

普通高等教育“十三五”规划教材

环境土壤学

第二版

张 辉 编著



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材

环境土壤学

第二版

张 辉 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

《环境土壤学》(第二版)系统阐述了土壤的成因理论,土壤的自然属性,土壤的环境功能,土壤的环境意义和有关化学过程、机理以及土壤污染修复治理中的相关问题等知识,介绍和讨论了当前土壤环境与工程领域污染研究和防治实践中的前沿问题及其动态,具有鲜明的时代特征。全书共分八章,主要包括土壤的成因及基本属性、土壤污染、土壤污染研究中的有关问题、土壤污染防治与修复等内容。每章后均附有相关参考文献以及就本章内容的思考讨论题,便于读者进一步深入研究与学习。

本书可作为高等院校环境科学、环境工程以及与之有关专业高年级学生的专业教材或教学参考书,也可供从事环境科学与环境工程工作的专业人员在相关研究以及工程实践中参考。

环境土壤学

第二版

张辉 编著

图书在版编目(CIP)数据

环境土壤学/张辉编著. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2018. 9
普通高等教育“十三五”规划教材
ISBN 978-7-122-32594-5

I. ①环… II. ①张… III. ①环境土壤学-高等教育-教材 IV. ①X144

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 149704 号

责任编辑: 满悦芝	文字编辑: 陈 雨
责任校对: 王素芹	装帧设计: 张 辉

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市双峰印刷装订有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 19 字数 473 千字 2018 年 10 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 69.00 元 版权所有 违者必究

前言

《环境土壤学》(第二版)是笔者编著的2006年版《土壤环境学》的再版。《土壤环境学》出版后,在十多年的使用过程中,根据来自学生层面以及同行们的反馈意见,并结合自我发现的一些问题和不足,笔者陆续对其进行了修改和补充完善,形成了现今呈现给大家的《环境土壤学》(第二版)。在原《土壤环境学》基础上,《环境土壤学》(第二版)除了侧重介绍、阐述土壤环境的一般问题和研究方法、动态外,就当前学科实际需求方面的知识以及问题探索做了较多的介绍和讨论,以适应学科发展的需要。其中,就污染物在土壤体系中的行为效应和有关修复治理中的相关问题安排了较多的篇幅,占了一定比重,这是《环境土壤学》(第二版)的特色。

人类社会发展到今天,土壤环境问题已成为日益凸显的课题。在土壤污染问题上,人们习惯于针对一些污染物去开展工作,而相对欠缺对具体污染物在土壤中的行为以及与这些行为密切相关的环境效应的清晰了解,这是一个较普遍存在的问题。在不了解污染物在土壤体系中的效应以及与这些效应有关的作用因素具体作用原理的情形下,实际工作中会给认识问题、解决问题的过程、目的、操作带来盲目性,这无疑不利于问题的最终有效解决。另外,面对当前普遍存在的土壤污染问题,如何避免土壤污染以及如何有效地对被污染了的土壤进行修复,使其保持正常功能,是人类社会持续发展的前提条件。而由于土壤污染问题本身在成因、治理过程、治理效果等方面的复杂性和预防、修复治理工作中的理论认识程度、实践可能性、治理成本经费、时间周期等诸多难题的客观存在,应该说,对于那些被污染了的土壤目前尚没有独到、理想的方法可以彻底解决问题,以能使土壤完全恢复到未受污染时的状态。近些年来,人们陆续提出了诸多方法、思路,这些方法、思路有的甚至无论是在理论上还是在实践层面上都还存在问题或争议,但这些都是土壤污染防治进程中为最终达到使土壤得以持续地被人类生态友好地利用的有益探索。因此,就当今本领域和业界近年有代表性的工作成果、有新意的工作思路以及人们较感兴趣的方向,本书分别从痕量金属污染修复、有机污染物污染修复、痕量金属有机物复合污染修复、主要工程方法和案例的重要机理等几个方面进行了概述、总结,希望通过分析、讨论从中得到启示,以供读者在对土壤环境问题的认识和土壤污染修复治理工作中参考。

《环境土壤学》(第二版)总体由以下四部分内容组成。

第一部分:土壤的成因及基本属性(含第一章绪论,第二章土壤的形成,第三章土壤环境,第四章土壤的物理化学性质)——主要介绍、阐释土壤的自然属性,包括土壤的形成、物质成分、土壤在地球圈层中的位置以及特征与功能、土壤在能量与物质循环及其转化过程中的功能与作用、土壤体系中主要的物质作用过程等基础理论知识。

第二部分:土壤污染(含第五章土壤环境污染)——介绍、分析、论述土壤污染的发生、形成和种类,以及土壤体系中与污染物有关的物质行为、效应、因素等问题。

第三部分:土壤污染研究中的有关问题(含第六章土壤中元素的背景值和化学形态)——介绍、讨论当前土壤污染研究中的前沿问题,如土壤中元素的背景含量及其确定方法或思路、土壤中元素化学形态及其环境意义、土壤中元素化学形态分析方法以及各种土壤

元素化学形态分析程序的适用情况和局限性，阐述当前环境科学与工程领域土壤元素形态分析研究的现状与发展趋势。

第四部分：土壤污染防治与修复（含第七章土壤环境污染防治，第八章土壤污染修复案例及主要工程措施的重要机理）——介绍土壤污染防治的有关方法、思路、工作实践及其理论依据，如土壤环境容量及其环境意义的时空相对性、土壤污染分区、土壤污染防治研究以及修复治理案例、土壤污染修复治理工作的动态以及发展趋势等。

本书部分内容是国家自然科学基金项目（41572329）资助完成的科研成果（第六章），特此鸣谢！

希望《环境土壤学》（第二版）介绍、论述的内容对土壤环境学科领域以及相关学科的教学和研究能够有所裨益，也希望听到来自同行专家和同学们等各方面的意见。欢迎各界同仁指正。

编著者

2018年8月

本书共分三章，第一章为绪论，第二章为土壤污染现状与防治，第三章为土壤污染修复案例及主要工程措施的重要机理。本书可作为环境科学与工程领域相关专业本科、硕士、博士研究生教材，也可供从事土壤环境工作的工程技术人员参考。

目 录

第一章 绪论	1
第一节 土壤概述	1
一、土壤的概念	1
二、土壤的环境意义与环境土壤学	1
第二节 土壤与人类	2
一、土壤的自然属性与功能	2
二、土壤与人类的关系	4
第三节 土壤环境问题	5
一、土地利用类型变化	5
二、现代农业使土壤环境长期遭受污染	5
三、城市及工业对土壤环境的污染	5
思考讨论题	7
参考文献	7
第二章 土壤的形成	8
第一节 风化作用及其产物	8
一、岩石圈风化及其表生自然体	9
二、物理风化作用	14
三、化学风化作用	16
四、生物风化作用	20
第二节 土壤形成的条件和过程	23
一、土壤形成的条件	23
二、土壤形成的过程	29
三、土壤原始形成过程的种类	30
思考讨论题	32
参考文献	33
第三章 土壤环境	34
第一节 土壤的分类	34
一、土壤诊断层	34
二、土壤分类原则	34
三、土壤分类级别	35
四、土壤的命名	37
第二节 土壤的分布	37
一、土壤的地带性	37
二、土壤的地域性	37

三、土壤基层类别的分布规律	38
四、我国土壤区划	38
第三节 我国的主要土壤类型	39
一、温带、暖温带土壤	39
二、热带、亚热带土壤	40
三、特殊地带性土壤	41
思考讨论题	42
参考文献	42
第四章 土壤的物理化学性质	43
第一节 土壤的机械组成和物理性质	43
一、土壤的机械组成	43
二、土壤的物理性质	49
第二节 土壤的化学组成	52
一、土壤矿物质	52
二、土壤有机质	60
三、土壤微生物	73
四、土壤中的水分	82
五、土壤中的空气	96
六、土壤中元素的背景含量	98
第三节 土壤的表面性质	99
一、土壤的胶体性质	99
二、土壤中的离子吸附与交换	108
第四节 土壤的酸碱性	119
一、土壤的酸度	120
二、土壤的碱度	121
三、土壤的缓冲作用	121
第五节 土壤中的氧化-还原作用	124
一、土壤溶液中的氧化-还原作用概述	124
二、土壤溶液中的氧化-还原体系	125
思考讨论题	129
参考文献	129
第五章 土壤环境污染	131
第一节 土壤污染概述	131
一、土壤环境质量	131
二、土壤污染及其特点	132
三、土壤污染源及污染物质	133
四、土壤污染的发生类型	135
第二节 土壤痕量金属污染	136
一、影响痕量金属在土壤中环境行为的主要因素	137
二、痕量金属在土壤-植物体系中的累积、迁移及其生物效应	138

第三节 土壤农药污染	167
一、土壤对农药的作用	168
二、农药在土壤中的迁移、降解和残留	173
三、植物对农药的吸收和代谢	178
四、农药在环境中的行为效应	179
第四节 土壤化肥污染	184
一、氮肥对土壤的污染	184
二、磷肥对土壤的污染	187
三、氮、磷元素对环境的影响	189
第五节 固体废物、放射性物质以及有毒有机物等在土壤环境中的污染行为	193
一、土壤固体废物污染	193
二、放射性物质在土壤中的行为	194
三、某些有毒有机物在土壤中的行为	204
第六节 区域性土壤退化问题	212
一、土壤退化现状	212
二、土壤圈未来变化预测	214
三、土壤退化研究进展与趋势	215
思考讨论题	216
参考文献	217
第六章 土壤中元素的背景值和化学形态	219
第一节 土壤中元素的背景含量	219
一、土壤中元素背景含量的根源及其不同认识	219
二、土壤中元素背景值与土壤污染和地方病的关系	221
三、土壤中元素背景值的研究意义和影响因素	225
四、土壤环境背景值研究的具体程序和方法	228
五、当前土壤污染研究中元素背景值研究动态讨论	230
第二节 土壤中元素的化学形态	234
一、元素化学形态概念	234
二、元素化学形态及其分析方法	235
思考讨论题	248
参考文献	249
第七章 土壤环境污染防治	251
第一节 土壤的自净作用与环境容量	251
一、土壤的自净作用	251
二、土壤环境容量	253
第二节 土壤污染防治	255
一、土壤痕量金属污染的治理途径	255
二、土壤有机物污染的治理途径	262
三、土壤放射性污染的治理途径	265
四、土壤污染植物修复技术存在问题与发展趋势讨论	265

五、区域性土壤退化防治	267
思考讨论题	268
参考文献	268
第八章 土壤污染修复案例及主要工程措施的重要机理	270
第一节 土壤痕量金属污染修复	270
一、土壤痕量金属污染植物修复案例	270
二、套种和化学淋洗联合技术修复痕量金属污染土壤案例	272
三、磷灰石和氯化钾联用修复铅锌矿区铅镉污染土壤案例	277
第二节 土壤有机污染物污染修复	279
一、多环芳烃 (PAHs) 污染土壤的强化微生物修复案例	279
二、石油污染土壤的两阶段微生物修复案例	282
第三节 土壤痕量金属-有机物复合污染修复	285
第四节 土壤污染修复主要工程案例的重要机理	288
一、异位热脱附修复技术	288
二、蒸汽浸提修复技术	288
三、有机物污染土壤的氧化-还原修复技术	289
四、痕量金属污染土壤的固化-稳定化修复技术	289
五、痕量金属污染土壤的生物修复技术	290
思考讨论题	291
参考文献	291
参考文献	108
参考文献	119
参考文献	120
参考文献	121
参考文献	121
参考文献	124
参考文献	124
参考文献	125
参考文献	129
参考文献	129
参考文献	131
参考文献	131
参考文献	132
参考文献	133
参考文献	135
参考文献	136
参考文献	137
参考文献	138

第一章 绪论

土壤是地球吸收和转化太阳能的最重要的过程媒介与物质载体，在其中发生着最重要的生命过程——呼吸与光合作用。土壤圈是生物圈的主要组成部分之一，是人类赖以生存的物质基础和生产资料，同时也是人类和人类社会生存发展的基本生态环境条件（柯夫达，1973）。然而，越来越多的证据表明，土壤环境正在承受着人类活动施加给它的日趋严重的环境负荷，这些负荷包括对其资源能力的超额索取和对其自净能力的过量使用。越来越多的事实提醒人们，土壤在人类超负荷利用和影响下正在发生退化，其质量与功能在下降和削弱，故土壤环境需要被保护，土壤环境问题需要人类的高度重视和科学应对。

第一节 土壤概述

一、土壤的概念

土壤作为独立的表生自然体，被定义为“位于地球陆地的、具有肥力的、能够生长植物的疏松表层”。按容积计，一般土壤中矿物质占 38%~45%，有机质占 5%~12%，土壤空隙约占 50%；按质量计，一般土壤中矿物质约占固相部分的 90%~95%，有机质约占 1%~10%。总的看来，土壤是以矿物质为主的物质体系。土壤是独立的、复杂的地球外壳，它覆盖在整个地球大陆外层。土壤圈处在与岩石圈、生物圈、水圈和大气圈密切的相互依存与作用之中 (Sposito et al, 1995)。

人类很早就将土壤作为主要的生产资料——农业劳动的工作对象。因而，土壤也就成为人类赖以生存的独特且重要的自然资源。以土壤的肥力特征、保蓄性能以及其中的生命活动等主要客观属性为中心，对土壤的研究、探索不断深化，建立了有关土壤的发生、发展、性质、分类和地理分布规律的一系列概念和理论，形成了系统的研究方法，从而建立并发展了现代土壤科学（詹尼 H，1998）。

二、土壤的环境意义与环境土壤学

土壤是地球表层的一圈脆弱薄层，它关系到人类的生死存亡。土壤圈是人类赖以生存与发展的重要资源与生态环境条件，是在地球演化特别是地表圈层系统形成的历史过程中，继原始岩石圈、大气圈、水圈和生物圈之后，最后出现和形成的独立自然圈层。土壤圈处于上述圈层的交接面上，是地球各圈层与生物圈共同作用的结果。由于土壤圈的特殊空间位置，从而使其成为地球表层系统中物质与能量交换、迁移和转化最为复杂、频繁和活跃的场所，同时又是自然界中有机界与无机界相互连接的纽带、陆地生态系统的基础。土壤与依赖于它生存的动植物息息相关，因此，它在维持生物圈的生命过程和生物多样性、全球变化以及人类社会的可持续发展中扮演着重要而独特的角色。

从环境科学的角度看,土壤不仅是一种资源,而且是人类生存环境的重要组成要素,为人类环境的总体组成要素之一(Annold, 1991)。由于土壤环境的特殊物质组成、结构和空间位置,除了肥力外,土壤尚有另外一些重要的客观属性,如土壤系统的缓冲性、土壤系统的净化性能等。这些属性使土壤在稳定和保护人类生存环境中起着极为重要的作用,在某种程度上这种重要性并不亚于土壤肥力对于人类生存发展的意义。这会使人们更加深刻地认识到合理利用土壤资源和保护土壤环境对保护人类生存环境、促使人类社会持续发展的内涵及其深远意义,进而也要求人们从环境科学的角度去深入研究和认识土壤。

在长期的生产过程中,人类在利用和改造土壤的同时,产生了新的环境问题。所谓土壤环境是指连续覆被于地球陆地表层的土壤圈层。环境土壤学(soil in environment)则是以人类和土壤环境的特殊矛盾为研究对象,应用土壤学、环境学(环境地球化学、环境化学、环境生物学)以及其他相关学科——地理学、生态学等的基本理论和知识,研究土壤环境的发生、发展及其有关过程,特别是人类活动对土壤环境的组成、结构、性质的影响,为预测、调控、管理、改造及保护土壤环境服务的科学。因而从学科性质上,环境土壤学属于土壤学和环境学之间的交叉学科或边缘学科。

第二节 土壤与人类

一、土壤的自然属性与功能

土壤是在母质、气候、生物、地形和时间等因素的共同作用下形成的自然体。在不同的自然环境中,土壤的形成过程和性状各具特色。土壤在地球表面是生物圈的组成部分,它提供陆生植物的营养和水分,是植物进行光合作用、能量交换的重要场所。土壤-植物-动物系统在人类生活中是太阳能输送的主要媒介;在陆地生态系统中,土壤-生物系统(主要是植物)进行着全球性的能量、物质循环和转化。土壤具有天然肥力和生长植物的能力,是农业发展和人类生存的物质基础。由于土壤肥力能保证人类获得必要的粮食和原料,因此,土壤与人类生产活动有着紧密的联系。

土壤是人类须臾不可分离的自然资源和环境条件。对于人类甚至整个陆地生态系统来说,土壤首要的基本功能是具有生产性能,其本质属性是具有肥力,即同时不断地供给植物生长所需的水分、养分、空气和热量,以及其调节、控制生态环境条件的能力。土壤的第二个基本功能是土壤的净化作用,即通过土壤生物对有毒有机和无机物质进行迁移、转化(生物降解作用),通过土壤黏粒进行离子吸附与交换,通过土壤水分和空气对物质进行稀释、扩散、溶解与沉淀的过程,以及因土壤的酸碱反应和氧化还原条件的改变而使有毒物质赋存形态的改变,以减少或降低、缓解土壤中有毒物质的浓度、毒性(或活性)的过程。利用土壤的净化作用或称为土壤的净化过滤作用,将土壤作为生活垃圾及生产废弃物的处理场所,古已有之。随着现代化社会的发展和人口的增长,“三废”物质日益增多,环境污染日趋严重,人们在关注土壤的生产功能、土壤资源的承载力和足够食物保证的同时,也把目光转向了土壤的净化功能和农业产品的质量、健康与安全等方面。土壤圈是一个开放复杂的耗散系统,是地表系统整体的组成部分,它不但通过界面与其他圈层之间进行物质、能量与信息的迁移、转化和交换,在其他圈层的作用和影响下不断发展和变化,而且它对其他圈层的作用和影响导致各圈层整体也在不断地发展变化(陈静生, 1990)。因而,土壤圈对整个地表系

统来说起着重要的缓冲与稳定作用。从土壤和生物的关系来说,土壤的多样性是生物多样性的基础,某一土壤类型和特征的消失意味着依赖于该土壤生存的植物和土壤生物的濒危。这是土壤圈的第三个基本功能——生态功能。

土壤和土壤圈的基本功能是通过土体中的物理、生物、化学和物理化学特性与过程之间的互动和协同,以及土壤圈与其他圈层之间的物质、能量和信息的迁移、转化及交换过程来实现的。这也是由土壤的特性所决定的。

土壤特性是从几个方面体现的,包括物理特性、生物特性、化学与物理化学特性等。

(1) 物理特性 土壤圈是由固(有机物质和矿物质)、液(土壤水分和溶质)、气(土壤空气)多相物质且多层次组成的疏松多孔的复杂体系。土壤的物理特征包括土体厚度、土体的垂直变异(剖面构型和质地构型)结构、质地、孔隙度和大中小孔隙的比例、紧实度、土壤密度等。这些物理条件与特性决定了土壤圈的物理运动过程和物理性状,如土壤水分运动与水分状况、能量运动与温热状况和土壤空气运动与空气状况等,并影响着土壤圈与其他圈层之间的物质与能量交换,对维持、调节和控制地表系统的稳定性起着重大作用(黄昌勇, 2000)。

(2) 生物特性 土壤生物是生物圈的重要组成部分,从微生物到高等动植物体现了从微观到全球陆地范围内的异乎寻常的生物多样性。据研究,1kg 土壤中可能有 54 亿个细菌、100 亿个放线菌和 10 亿个真菌;土壤剖面 1m 厚度土层中所包含的一株植物根系的总长度就可达 600km。土壤圈和岩石圈(包括其风化壳)的主要区别就在于它的生物学活性。土壤圈的主要功能在很大程度上是靠这一生物学特性体现的。

(3) 化学与物理化学特性 土壤圈中的化学与物理化学过程和特性主要有如下几点。

① 土壤胶体表面和溶液间的离子吸附与解吸作用。土壤胶体表面和溶液间的离子吸附交换量以每千克土壤(或黏粒)吸附或交换溶液中的阳离子的厘摩尔数(cmol/kg)表示,即土壤阳离子交换量(CEC)。它不但反映了土壤腐殖质、黏土矿物的种类与数量,而且反映了影响可变电荷的土壤 pH 值的大小。与之有关的物理化学特性还有土壤吸附的交换性盐基离子总量与该土壤阳离子交换总量的比例,即盐基饱和度。土壤交换性阳离子的组成中,如不含交换性酸离子(H^+ 、 Al^{3+}),则该土壤为盐基饱和土壤,反之即为盐基不饱和土壤。交换性阳离子的组成在很大程度上反映了土壤的淋溶强度。随着淋溶强度的增加,土壤盐基饱和度降低,土壤酸度增加。而交换性钠饱和度大于 5% 是土壤发生碱化作用的表征。

② 土壤酸碱度。土壤酸碱度是土壤的重要化学特性和指标(通常以 pH 值表示)。一般将土壤酸碱度分为:强酸性($\text{pH} \leq 5$)、酸性($\text{pH} = 5 \sim 6.5$)、中性($\text{pH} = 6.5 \sim 7.5$)、碱性($\text{pH} = 7.5 \sim 8.5$)、强碱性($\text{pH} \geq 8.5$)。土壤酸碱度是影响、调节和控制土壤圈物质迁移、转化的重要因素。

③ 氧化还原反应。土壤中的氧化还原反应是土壤中不断进行着的重要化学作用过程,是影响土壤中物质迁移、转化的主要因素之一,对土壤中元素的生物化学效应起着至关重要的制约作用。

此外,土壤在全球水循环、地表热量调节以及与生态平衡密切相关的 C、N、P、S 循环中都起着不可替代的作用与深远影响。土壤中的水是土壤圈最重要的物质组成部分,它在土壤圈的形成与发展过程中起着十分重要的作用,在很大程度上,土壤水参与了土壤圈中大部分物质的迁移与转化过程。因此,土壤圈中土壤水分的变化和运移机理、土壤水分与土壤组成部分之间的相互关系是土壤形成过程中的重要作用因素。同时,土壤水也是地球表层系

统水循环的重要组成部分，进入土壤圈的降水、地表水与地下水，通过土表蒸发、植物蒸腾、土内侧向径流和地下水流动再回归大气圈、河流、湖泊和海洋。虽然它的容积只占全球水总体积的0.005%，但它是重要的淡水储存库，是土壤生物和植被的主要生命水源，是地球陆地地表水的过滤净化器，也是地表水和地下水相互转化的重要环节和“调节器”。因此，土壤水分、土壤水分平衡、土壤水分储量及其有效性都将直接或间接地影响水圈。

土壤热量平衡中主要收入是太阳辐射能，它除了用来提高土壤温度外，主要耗散于土壤水分蒸发。此外，近地面空气的流动将热量带走或补给土壤。昼间，土壤表层吸收太阳辐射后温度上升，与下层土壤产生温度梯度，热量流向温度较低的下层土壤；夜间，表层土壤冷却，热量则由下层土壤流向表层土壤。以上这些过程对地表温度起调节作用。

土壤圈的生物地球化学循环是全球生物地球化学循环的重要组成部分（李天杰，2004）。土壤有机质的形成与转化是土壤生物地球化学的总体过程；土壤圈中C、N、P、S元素的内循环是其全球循环的重要环节，也是当前学界研究的热点问题之一。

二、土壤与人类的关系

人类从一出现就与环境构成了对立统一体，在对立统一的过程中发展。人与土壤环境正是这一关系的具体表现。在利用和改造土壤环境的过程中，人类活动对土壤影响的性质和程度是不同的。例如，人类最初只是采食土壤中生长的植物产品，仅对土壤生态造成一定影响，对土壤环境的影响甚微。人类在开垦利用土壤作为种植业基地的最初阶段，也仅是破坏了土壤的自然植被和土壤肥力的自然平衡，而这些可以通过自然过程或施加有机肥料来得到恢复。但当人类利用土壤过度，超过了土壤的自然恢复能力，依靠上述手段不再能恢复其生态平衡时，便产生了土壤侵蚀、沙化、盐渍化、沼泽化、肥力下降以及污染等现象。随着社会经济的发展、科学技术的进步及人口的增长，人类活动对土壤环境的影响范围和强度不断增大，人类不但在利用而且在改造着土壤环境，甚至影响到产生新的土壤环境，如新的人工土壤类型（水稻土、堆垫土等）和农田生态系统。另外，过度利用土壤环境使土壤退化面积不断扩展、程度不断加深，导致土壤生态环境恶化。同时，由于“三废”物质的积累，输入土壤环境的有毒有害物质的绝对数量在不断增加，逐渐超过土壤环境的承载能力，结果使土壤环境受到污染，质量下降，从而出现更深刻的土壤环境危机。由此可见，人类活动对土壤环境的影响是多方面的，是土壤环境问题发生的最主要根源（王焕校，2001；赵其国，1995）。

土壤环境是自然环境诸要素长期、综合作用的产物，因此，土壤环境的形成和发展、物质组成、结构与功能都与地球表层自然环境系统的时空变化密切联系着。如全球性气候变暖趋势可导致全球自然地带的各种变化，由于气温升高而引起的海平面上升也必然会使全球土壤环境发生相应的变化，有的区域可能向有利的方向（如温度和湿度的增加）转变，而另一些地区可能向不利的（如干旱）方向变化，或者遭受海水淹没，或使咸水通过地下向大陆侵袭；臭氧层变薄可能影响到生物圈和土壤生态系统的改变等。总之，土壤环境的发生、发展仍在受着自然环境系统所固有的自然规律的制约。

土壤具有肥力是人类最早认识和利用的基本土壤特性，也是人类在利用土壤过程中最先产生的经常性土壤环境问题（如土壤贫瘠化和总体退化等）的缘故（中国农业百科全书土壤卷编辑委员会，1996；中国土壤学会，1999）。土壤肥力包括自然肥力和经济肥力。自然肥力是土壤自然形成过程中的产物；经济肥力主要是在人类活动综合作用下才具有的，它实际

包括自然肥力和人工肥力。由此可见,土壤肥力水平的高低是可以随着人类对土壤的利用和改造过程而改变的,在此意义上土壤属可更新或再生性自然资源范畴。但地球上土壤资源的面积一般说来在理论上是不变的、有限的,因而在此意义上它又是不可更新的资源。此外,土壤肥力虽然在理论上来说是可以不断提高的,但在一定的社会经济和技术水平下,提高也是有限的,因此,单位面积土壤对人口(或动物)的承载力或者说环境容量是有一定限度的。这样,全球人口的不断增长以及生产、生活对土壤的自然属性的负面影响与可利用的土壤资源的有限性就形成了难以克服的供需矛盾,这种矛盾是土壤环境问题产生的另一个重要缘由。

第三节 土壤环境问题

土壤不仅是一种生产资料,而且是一种环境要素。目前,人们较为关心的土壤环境问题主要有如下3个方面。

(1) 人类的大规模生产、生活活动改变了影响土壤发育的生态环境,使土壤本身的自然循环状态受到影响或破坏。如人类对森林、草原等天然植被的破坏引起土壤侵蚀、水土流失、土地沙化和贫瘠化,由此引发干旱、沙尘暴、河流断流、地下水位下降等一系列生态环境问题。

(2) 现代化农业生产对农药、化肥的大量使用使土壤遭受长期污染。

(3) 现代城市发展以及现代工业排放的大量废气、废水和废渣中的各种污染物常常经由不同途径污染土壤。

一、土地利用类型变化

人类对土壤资源利用的直接后果是土地利用类型比例的变化,它影响着土壤生态平衡、经济发展和与环境的协调性。世界土壤资源的面积和承载力的有限性与随人口增长而不断膨胀的需求之间的矛盾日益扩大,其结果是对土壤资源的压力增大,这样,土壤的经济肥力不会提高,而对土壤自然肥力的掠夺性利用会不断增加,土壤的生态平衡迅速恶化,加速了土壤的退化。土壤退化则进一步使土壤肥力和农产品产量、质量下降,最终导致土壤资源与人口增长之间的矛盾激化,生态平衡陷入恶性循环。

二、现代农业使土壤环境长期遭受污染

随着现代农业的发展,为提高土壤单位面积产量而不断增加化肥和农药的施用量,为了缓和并解决水资源紧缺而采用污水灌溉和土地处理系统,为提高土壤有机质含量而在农田施用污泥与生活垃圾等等,这些过程和措施都使土壤环境中污染物质的累积量逐渐增加,最终招致土壤环境的污染(Zhao et al, 1997)。

三、城市及工业对土壤环境的污染

土壤被侵占主要是指城市化、工矿业和其他建设项目等的非农用地所占的面积比例在惊人地增长。它不但加剧了土壤资源和人口膨胀之间的矛盾,而且使土壤环境污染的面积急剧扩张、污染的程度不断加重。

据有关资料统计和预测,地球上所能承载的人口极限为80亿,逾越这个极限对经济发

展将造成不可估量的压力。现在,世界可耕地面积约 29.55 亿公顷,世界人均可耕地在逐年锐减。据推算,目前世界水土流失面积达 2000 万平方千米,已达总面积的 16.8%。全球沙漠化面积已达 40 多亿公顷,并且每年以 600 万公顷的速度在向沃土良田延伸。伴随着经济的高速增长,环境污染物的排放量猛增,使土壤污染面积随之增加。据 20 世纪末的统计资料,我国遭受环境污染物污染的耕地约 600 万公顷,农药污染面积 13003 公顷,遭受酸雨危害的耕地已达 260 万公顷;全国占用耕地面积呈增长趋势,建设用地已达 29.7 万公顷(超过计划的 7.4%),工业固体废物堆存量 59.2 亿吨(占地 5.45 万公顷)。从上述不完整的资料统计中,足见全球和我国土壤资源在数量与质量上所面临的严峻形势。

综上所述,无论从资源、环境还是生态学的观点出发,人类都应该珍惜和保护土壤,但目前土壤资源被破坏、侵占,土壤环境问题(即土壤环境污染和土壤生态环境破坏)的严重状况实际上已成为突出的全球性问题之一。

需要指出的是,迄今为止,除环境学、土壤学、农学、地学和生态学等学科的部分科学工作者外,其他学者对土壤环境问题还远没有像对全球气候变化、臭氧层变化以及酸雨等问题那样给予重视和关注,其原因是多方面的,如以下几个方面。

(1) 缺乏对土壤环境污染危害性的正确评价。土壤污染绝不是孤立的个别和局部的公害事例,而是日趋严重的全球性环境问题。土壤环境痕量金属污染、农药有机物污染、化肥污染、放射性污染等全球性土壤环境污染问题日趋严重,而且土壤环境一旦遭受污染便难以治理,其危害深远。上述这些问题目前尚没有被深刻认识和受到足够的重视。

(2) 由于土壤环境污染的特点——渐进性、隐蔽性和复杂性,使它不像大气和水环境污染那样易为人们所直观观察到其危害。

(3) 土壤环境污染对生物和人体的影响或生态效应是间接的,具后效性,即其危害是通过在食物链中逐级积累的方式显示出来的。因此,人们往往是已身受其害而尚不自知。

为了保证农畜产品质量和人体健康,大力开展对土壤环境污染防治的研究,唤起和提高人们的土壤环境保护意识,以保护农业生态系统和全球表层环境系统,已是刻不容缓的具有现实意义和深远历史意义的重大课题。

土壤环境污染其实也是土壤生态环境问题,若说二者之间存在差别,也不过是它们的后果稍有差异而已。前者的危害主要是使产品遭受污染从而质量下降,直接影响人体健康和人类生存。而后者(生态环境破坏)的后果,如土壤退化,主要是威胁土壤资源和土壤环境本身的继续存在与发展,影响产品质量、数量和土壤资源与环境的永续利用。如上所述,人类活动对土壤生态环境影响的强度、原因和途径是多方面的,包括施用化肥、污灌、固体废物堆放、大型工程项目影响、现代工业排放和全球气候变化等因素造成或引起的土壤环境问题。

施用化肥本来是为提高土壤肥力从而增加作物产量的,但若施用不当,会引起土壤中营养元素的失衡,并且会通过挥发进入大气或通过溶解进入水系统而发生迁移,最终影响大气和水环境质量。污水灌溉和土地处理系统对土壤生态环境的影响主要表现为对土壤正常成分的改造或影响。污灌和污水土地处理系统是人们有意识、有目的利用土壤环境自净功能解决水资源缺乏问题从而使污水资源化的重要应用工程措施,但由于污水的成分和水质变化极为复杂,而土壤的环境容量又有限,因此污水灌溉和污水土地处理系统都是需要深入研究的重要土壤环境课题,对土壤环境污染防治和生态环境保护都有重要意义。土壤向来都被作为废物的最终处理场所,随着工农业生产的发展,固体废物的种类、数量、成分日益增多和复

杂化,如工矿业的固体废物包括金属矿渣、煤矸石、粉煤灰、城市垃圾、污泥、塑料废物等。固体废物对土壤资源的侵占、污染已成为当今必须重视研究和解决的土壤环境问题之一。大型建设项目是指一些大型的水利枢纽工程、煤矿、铁矿、多金属矿床和石油开采等项目,它们已成为当今人类开发建设对环境造成影响的主要形式。它们往往造成对土壤的大面积侵占、大规模破坏、大范围淹没和严重污染,破坏了土壤自身的生态平衡,改变了土地自身的作用或功能。这都是对土壤环境的重要影响,并相应地随之对社会环境产生一系列影响,如社会经济发展和移民等。因此,对受其影响的土壤环境的治理、复垦和生态保护措施的研究应该是今后的重大课题。由于人类活动向大气排放的酸性物质(SO_2 、 NO_x 等)的增加,酸性物质的干、湿沉降增多,它们沉降到土壤环境中,从而引起土壤酸化、土壤营养状况变化,以致土壤生态环境的改变,最终影响到植物的正常生长。酸沉降对土壤生态环境产生的生态效应问题已成为全球性的重要环境问题。全球变化是人们所关注的焦点,首先是全球气候变化,而全球气候变暖对冻土带的冻融变化、自然地带界限的移动和某些区域的干旱都将产生极大的影响。由于气温上升,两极地区冰盖的融化会使海面上升,对滨海地区土壤也将产生重大影响。全球性气候变化对世界规模的土壤退化现象如土壤侵蚀、土壤沙化、土壤盐渍化和土壤沼泽化等都将产生深刻的影响。

保护土壤环境和对土壤污染的预防治理是人类面临的一项十分迫切且重要的任务。



思考讨论题

1. 土壤作为资源对人类社会的作用与意义具体体现在哪些方面?
2. 土壤环境的环境功能及意义有哪些?
3. 土壤环境问题的发展趋势及制约因素是什么?
4. 试简述土壤环境学的研究内容。

参考文献

- 陈静生, 1990. 环境地球化学. 北京: 海洋科学出版社.
- 黄昌勇, 2000. 土壤学. 北京: 中国农业出版社.
- 柯夫达 B A, 1973. 土壤学原理. 陆宝树, 等译, 北京: 科学出版社.
- 李天杰, 等, 2004. 环境地学原理. 北京: 化学工业出版社.
- 王焕校, 2001. 污染生态学. 北京: 高等教育出版社.
- 詹尼 H (Jenny H), 1998. 土壤资源起源与性状. 李孝芒, 等译. 北京: 科学出版社.
- 赵其国. 1995. 跨世纪的土壤科学, 中国科学院院士谈 21 世纪科学技术. 上海: 三联书店.
- 中国农业百科全书土壤卷编辑委员会, 1996. 中国农业百科全书土壤卷. 北京: 农业出版社.
- 中国土壤学会编, 1999. 迈向 21 世纪的土壤科学. 中国土壤学会第 9 次全国代表大会论文集 (综合卷).
- Annold R W, 1991. 全球土壤变化. 赵其国, 编译. 土壤学进展, 5: 16-23.
- Sposito G, Reginato R J, 1995. 基础土壤科学研究的契机. 陈杰, 骆国保, 等译. 北京: 中国农业科技出版社.
- Zhao Q G, Li Z, 1997. Organic carbon storage in soils of southeast China. Nutrient Cycling in Agroecosystems, 49: 229-234.

第二章 土壤的形成

地表岩石和矿物受温度变化及大气、水溶液和生物的影响所发生的一切物理状态和化学成分的变化称为风化作用。

风化作用发生于地表，即岩石圈、水圈、大气圈和生物圈界面相互交错重叠的空间带——表生带内。在这个带中的物理化学环境的主要特点是：①低而变化的温度条件（世界地表的温差一般小于 160°C ，即由 -75°C 到 $+85^{\circ}\text{C}$ ），有昼夜变化和季节变化；②低压（常压状态）；③常处在大气圈游离氧和二氧化碳的环境下（氧化-还原界面主要取决于潜水面的高低及其他因素）；④水源极丰富，且具不同酸碱度（pH值变化范围一般为4~9）的介质条件；⑤有生物和有机质参与，它们有时甚至起主要作用（Bowen, 1979; Faure, 1998）。

风化作用与其他表生作用一样，在能源方面与地球深部的内生作用不同。这里太阳辐射能具有重要意义，它决定着表生带的温度，推动着大气圈和水圈的运动，决定着生物界的生命过程 and 方向，同时也支配着元素在表生带内的迁移。风化作用的实质是岩石圈深部形成的岩石进入表生带后，由于物理化学条件发生巨大变化从而失去原有平衡并通过深刻改造建立新平衡的过程。具体表现为原来的矿物和岩石被破坏和分解，原组合形式的元素发生分离，一部分被溶液带走，一部分形成在地表条件下稳定的化合物。风化作用的产物或直接留在原地，或经局部搬运后在距离不远的地方形成堆积（沉积），结果就导致了风化壳的形成。所以，风化作用包括表生带中所有的岩石和矿物的改造过程，同时又是岩石圈、大气圈及生物圈互相作用从而进行物质交换的过程。

风化和沉积是表生作用的两个方面，是互相连接着的表生作用的不同发展阶段。影响风化和沉积作用的物理化学条件很多是相同的。风化作用中元素以原地淋滤集中或者短距离迁移集散为主，而沉积作用则是元素经过长途搬运在异地聚集的过程。

风化作用揭开了外力地质作用的序幕，为地质循环作用的进行创造了有利的条件，它导致了岩石矿物的崩解和分解，从而加速了大陆地形的改造和各种沉积物的形成过程。不同时期、不同地质环境条件下风化作用的差异性被与之相应的风化产物——各种类型的沉积物记录了下来。因此，可以通过地质历史时期各种沉积物的地球化学特征追索这些沉积物的原岩特点、风化历史及其环境条件演变过程。另外，风化作用可以导致某些元素在风化壳中集中，形成风化成因的矿产资源，如Fe、Al、Mn、Ni、Co、Au、Pt、W、Sn、Nb、Ta、U、V等金属矿产和金刚石、刚玉、蓝晶石、重晶石、水晶、高岭石、黏土等非金属矿产。风化作用是土壤形成的前提条件，土壤是在岩石风化产物基础上发育形成的自然体，没有风化作用的发生，土壤便无从谈起。所以，有关风化作用的地球化学知识对了解土壤成因、认识土壤物质组成特征和深入理解土壤环境学中的机理与过程都有很大意义。

第一节 风化作用及其产物

如上所述，风化作用（weathering）是地表的岩石在与大气圈、水圈和生物圈的相互作