

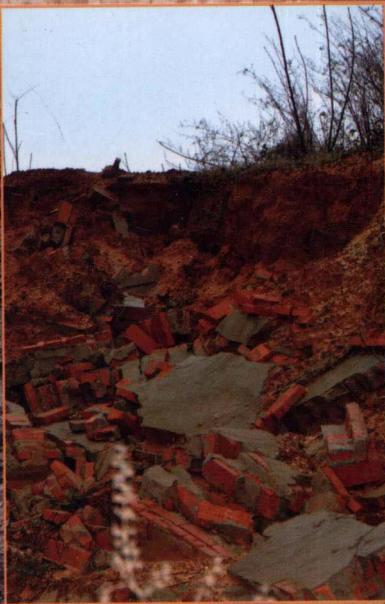
土壤环境科学与工程

Soil Environmental Science & Engineering

赵 焱 等◎编 著



北京城市土壤



海南岛砖红壤



西伯利亚黑钙土



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

土壤环境科学与工程

Soil Environmental Science & Engineering

赵 焱 等◎编 著



北京城市土壤

海南岛砖红壤

西伯利亚黑钙土



北京师范大学出版集团
BEIJING NORMAL UNIVERSITY PUBLISHING GROUP
北京师范大学出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

土壤环境科学与工程 / 赵焯等编著. —北京: 北京师范大学出版社, 2012.11

ISBN 978-7-303-14158-6

I. ①土… II. ①赵… III. ①土壤环境 IV. ①X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 019689 号

营销中心电话 010-58802181 58805532
北师大出版社高等教育分社网 <http://gaojiao.bnup.com.cn>
电子信箱 beishida168@126.com

TURANG HUANJING KEXUE YU GONGCHENG

出版发行: 北京师范大学出版社 www.bnup.com.cn

北京新街口外大街 19 号

邮政编码: 100875

印刷: 北京中印联印务有限公司

经销: 全国新华书店

开本: 170 mm × 230 mm

印张: 37

插页: 2

字数: 665 千字

版次: 2012 年 11 月第 1 版

印次: 2012 年 11 月第 1 次印刷

定价: 55.00 元

审图号: GS (2012) 1950 号

策划编辑: 胡廷兰

责任编辑: 胡廷兰

美术编辑: 毛佳

装帧设计: 天泽润

责任校对: 李菡

责任印制: 孙文凯

版权所有 侵权必究

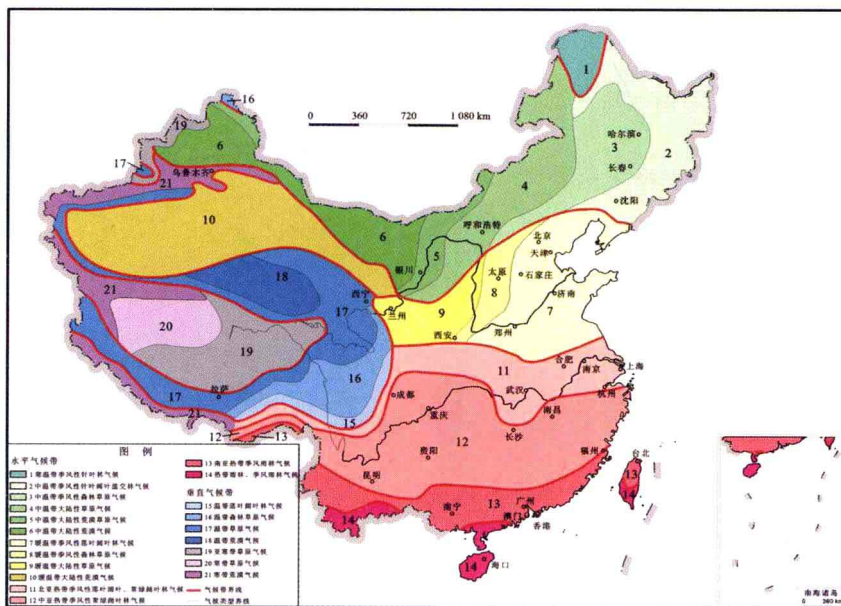
反盗版、侵权举报电话: 010-58800697

北京读者服务部电话: 010-58808104

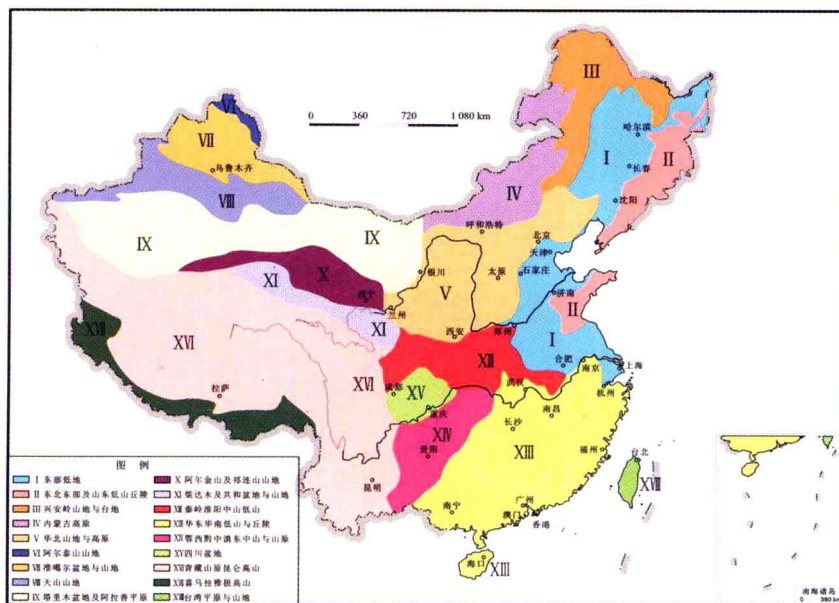
外埠邮购电话: 010-58808083

本书如有印装质量问题, 请与印制管理部联系调换。

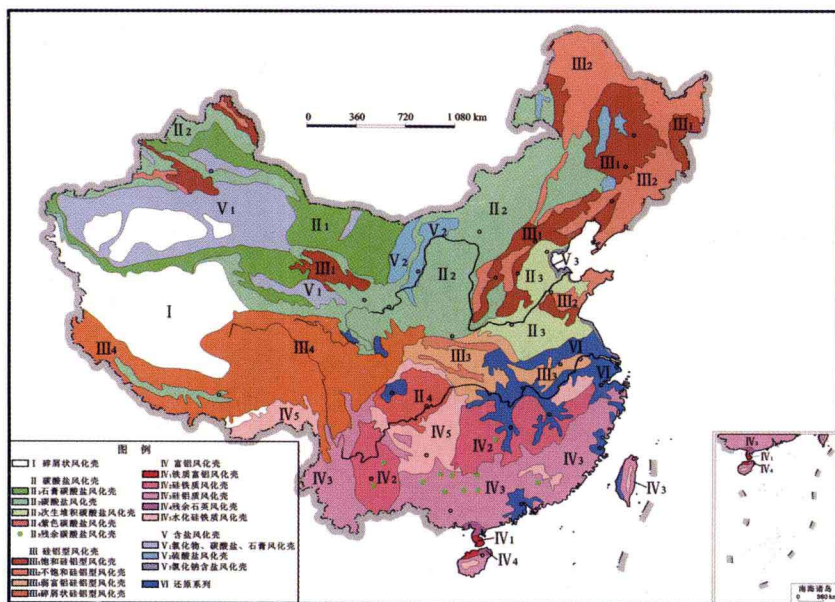
印制管理部电话: 010-58800825



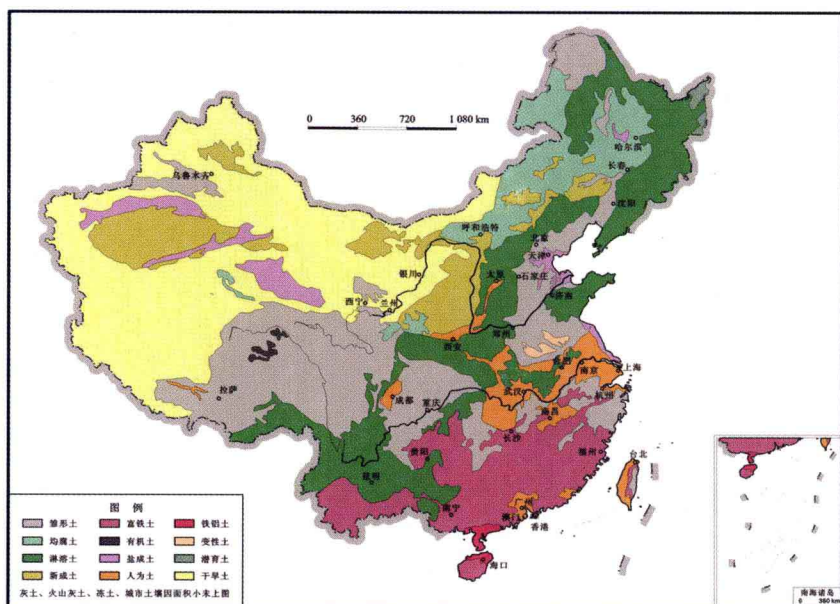
彩图 1 影响土壤物质组成和性状的气候类型(中国)



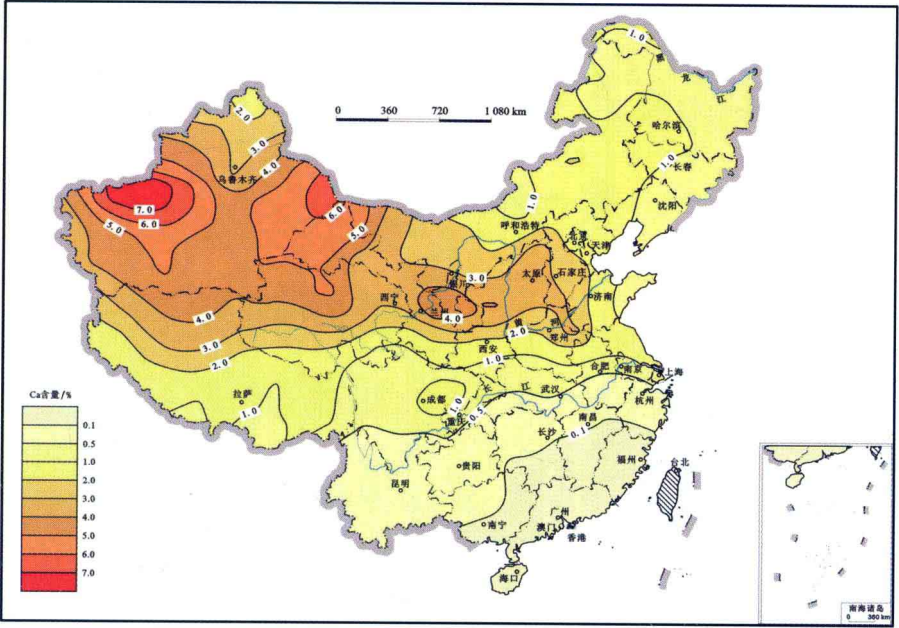
彩图 2 影响土壤物质组成和性状的地貌类型(中国)



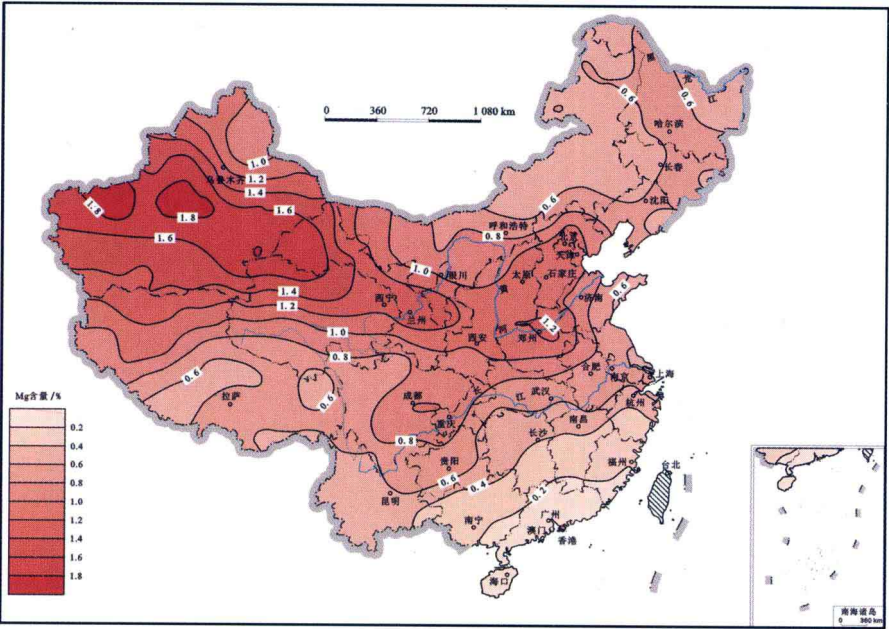
彩图 3 中国地表风化壳类型图



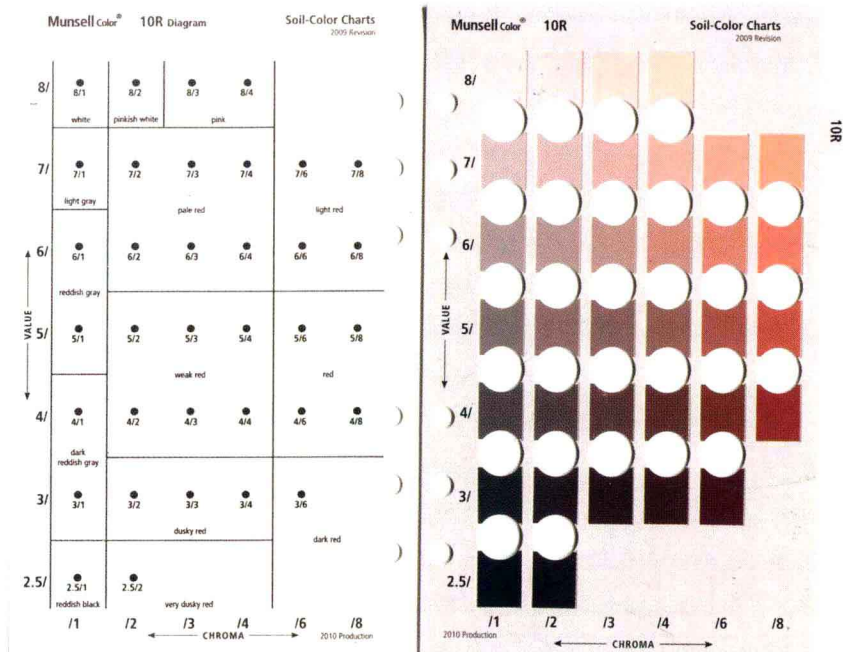
彩图 4 中国土壤系统分类单元——土纲分布图



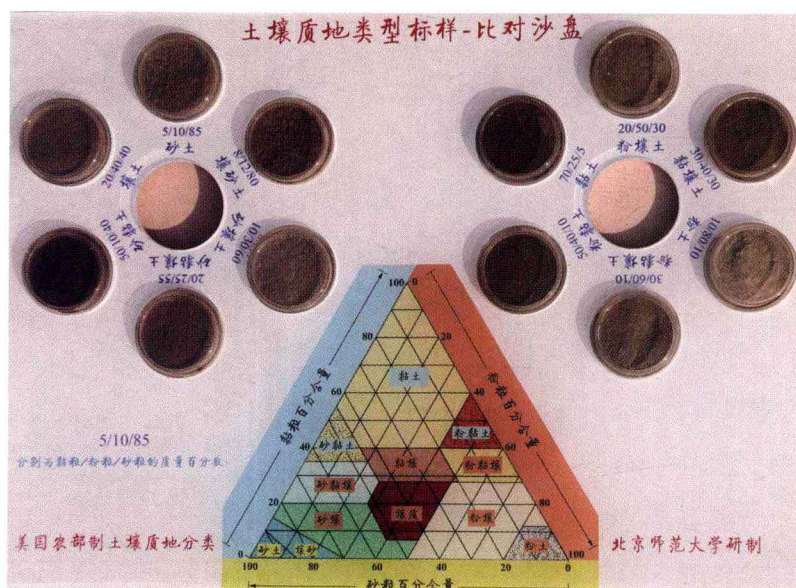
彩图 5 中国土壤表层中 Ca 含量等值线图(台湾资料暂缺)



彩图 6 中国土壤表层中 Mg 含量等值线图(台湾资料暂缺)



彩图 7 蒙氏土壤颜色比对卡 (部分)



彩图 8 土壤质地类型标样比对沙盘

《土壤环境科学与工程》

编著委员会

学术指导 李天杰(北京师范大学教授)
龚子同(中国科学院南京土壤研究所研究员)
胡存智(国土资源部副部长、北京师范大学兼职教授)
张凤荣(中国农业大学教授)

编委会 (按拼音排序)

白中科	陈志凡	戴 军	段建南
范树印	高 博	贾 利	孔祥斌
李 锋	李 强	李晓秀	李艳霞
刘希涛	马建华	马俊杰	门明新
南忠仁	单 平	孙 可	王昌佐
吴克宁	许 皞	杨汝坤	岳建华
郎文聚	张利田	张亚立	赵 烨
赵小敏	郑云有	周 旗	

序

土壤是覆盖在陆地表面能够生长植物的疏松层，也是陆地生态系统的重要基质，更是人类社会生存发展过程中不可或缺的自然资源和环境要素。土壤学作为自然科学中的一门独立的学科，经过上百年的发展已形成了较为完善的学科体系。但在 20 世纪 80 年代土壤科学与教育经济投入陷入了国际性的停滞，土壤学研究在教学队伍大量流失或转行，随后便出现了 Dennis Greenland 教授所述的“*Soil scientists have also been frustrated as their advice has gone apparently unheeded*”的窘境。近些年来在全球性资源环境压力与可持续发展需求的推动下，人们不仅关注土壤在大农业的食品、饲料、纤维和生物质燃料生产中的核心作用，而且更加关注土壤在全球变化、环境自净与物质循环、生态服务功能和水资源调节中的机能，并使土壤科学走向了全面复兴的新时代。

北京师范大学环境学院赵焯教授在学习与继承前辈们土壤地理学和环境地学思想的基础上，结合长期教学、科学研究的实践与经验，组织相关老师编著了《土壤环境科学与工程》。本书阐述了土壤环境科学的基础理论；阐明了土壤环境中主要污染物的迁移转化规律，以及人类活动驱动下土壤退化的机理；结合研究实例分析了土壤环境污染修复、土壤退化防治、土壤整治与培肥的工程技术措施，以及土壤环境调查技术方法。教材在内容设计上充分吸收融汇国内外最新研究成果，从空间整体性—时间持续性—阶层协调性，以及土壤环境修复—土壤资源管护方面，系统地介绍了土壤环境系统中物质能量的交换规律；采用陆地生态系统类型与土壤系统分类单元——土纲相衔接方式，阐述主要土壤类型的物质组成、诊断特性及其空间分布规律，展示了作者扎实的学术功底以及教材的创新之处。

《土壤环境科学与工程》的出版，对推动我国土壤环境科学与工程治理的教学、科研与实践具有重要作用。当然，我国的土壤环境科学与工程治理现在还面临许多重大问题的挑战而需要深入研究和应对。我们期望有更多的同仁和学者关注和研究土壤环境科学与工程中的科技问题，为保护好我国宝贵的土地资源作出重要贡献。

中国工程院院士
中国环境监测总站研究员

魏复盛

2012 年 5 月 18 日

前言

土壤是地球陆地表层一个具有众多宏观与微观劳动者的活性工厂。在太阳辐射能的驱动下,众多生物促使土壤工厂的运转和土壤环境的演化。如果人类为土壤而劳动,土壤也将为我们人类而工作,即能提升土壤质量的管理措施将会增加未来土壤的生产能力和生态环境服务功能;如果人们泛用土壤,土壤也将危害人类生产与生活。近600多年来,人类对土壤资源先后进行了原始性开发、掠夺性开发和高强度开发,使全球陆地大量土壤物质流失、巨量工业“三废”和农业化学品浸入土壤、成片肥沃土壤被侵占毁灭,导致区域性土壤肥力及生产能力、生态环境服务能力不断衰减,并对全球粮食安全和生态环境安全构成了现实的威胁。中国作为世界农业大国和人口大国,拥有丰富多样的土壤资源,近30多年来中国改革开放使社会经济和人民生活得到了全面的发展,获得了举世瞩目的辉煌成就,然而众多的人口总量、粗放的发展模式、快速的工业化和城市化,使土壤退化和耕地资源紧缺成为社会经济持续发展的重要限制因素,也使土壤环境整治与土壤资源管护成为国土资源、环境保护、农林业、水利、城建等政府管理部门和科教界关注的重要议题。

《土壤环境科学与工程》(Soil Environmental Science and Engineering)正是以土壤这个历史自然体、资源—环境集合体为对象,在综合分析土壤发生发育、物质组成、诊断特性、类型及其空间分布规律的基础上,运用环境科学理论研究主要污染物在土壤环境中的迁移转化规律,运用环境工程的技术探索土壤退化的防治技术方法、被污染土壤的修复技术、土地整治的技术措施、土壤肥力与自净能力的保育工程措施之科学,也是环境科学与工程一级学科中理论性与实践性相互融合的基础性分支学科,其研究之目的是保障土壤的正常生态环境服务功能和土壤生产食品、饲料、纤维、燃料和原材料的能力。依据学科研究目标与认知规律,本书将土壤环

境科学与工程的内容划归为五大知识模块：①基础理论模块，重点阐述土壤及其在地表环境系统和社会经济系统中的地位与功能，土壤环境科学与工程的研究对象、研究内容、研究方法及其学科体系。②土壤环境基础模块，主要阐述土壤物质组成及其诊断特性、土壤与环境的相互作用、土壤发生与土体分异过程、国际土壤分类体系、主要土壤类型的空间分布规律，以及城市土壤物质组成与性状特征、分类及其管护利用。③土壤环境科学理论模块，阐述土壤环境污染及其特征，以及主要污染物在土壤环境中的迁移转化规律。④土壤资源管护与土壤环境整治工程技术模块，阐述重金属污染土壤的修复工程、持久性有机物污染土壤的修复工程、土壤退化的防治工程、土壤肥力与自净能力的保育工程。⑤土壤环境基本技能模块，介绍了土壤环境科学与工程调查方法、土壤环境数据库及土壤环境质量评价方法。

本书是作者在学习和继承刘培桐教授、李天杰教授、王华东教授的环境地学和土壤地理学思想，总结近 25 年来本科生和研究生的土壤地理学、自然地理学、环境学和环境地学等课程的教学实践，并汇总主持完成的多项国家级、校级教学改革研究成果的基础上编写而成的。在学科体系构建、编著方案设计过程中，汇集了国内外相关最新研究成果，经过编委会专家的多途径研讨与指导，由赵焯教授、李艳霞教授、刘希涛副教授、陈志凡副教授、孙可博士和李强博士合作编写完成书稿。

这次编写任务能得以顺利完成，首先需要衷心感谢中国工程院院士魏复盛教授在百忙之中审阅教材文稿，并提笔写序给作者以极大鼓励；国土资源部和环境保护部相关专家给予了热情指导；北京师范大学环境学院院长杨志峰教授、副院长崔保山教授和沈珍瑶教授结合学院教学实践给予了全面的指导；中国科学院南京土壤研究所龚子同研究员、张甘霖研究员、胡文友博士，美国加州州立大学 Gary L 教授，中国疾病预防控制中心辐射防护与核安全医学所徐翠华研究员、吉艳琴研究员、张庆工程师，北京师范大学林春野教授、赵长琦教授、刘全儒教授、张科利教授、李永良高级工程师、呼丽娟老师、张平老师、杜春光助研等均给予了热情的指导；北京师范大学博士生及硕士生王水锋、朱宇恩、张桂香、闫冬、徐东昱、乔捷娟、杨旭、呼红霞、杨明、郑文娟、焦颖、金洁、柳婧、韩莎莎等参与部分工作。作者在科学研究中得到了中国工程院院士曲久辉研究员的热情指导；同时，国土资源部公益性科研项目(No. 201011006-1)、全国耕地质量等级调查与评定、国家 973 计划项目(2007CB407302)和国家级精品课程《环境地学》也提供了广泛的科研与教学实践；北京师范大学出版社领导及胡廷兰编辑给予了大力支持和热情指导，主持初稿的评审工作并全面负责本书的编辑；学校教务处和环境学院都给予了大力支持，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，教材中的错误疏漏在所难免，希望使用本教材的老师、同学和读者给予批评指正。联络信箱：zhaoye@bnu.edu.cn。

赵焯

2012 年 9 月

Preface

Soil is not only a basic element of natural environment, but also an elemental natural resource which is of importance to the survival and development of human society. It is also a key link of interactions between geosphere and biosphere, as well as the target of human labor and the place where social activities take place. During the past 600 years, soil resources have been subjected to primogenial, predatory and high-insensitive exploitation successively, thus resulting in soil nutrients and various elements being eroded dramatically. What's worse, large quantity of land has been contaminated by "three industrial wastes" and agricultural chemicals severely, and the rich soils are being invaded or being destroyed heavily. Consequently, regional soil fertility, production capacity and ecological services ability are degraded, which forms an existential threat to the security of global food and ecological environment, and has become an important limiting factor to the sustainable development of human society. Furthermore, soil environment treatment and soil resource management have been put on the agenda by the international community.

Soil environmental science and engineering is a science, which takes soil — the historical-natural complex and the complex of resources and environment, as a research object and studies soil pathogenesis and development, composition, diagnostic characteristics, structure and function, type and spatial distribution. On basis of these studies, migration and transformation laws of the main pollutants in soil environment,

the prevention and control projects of soil degradation, restoration technologies of contaminated soil, renovation of soil environment and conservation projects of soil fertility and self-purification have also been investigated by using environmental science theory and environmental engineering technologies. This science is also a theoretical and practical basic sub discipline of environmental science and engineering. According to research target and cognitive law, the content of soil environmental science and engineering in this book will be divided into five knowledge modules: ① The module of the basic theory. This part focuses on soil and its position and function in surface environment system and social economy system, the research object, content, methods and subject system. ② The module of soil environment foundation. This part mainly elaborates soil composition and its diagnostic characteristics, the interaction between soil and environment, soil genesis and soil differentiation process, international soil classification system, space distribution of main soil types, and the urban soil composition, properties, classification and its management and use. ③ The module of environmental science theory. This part expounds the soil environmental pollution and its characteristics, the main pollutants and their migration transformation laws in soil environment. ④ The module of soil resource management and soil environment renovation engineering technology. This part elaborates restoration projects of soils contaminated by heavy metals and persistent organic pollutants (POPs), the prevention and control projects of soil degradation and conservation projects of soil fertility and self-purification. ⑤ The module of basic skills of soil environmental science. This part introduces the survey methods of soil environmental science and engineering, soil environment database and methods of soil environmental assessment.

I will be delighted if the scientists, experts, teaching staff and students of various disciplines such as environmental sciences, geography, ecology, agronomy, and land resources management find useful information in this book.

Ye Zhao

zhaoye@bnu.edu.cn

September, 2012

目 录

1 绪论 /1

1.1 土壤的基本概念	1
1.1.1 对土壤认识的历史回顾	1
1.1.2 近代土壤学	2
1.1.3 土壤发生学	3
1.1.4 土壤诊断学	4
1.2 环境系统中的土壤	5
1.2.1 土壤在环境系统中的位置	5
1.2.2 土壤在环境系统中的功能	8
1.3 土壤环境科学与工程	11
1.3.1 土壤环境科学及其研究内容	12
1.3.2 土壤环境工程及其研究内容	13
1.3.3 土壤环境科学与工程的研究方法	16
1.4 思考题	18

2 土壤矿物 /19

2.1 土壤矿物	19
2.1.1 原生矿物	19
2.1.2 土壤矿物形成与转化	22
2.1.3 土壤次生矿物	26
2.2 土壤质地	35
2.2.1 土壤粒级及其性状	35
2.2.2 土壤质地的划分	37

2.3	土壤矿质元素组成	39
2.3.1	土壤矿质元素	39
2.3.2	土壤矿质元素的生物有效性	42
2.4	思考题	45

3 土壤生物及有机质 /46

3.1	土壤生物	46
3.1.1	土壤微生物	47
3.1.2	土壤动物	49
3.1.3	土壤生物的作用	51
3.2	土壤有机质的来源	54
3.2.1	植物供给的有机物	55
3.2.2	动物与微生物供给的有机物	57
3.2.3	人为供给的有机物	58
3.3	土壤有机质的组成	59
3.3.1	土壤有机质的分离方法	59
3.3.2	土壤有机质的主要组成	60
3.3.3	土壤有机—矿质缔合物	64
3.3.4	土壤有机质的动态	66
3.3.5	土壤有机质的矿质化	67
3.4	土壤固相的物理诊断特性	69
3.4.1	土壤结构	69
3.4.2	土壤密度与孔隙度	70
3.4.3	土壤颜色	72
3.5	思考题	73

4 土壤溶液及其诊断特性 /74

4.1	土壤溶液概况	74
4.1.1	土壤溶液的组成	74
4.1.2	土壤水分平衡与全球水循环	76
4.1.3	土壤水分类型	78
4.1.4	土水势	82

4.1.5	土壤水分状况	86
4.2	土壤分散系及其特征	87
4.2.1	土壤分散系的概念及其分类	87
4.2.2	土壤胶体	88
4.2.3	土壤溶液的酸碱性	94
4.2.4	土壤的氧化—还原反应	99
4.3	思考题	102

5 土壤空气及其诊断特性 /103

5.1	土壤空气及其运动	103
5.1.1	土壤空气的来源和组成	103
5.1.2	土壤气体交换过程	104
5.1.3	土壤气体源与汇机制	106
5.2	土壤气体的生态功能	110
5.2.1	土壤气体的农业生态功能	110
5.2.2	土壤气体释放及其全球生态功能	111
5.3	土壤热量状况	114
5.3.1	土壤热量来源与热平衡	115
5.3.2	土壤热学性质	116
5.4	土壤温度状况	118
5.4.1	土壤温度变化	118
5.4.2	土壤温度状况的划分	119
5.4.3	土壤—植物—大气界面能量平衡方程	120
5.5	思考题	122

6 土壤形成过程与土体分异 /123

6.1	影响土壤形成的环境因素	123
6.1.1	道库恰耶夫成土因素学说	123
6.1.2	影响土壤组成及性状的气候因素	125
6.1.3	影响土壤组成及性状的生物因素	129
6.1.4	影响土壤组成及性状的母质因素	132
6.1.5	影响土壤组成及性状的地形因素	134

6.1.6	影响土壤组成及性状的水文因素	137
6.2	土壤与环境的相互作用——成土过程	138
6.2.1	土壤形成过程的实质	138
6.2.2	土壤形成过程	145
6.2.3	土壤有机物质合成、分解与转化过程	148
6.2.4	土壤矿物迁移与转化过程	148
6.2.5	土壤的熟化过程	151
6.3	土壤剖面及其土层形态特征	153
6.3.1	土壤剖面形态特征	153
6.3.2	中国土壤系统分类中的表土层	155
6.3.3	美国土壤系统分类中的表土层	156
6.3.4	中国土壤系统分类中的亚表层	157
6.3.5	美国土壤系统分类中的亚表层	159
6.4	思考题	162

7 土壤分类及其命名 /163

7.1	土壤分类概述	163
7.1.1	土壤分类的一般原理	163
7.1.2	土壤分类的发展	165
7.2	中国土壤发生分类	166
7.2.1	中国土壤发生分类的原则和依据	166
7.2.2	中国土壤发生分类的体系	167
7.3	美国土壤系统分类	169
7.3.1	美国土壤系统分类的主要依据	169
7.3.2	美国土壤系统分类的检索程序	171
7.4	联合国世界土壤图图例单元	172
7.4.1	联合国世界土壤图图例单元	172
7.4.2	联合国世界土壤图图例单元与美国土壤系统分类	173
7.5	中国土壤系统分类	174
7.5.1	中国土壤系统分类的主要依据	174
7.5.2	中国土壤系统分类体系	177
7.5.3	中国土壤系统分类的检索程序	182