义,它能够较好地说明自然与人为侵蚀发展中的对比关系,判断人类经济活动对土壤使用的合理度,同时可以判断土壤侵蚀的危险程度,为水土流失的综合防治提供科学标准,为制定相关的法律法规提供理论依据。

容许侵蚀是在人为加速侵蚀发生后出现的又一新的土壤侵蚀概念。什么是容许侵蚀,各家的理解不完全相同,概括起来有两方面的认识:一种是从成土速率和流失速率比较确定容许侵蚀量;还有一种是从土壤有机质和养分的流失对作物生长是否产生影响的角度出发来确定容许侵蚀量。前者实际上是从土壤发生学角度出发,通过侵蚀速率与岩石或其他母质的风化物在生物作用下土壤的生成速率的对比关系确定容许侵蚀量。这种关系可以用图 1.1 表示^[28],假设母岩的风化速率达到土壤的生成速率为 $W(\mu\text{m/a})$,土壤是逐渐风化的,风化到地表面时,风化物成壤只是原来的一部分 P_s (体积分析) 保存下来。土壤侵蚀使地表以 T 速率降低,可溶物质以速度 D 移动。如果把土壤作为一种可更新的资源,必须达到下面的平衡关系

$$W = T + D \tag{1.1}$$

$$T = W \cdot P_s \tag{1.2}$$

式(1.1)表示每年基岩母质总的风化量,式(1.2)表示侵蚀量应与母质转化成熟土壤数量相平衡;式(1.1)、式(1.2)联解,获得允许流失量 T 值计算为

$$T = D \left(\frac{P_s}{1 - P_s} \right) \tag{1.3}$$

式(1.3)中 T 是容许侵蚀量的理论值(m/a), T 值取决于母质风化的土壤转化率与土壤中可溶物质的淋失量。以上仅仅是容许量的理论推导值,在实际中是很难求得真正的容许

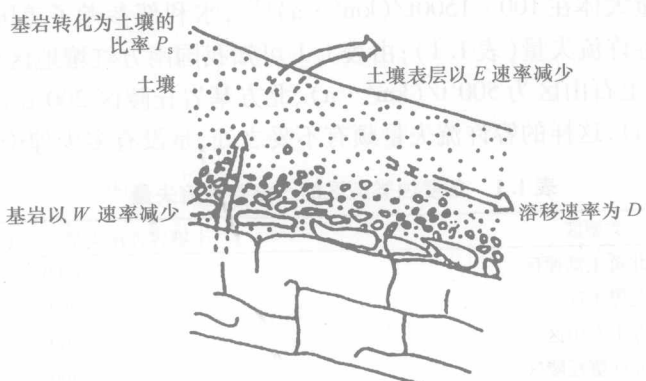


图 1.1 侵蚀和风化成土作用平衡图

流失量;因为式中 P_s 如何求得,至今也还没有什么好办法。不同的母质转化率 P_s 是不相同的,阮伏水等人研究认为 0.5 ~ 0.9,大区域一般取 0.8^[29]。实际上土壤容许侵蚀量“ T ”是“模糊的”,无全面研究的依据。因为式(1.3)中的 D 与 P_s 都是很难获得的变量参数。这种容许侵蚀量推导模型只有理论上的意义,没有什么应用意义。

当今世界上更多的是以土壤养分的损失和流失与作物生产量的对比关系来确定容许侵蚀量。即在自然状态下,土壤生成过程中的养分积累量与作物生长至成熟吸收的养分达到平衡,这时的土壤流失量即为容许流失量。这一容许流失量概念有明显的不妥之处。作物生长期要吸收土壤中的养分与土壤养分的流失是两个完全不同性质的养分损失。作物吸收养分是植物生理需要的吸收,并不存在土壤流失。一个长期耕作的土壤如不给予不断地补充养分,不管有无土壤侵蚀产生,土壤中的养分总是递减的,递减程度与作物品种、生长期有关系。由此可见,通过养分对比是无法获得容许侵蚀量。只有当土壤生成过程中养分的积累量等于补充作物生长吸收量,也就是土壤中的养分保持不变,此时的土壤流失量在理论上就是容许流失量。

除上述两种确定容许流失量外,在原苏联有学者利用考古法确定埋藏土的成土速率,如在最近的 750 ~ 780 年中,亚速海北部沿岸黑土层厚度增加了 21 ~ 22cm,可见这一增长速度为 0.28 mm/a 或 35.0 t/(hm² · a),那么这一地区的土壤的最大容许侵蚀量是 0.28 mm/a 或 35.0 t/(hm² · a)。通过这个区域的成土速率,也可以用于确定与此条件相似区域的土壤容许流失量为 0.28 mm/a 或 35.0 t/(hm² · a)^[30]。

迄今为至,无论采用那种方法,都未能获得有科学依据的土壤容许流失量。这是由于土壤的成土过程是一个极其缓慢的过程,同时各地的成土条件、影响侵蚀的因素都不尽相同,理论上各地的容许流失量也不相同。正如上述,至今还没有一个有效的容许流失量的界定法,可以说当今所有使用的容许侵蚀量都是经验值。因而,世界各国所采用的容许流失量值都不尽相同,如美国在 20 世纪 60 年代确定的农地的容许流失量是 225 ~ 115t/(hm² · a),草地 500t/(km² · a),德国是 450 ~ 1120t/(km² · a)^[31];而早在 1938 年 M. H 扎斯拉夫斯基就断言,土壤容许流失值不得高于 0.2 ~ 0.5t/(hm² · a) (200 ~ 500 t/(km² · a)^[32]。一般来说,对土层厚、渗透性好,排水通畅的土壤(如厚层的粉砂土)每年每公顷的容许流失量为 10t ~ 11t,而土壤层薄、底土差的土壤容许流失量 3 ~ 5 t/(hm² · a),其他土壤在两个限量之间^[33]。在我国也有不同的估算值,如陕北黄土丘陵的土壤容许流失量大体在 100 ~ 1500t/(km² · a)^[34],水利部参考了美国的标准制定了我国区域性的土壤容许流失量(表 1.1);由表 1.1 可知我国南方红壤地区允许流失量为 500 t/(km² · a),西南土石山区为 500 t/(km² · a)、北方基岩丘陵区 200 t/(km² · a)、黄土高原 1000 t/(km² · a),这样的容许流失量颇有不妥之处,是没有多少理论依据的。

表 1.1 各侵蚀类型区的土壤容许流失量^[35]

类型区	土壤容许流失量 /[t/(km ² · a)]
西北黄土高原区	1000
东北黑土区	200
北方土石山区	200
南方红壤丘陵区	500
西南土石山区	500

4. 土地荒漠化、土地退化与土壤侵蚀

进入 20 世纪 80 年代,尤其是 1992 年巴西里约热内卢世界环境发展大会以后,世界各国对环境保护与治理都更加重视了,随之反映全球环境变化和环境质量下降的信息也多起来。世界环发大会以后,我国也拟定了《中国 21 世纪议程》行动纲领,十分重视吸取发达国家经济发展过程中的环境变化的经验教训,注意经济发展与环境保护的关系,充分认识到保护环境的重要性和环境资源利用过渡的危害性。为此有关的学者不断地向社会敲起警钟,常常在报刊杂志上发出拯救赖以生存的土地环境的呼声,由此出现土地退化、土地荒漠化、土地沙漠化、土地沙化和土壤侵蚀等用于描述土地环境质量下降的科学术语。在我国这些方面的自然环境事件尽管有交叉,但都有其独立性,对它们调查、研究、规划和管理又归属于不同的行政部门和研究领域。不知什么时候开始,各自的研究领域都扩大了,在报刊杂志上常见这几组数据,我国的土地退化面积 367 万 km^2 ,近期改为 262 万 km^2 ;我国土地荒漠化面积 267.4 万 km^2 ,占国土面积的 27.9%,土地沙化面积 174.3 万 km^2 ,占国土面积的 18.2%,我国土壤侵蚀面积(水土流失) 367 万 km^2 (第二次土壤侵蚀普查面积是 355 万 km^2),占国土面积的 38%,如果考虑到冻融侵蚀,全国轻度以上的土壤侵蚀面积是 492 万 km^2 ,占国土面积的 51.3%。这几组数据之和超过国土总面积,显然这是不可能的,它们之间到底是什么关系,这不但使一些非专业人员不得其解,就是专业人员也不好理解。单从这几组数据总和上看,它们不应该是各自完全具有独立意义的名词。是不是这样,下面做一些分析,辨识它们确切的内涵与相互间的关系,这对科学地评价现阶段的环境态势是很有意义的。

1) 土地荒漠化

土地荒漠化作为一个生态环境问题开始引起重视是由于 20 世纪 60 年代末、70 年代初非洲撒哈拉地带连续干旱,加速了这一带疏林草原土地的沙化。这种土地沙化的现象,不仅在非洲,在世界其他地区也很严重。根据联合国统计资料,目前全世界受到荒漠化影响的面积达到 3834 万 km^2 ,涉及近百个国家与地区。尽管荒漠化已成为举世瞩目的环境问题,然而什么是荒漠化至今仍是众说纷纭,起初此环境问题称之沙漠化,现在称之荒漠化,它们到底是什么关系也没有一个统一认识。1990 年 2 月联合国环境署在内罗毕召开的荒漠化评估会议上,明确提出“荒漠化即由于人类不合理的活动造成干旱、半干旱及其有干旱的湿润地区的土地退化”^[37,38]。

荒漠化应该与荒漠是紧密联系的,但两者是不同范畴的两个概念,尤其不是传统意义上的荒漠化概念。从自然地理角度出发,荒漠化是介于草原与荒漠之间,是干草原生态环境退化过程中的生态环境现象;而荒漠则是这一环境退化过程所导致最后的,或顶极状态,是一种地理环境实体。现在的荒漠化完全不是自然地理意义上的荒漠化,而是把在干旱、半干旱和部分半湿润地区的脆弱生态环境条件下,由于人为过度的经济活动,破坏了生态平衡,使原非荒漠地区出现了以风沙活动为主要特征的生态景观视为荒漠化。当前也有把流沙移动、风蚀和水蚀形成的石质地表、流水冲刷形成的侵蚀劣地以及盐碱化、水渍化等都称之为荒漠化^[38]。

由于什么是荒漠化土地还未形成共识,因而我国荒漠化的面积最早的数据是 367 万

km²,最近国家林业局公布的数据是262万 km²,占国土面积27.2%^[38];朱震达等认为,目前我国荒漠化土地面积为153万 km²,占国土面积的15.9%^[39]。

2) 土地退化

联合国环境署全球监测系统及国际土壤情报中心把土地退化为两大类:第一类是由于风力和水力侵蚀作用所造成的土壤物质转移;第二类是土壤本身的物理及化学作用所造成的土地退化。这一划分仅说明土地退化的原因,并没有说明什么是土地退化。所谓土地退化是指土地理化性质、生物学特性恶化,土壤肥力下降,生物量下降和物质流失过程。由此可以看出,土地退化本身含有很强的时间概念。所谓退化不退化是通过不同时段的土地质量和数量的比较而获得的,如沙漠、戈壁、雪原及一些石漠区,在一个相当长的时期内质量和数量就是如此,因此就不能纳入退化的土地。确切地说,在比较时段内,土地的后期质量(数量)明显地比前期下降(减少)的土地环境为土地退化。土地退化包括:水土流失、风蚀沙化、草地退化、盐碱化、土壤贫瘠化和土壤污染等多种表现。造成土地退化的原因既有自然的,也有人为的,但当前主要原因是人为的。由于土地退化的概念不是十分明显,当前我国退化土地的面积众说不一,有将土壤侵蚀面积367万 km²当作土地退化面积,也有将荒漠化面积262万 km²当作土地退化面积。

3) 土壤侵蚀与土地荒漠化的关系

作为广义的土壤侵蚀在空间上是没有地域性的,但不同类型的侵蚀空间上是有地域性差异。如水力侵蚀主要发生在湿润半湿润和半干旱地区,风力侵蚀主要发生在干旱地区,冻融侵蚀发生在高纬度和高海拔地区。荒漠化的发生是一个区域特点的自然景观,它是干旱半干旱区的外营力作用下破坏原有生态平衡引起环境质量下降,而且难以恢复的一种自然现象。在湿润地区尽管也有类似荒漠景观出现,但发生的范围很小,而且恢复相对容易。只有在干旱半干旱地区,大于容许侵蚀量的水力侵蚀才具有引起土地荒漠化的可能,其简单过程是:土地被覆破坏→风力侵蚀→土地荒漠化。由此可见,土壤侵蚀(风蚀)可引起荒漠化,荒漠化又可以促使风力侵蚀加剧。但是干旱半干旱地区的荒漠化并不都是由风力侵蚀引起的,如盐碱化是荒漠化的表现之一,它不是由风蚀,而是地下水引起的。土壤侵蚀与土地荒漠化虽有因果关系。但荒漠化的存在,不一定就是风力侵蚀结果。

4) 土壤侵蚀与土地退化的关系

土壤侵蚀与土地退化发生空间没有地域差异之别,是词义不同的名词,它们之间既有联系又有区别。土壤侵蚀可以引起土地退化,如黄土高原、南方红土丘陵、东北的黑土漫岗地等,由于强烈的水蚀作用,招致了严重的土地退化,但不是荒漠化。干旱半干旱地区的风蚀作用,不但能引起土地退化,还会形成荒漠化;冻融侵蚀引起的土地退化和荒漠化都不明显。土壤侵蚀可以引起土地退化,相反土地发生退化并不都是由于土壤侵蚀引起;因为造成土壤危害的原因是多种多样的,土壤侵蚀只是其中之一。如南方热带的雨林和季雨林破坏以后取而代之的是热带草原,或者灌丛草原。这样的土地侵蚀量是绝对不会增加,但是植被的林相、林种衰退,由此引起土地生物生长量的减少,生物多样性的变化。