



扫描二维码
免费课件下载

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材

土壤污染与修复

施维林 主 编

中国建材工业出版社

张永信

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材

土壤污染与修复

主编 施维林



中国建材工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

土壤污染与修复/施维林主编. --北京: 中国建材工业出版社, 2018. 6

普通高等院校环境科学与工程类系列规划教材

ISBN 978-7-5160-2166-8

I. ①土… II. ①施… III. ①土壤污染—修复—高等学校—教材 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 024589 号

内 容 简 介

污染土壤修复是我国近年来备受关注的领域, 本书在相关理论的基础上, 总结了土壤污染修复的方法与工程管理经验, 为读者提供了丰富的理论知识和应用实践经验。主要内容如下: 第一章 绪论; 第二章 土壤理化性质与土壤生物; 第三章 土壤中碳、氮、硫、磷与环境效应; 第四章 土壤污染概述; 第五章 土壤和地下水中污染物的迁移; 第六章 土壤污染物检测分析; 第七章 土壤污染修复技术; 第八章 地下水污染修复; 第九章 场地土壤污染修复管理体系。

本书可供环境科学专业、环境工程专业的学生使用, 也可作为土壤修复领域、环境保护领域从业人员的参考用书。

土壤污染与修复

主编 施维林

出版发行: 中国建材工业出版社

地 址: 北京市海淀区三里河路 1 号

邮 编: 100044

经 销: 全国各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787mm×1092mm 1/16

印 张: 18

字 数: 430 千字

版 次: 2018 年 6 月第 1 版

印 次: 2018 年 6 月第 1 次

定 价: 58.80 元

本社网址: www.jcbs.com 微信公众号: zgjcgycbs

本书如出现印装质量问题, 由我社市场营销部负责调换。联系电话: (010) 88386906

《土壤污染与修复》编写委员会

主 编 施维林

副主编 许 伟

编写人员 贺志刚 史广宇 蔡 慧 孟宪荣
陈 洁 王佳斌

目 录

第一章 绪论	1
第一节 环境系统中的土壤	1
一、土壤的基本概念	1
二、土壤在环境系统中的作用与地位	2
三、土壤在环境系统中的功能	6
第二节 土壤污染概况	7
一、土壤污染	7
二、土壤污染防治	13
第三节 土壤污染与修复研究进展	18
一、土壤污染与修复的研究内容与热点	18
二、土壤污染与修复研究前沿展望	20
第二章 土壤理化性质与土壤生物	21
第一节 土壤的形成	21
一、土壤形成的因素	21
二、土壤物质组成	22
三、土壤剖面分化与特征	34
第二节 土壤性质	35
一、土壤物理性质	35
二、土壤化学性质	38
三、土壤生物学性质	41
第三节 土壤微生物	43
一、土壤微生物种类	43
二、土壤微生物生态功能	45
第四节 土壤动植物	60
一、土壤动物	60
二、土壤植物	60
三、影响植物修复的环境因子	62
第三章 土壤中碳、氮、硫、磷与环境效应	64
第一节 土壤中的碳与环境效应	64
一、土壤碳的组成、形态与活性	64
二、土壤有机碳的分解与转化	66
三、土壤温室气体排放	66
第二节 土壤氮循环与环境效应	69
一、土壤中氮的含量和形态	69
二、氮在土壤中的迁移转化	70
三、土壤氮素管理与环境效应	73

土壤污染学是集合了土壤学、环境科学、生态学、环境工程、分析化学、地质水文等的多学科综合,土壤污染治理修复需要材料、污染控制、设备装备、工程管理等多方交叉合作。要系统地综合上述内容,并形成一个完整体系,无疑具有极大难度。本书编者想尝试性地开展此项工作,按照土壤污染学的基本内容,增加了土壤修复治理技术的内容,对一般的修复技术进行了阐述,同时结合修复工程中常用的技术进行了相应补充,进而提出了土壤污染管理体系。

全书对污染物的阐述按照实践过程常用分类分为重金属和有机污染物,其中第一章绪论针对环境系统中的土壤及土壤污染基本概念进行了阐述;第二章围绕土壤理化性质、土壤生物,着重阐述了土壤生态系统功能;第三章阐述了土壤中碳、氮、硫、磷与环境效应;第四章对土壤污染物进行了阐述,主要依照实践工作分为两大部分——重金属和有机污染物;第五章对土壤和地下水中污染物的迁移途径、规律进行了阐述;第六章则阐述了土壤污染物的检测分析;第七章对常用土壤污染的修复技术进行了阐述;第八章对常用地下水污染修复技术进行了阐述;第九章则是基于实践工作经验总结,提出了较为系统的场地土壤污染修复管理体系。

本书在编纂过程中得到了中科院南京土壤所周东美研究员、上海交通大学曹心德教授、同济大学付融冰教授、生态环境部南京环境科学研究所林玉锁研究员和何跃副研究员的支持和帮助。在此对他们的支持和辛劳表示衷心感谢!

由于土壤污染学学科体系的构建是一种尝试,以及编者对土壤污染、修复技术、管理体系认知的不足,本书对土壤污染、修复治理、管理仅是抛砖引玉,对书中不妥之处,敬请广大读者不吝赐教,以期共同推动土壤污染学学科体系的完善,提升土壤修复技术,完善土壤污染管理体系,加快我国土壤污染学科专业、人才培养和污染土壤修复与管理水平的提升。

主编

2018年6月于石湖之畔

目 录

第一章 绪论	1
第一节 环境系统中的土壤	1
一、土壤的基本概念	1
二、土壤在环境系统中的作用与地位	2
三、土壤在环境系统中的功能	6
第二节 土壤污染概况	7
一、土壤污染	7
二、土壤污染防治	13
第三节 土壤污染与修复研究进展	18
一、土壤污染与修复的研究内容与热点	18
二、土壤污染与修复研究前沿展望	20
第二章 土壤理化性质与土壤生物	21
第一节 土壤的形成	21
一、土壤形成的因素	21
二、土壤物质组成	22
三、土壤剖面分化与特征	34
第二节 土壤性质	35
一、土壤物理性质	35
二、土壤化学性质	38
三、土壤生物学性质	41
第三节 土壤微生物	43
一、土壤微生物种类	43
二、土壤微生物生态功能	45
第四节 土壤动植物	60
一、土壤动物	60
二、土壤植物	60
三、影响植物修复的环境因子	62
第三章 土壤中碳、氮、硫、磷与环境效应	64
第一节 土壤中的碳与环境效应	64
一、土壤碳的组成、形态与活性	64
二、土壤有机碳的分解与转化	66
三、土壤温室气体排放	66
第二节 土壤氮循环与环境效应	69
一、土壤中氮的含量和形态	69
二、氮在土壤中的迁移转化	70
三、土壤氮素管理与环境效应	73

第三节 土壤中硫与环境效应	74
一、土壤中硫的含量与形态	74
二、硫在土壤中的行为	77
三、硫循环对环境的影响	80
第四节 土壤中磷与环境效应	82
一、土壤中磷的含量与形态	82
二、磷在土壤中的迁移转化与固定	84
三、土壤磷与水体富营养化	85
第四章 土壤污染物概述	87
第一节 土壤中的重金属	87
一、土壤重金属污染及其来源	87
二、土壤中重金属的形态	88
三、控制土壤中重金属溶解度的主要反应	91
第二节 土壤有机污染物概述	97
一、挥发性和半挥发性有机物	97
二、持久性有机污染物	98
三、多环芳烃化合物	98
四、杂环类化合物	99
五、氯代芳烃化合物	99
六、有机氟化物	99
七、酚类化合物	99
八、氨基化合物	100
九、农药	100
第五章 土壤和地下水中污染物的迁移	102
第一节 污染物迁移方式	102
一、机械迁移	102
二、物理-化学迁移	102
三、生物迁移	103
第二节 污染物的迁移及转化	103
一、挥发与溶解	104
二、吸附与解吸	105
三、化学反应	111
四、生物作用	113
第三节 土壤和地下水中污染物迁移的流体力学	114
一、土壤、含水层及地下水	115
二、地下水的补给、径流与排泄	117
三、多孔介质	118
四、多孔介质中流体的运动过程	121
五、多孔介质中溶质的运移过程	127
六、污染物迁移的数值模拟	132

第六章 土壤污染物检测分析	137
第一节 场地土壤环境调查	137
一、污染物识别调查方案设计的基本要求	137
二、水文地质调查方案设计的基本要求	139
三、现场环境调查方案设计的基本要求	140
第二节 土壤中典型无机污染物的分析方法	145
一、样品的制备与分析质量控制	145
二、土壤中砷的测定	145
三、土壤中镉的测定	148
四、土壤中铬的测定	150
五、土壤中铜的测定	152
六、土壤中汞的测定	153
七、土壤中镍的测定	154
八、土壤中铅的测定	155
九、土壤中硒的测定	156
十、土壤中锌的测定	158
第三节 土壤中典型有机污染物的分析方法	159
一、土壤中多氯联苯的气相色谱分析	159
二、气相色谱-质谱联用测定土壤样品中的多环芳烃	161
三、高效液相色谱测定土壤中的磺胺类抗生素	162
四、高效液相色谱-质谱法测定土壤中的磺酰脲类除草剂残留	163
五、农田土壤中除草剂丁草胺的测定	164
第七章 土壤污染修复技术	167
第一节 土壤修复技术体系	167
第二节 国内场地土壤修复技术现状及趋势	169
一、国内场地土壤修复技术现状	169
二、国内场地土壤修复技术发展趋势	170
第三节 常见土壤污染修复技术详述	170
一、土壤气相抽提	170
二、土壤热脱附技术	181
三、原位化学氧化	184
四、土壤固化/稳定化技术	190
五、微生物修复法	194
六、植物修复法	203
第八章 地下水污染修复	209
第一节 地下水污染修复概述及发展趋势	209
一、地下水资源现状及污染状况	209
二、地下水污染修复技术概述	210
三、地下水污染修复技术发展趋势	213
第二节 地下水污染修复技术	213
一、原位曝气	213
二、可渗透反应格栅	227

三、土壤-地下水联合修复技术	233
第九章 场地土壤污染修复管理体系	247
第一节 场地土壤修复管理需求分析	247
第二节 场地土壤修复管理基本流程	249
一、开展区域土壤环境调查	249
二、污染场地分类管理	249
三、场地土壤污染的预防和修复	249
四、场地土壤环境调查	250
五、场地土壤污染风险评估	251
六、管理策略选择	251
七、场地土壤污染修复方案编制	251
八、招投标	253
九、施工组织方案	254
十、场地修复项目污染评估与控制及社会稳定风险评估	255
十一、场地土壤修复环境工程监理	255
十二、场地土壤污染修复工程验收	255
十三、场地土壤污染修复中长期监测	256
第三节 明确各方责任与权益	258
一、业主	258
二、公众	258
三、政府管理部门	259
四、政府工作人员	259
五、评审专家	259
六、调查与修复参与企业	260
七、企业专业技术人员	260
八、施工人员	260
第四节 场地土壤修复工作管理切入点	261
一、开展立法工作	261
二、明确责任业主	262
三、场地土壤修复评审专家库建设	263
四、土壤环境分析方法与标准物质体系	266
五、制定修复目标	267
六、专项资金的筹措	268
七、详细采样方案评审	269
八、场地调查结果验收与评估	269
九、风险评估结果审核	269
十、风险管控	269
十一、修复策略的选择	270
十二、修复技术筛选与评估	270
十三、场地土壤修复方案评估	270
十四、组建招标委员会	270
十五、污染场地信息管理系统	271
参考文献	272

第一章 绪 论

第一节 环境系统中的土壤

一、土壤的基本概念

土壤是孕育万物的摇篮，人类文明的基石。人类生活于地球，每时每刻都与土壤发生着密切的关系，“土壤”一词在世界上任何民族的语言中均可找到，但不同学科的科学家的观点却有着各自的认识。工程专家将土壤看作建筑物的基础和工程材料的来源；生态学家从生物、地球、化学观点出发，认为土壤是地球系统中生物多样性最丰富、能量交换和物质循环最活跃的层面；经典土壤学和农业科学家则强调土壤是植物生长的介质，含有植物生长所必需的营养元素、水分等适宜条件，将土壤定义为“地球陆地表面能生长绿色植物的疏松层，具有不断、同时为植物生长提供并协调营养条件和环境条件的能力”；环境科学家认为，土壤是重要的环境要素，是具有吸附、分散、中和、降解环境污染物功能的缓冲带和过滤器。ISO（2005）从土壤组成和发生考虑，认为土壤是“由矿物颗粒、有机质、水分、空气和活的有机体以发生层的形式组成，是经风化和物理、化学以及生物过程共同作用形成的地壳表层”。运用当代土壤圈物质循环的观点，人们对土壤的认识和理解有了不同程度的深化与拓展，对土壤的功能、作用等方面的论述更接近于对土壤本质的反映。然而目前，如何给出一个更为科学而全面的有关土壤的定义，一直是科学家关注的重点，要解决这一问题，需对土壤的组成、功能与特性有更为全面的理解，主要包括以下几点：

（1）土壤是历史自然体

土壤是由母质经过长时间的成土作用而形成的三维自然体；是考古学和古生态学的信息库、自然史文库、基因库的载体。因此土壤对理解人类和地球的历史至关重要。

（2）具有生产力

土壤含有植物生长所必需的营养元素、水分等，是农业、园艺和林业生产的基础，是建筑物与道路的基础和工程材料。

（3）具有生命力

土壤是生物多样性最丰富，能量交换和物质循环最活跃的地球表层；是植物、动物和人类的生命基础。

（4）具有环境净化能力

土壤是具有吸附、分散、中和及降解环境污染物功能的环境仓；只要土壤具有足够的净化能力，地下水、食物链和生物多样性就不会受到威胁。

(5) 中心环境要素

土壤是一个开放的系统，是自然环境要素的中心环节。作为生态系统的组成部分，可以调控物质循环和能量流动。

基于以上认识，考虑到土壤抽象的历史定位（历史自然体）、具体的物质描述（疏松而不均匀的聚积层）以及代表性的功能表征（生产力、生命力、环境净化），可将土壤做如下定义：土壤是历史自然体，是位于地球陆地表面和浅水域底部具有生命力、生产力的疏松而不均匀的聚积层，是地球系统的组成部分和调控环境质量的中心要素。这是一个相对来说比较综合的定义，较充分地反映了土壤的本质和特征。

二、土壤在环境系统中的作用与地位

土壤与水质、大气环境质量、植物品质以及人体和动物健康有着十分密切的关系。

(一) 土壤与水质

1. 土壤与水质的关系

水是人类生存不可缺少的物质，没有水就没有生命，同时，水在人类文明发展中也起着重要的作用。我国江河众多，流域面积>100km²的河流约 5 万条，流域面积>1000km²的河流越 1500 多条。水资源通常是指逐年可以恢复和更新的淡水量，我国水资源总量为 2.8×10¹²m³，少于巴西、加拿大、美国和印度尼西亚，人均水资源量仅为 2710m³，约为世界人均量的四分之一，因而保护水资源的任务十分艰巨。为了保护水资源，必须重视土壤质量的保护与提高，因为水质与土壤质量有着密切的关系（表 1-1）。

表 1-1 土壤质量与水质的关系

土壤性质与过程		对水质的影响
直接影响	母质	盐浓度、软硬度
	有机质含量	色度
	土壤结构与可侵蚀性	浊度
	CEC	可溶物负荷
	厌氧条件	BOD、COD
	质地	悬浮物负荷
间接作用	耕作方法	沉积物浓度与悬浮物负荷
	化学品输入	可溶物负荷、富营养化
	农作制度	生物量
	排水	可溶物负荷

直接与水质有关的土壤性质指标包括：

- (1) 可侵蚀性，影响水体沉积物的负荷或混浊程度；
- (2) 阳离子交换容量（CEC）和养分储量，影响淋溶强度和可溶性物质的负荷；
- (3) 土壤有机质的含量，影响淋溶容量。

水的软硬度、色度、浊度、可溶物负荷以及水体富营养化等均与土壤性质和形成过程有着直接或间接的关系，由土壤性质可以概略地推测流经地河流水的基本性质。不同河流因流经地区的土壤和地质条件不同，浑浊度可能有很大差别。水中离子的种类和流经地土壤性质有关，因而影响水的嗅和味，如浑浊河水常有泥土气和涩味，含氧较多或含硫酸钙的水略带

甜味,含氯化钠的水带咸味,含硫酸镁、硫酸钠的水带苦味,含铁的水微涩。

2. 土壤对水中污染物的控制

土壤控制着其中饱和或非饱和层水中有害物质的浓度。土壤与有害物质的关系有以下几种:

(1) 土壤作为一种含有固体、气体和水的不均匀物质,具有独特的物理和化学性质,也具有一定的化学活性,从而影响水中有害物质的浓度;

(2) 土壤固体具有较大的表面积,可作为物理和化学反应的媒介,如水解、氧化、还原。

(3) 土壤含有大量的水,因而在土壤中可发生许多水化反应。人们注意到,水始终与土壤表面紧密接触,因而不难理解水、土壤环境质量之间的关系;

(4) 土壤含有大量的微生物,它们所具有的各种各样的酶可催化有机和无机分子的转化;

(5) 土壤具有一定的孔隙度,是许多挥发性有害物质的通路;

(6) 土壤体系中多种反应可能同时出现,对许多有害物质来说,土壤是一个复杂的缓冲体系,它调节着水中许多有害物质的浓度,如果有害物质保持在土壤的交换位和有机质与矿物的吸附位上,则有可能重新释放到水中,使土壤成为二次污染源。

应当注意到,不同土壤中出现的反应可能有很大的差别,如多氯联苯(PCBs)在沙土中可能迁移到地下水中,而在富含蒙皂石的表土中,这种迁移可以完全忽略。

河流悬浮物与其流域的土壤性质关系密切,土壤性质对水中有害物质,如重金属的浓度有很大影响。废水或污染物进入水体后,立即产生两个互相关联的过程:一是水体污染过程;二是水体自净过程。水体污染的发生和发展,即水质是否恶化,要根据这两个过程进行的强度和净化的效果而定。这两个过程进行的强度与污染物性质、污染源大小和受体三方面及相互作用有关。重金属离子进入水体后,往往被河流悬浮物吸附,产生不同程度的净化作用。研究表明,悬浮物的吸附作用使许多污染物、特别是重金属离子由水中转入底泥,这是水环境污染自净的重要方式。镉(Cd)的吸附和解吸是控制天然水中Cd浓度的主要原因,其他重金属也有类似的行为,因而悬浮物对重金属的吸附能力在一定程度上可以反映河流对重金属的净化能力。但是,河流因其地域差异,悬浮物的组成、性质各不相同,因而吸附行为也不一样;此外,吸附也受到pH、温度、矿化物和悬浮物含量的影响。重金属吸附试验中的“泥沙效应”显示,在吸附质浓度固定时,单位吸附量随吸附剂含量的增大而减少,因而如何用河流漂浮物的吸附作用来比较同一河流不同地段,或同一地段丰、枯水期的净化能力,就成为了一个相当复杂的问题。我国主要河流悬浮物样品对Cd离子吸附作用的研究表明,将不同含量悬浮物所测得的分配系数进行比较时,有必要考虑其含量的影响,否则相互之间的比较可能是无意义的。但在实际条件下,各河流泥沙含量均有差异,为了排除这种“泥沙效应”,对不同河流悬浮物净化能力进行有效比较,可用吸附势这一强度因子。

(二) 土壤与大气环境质量

土壤与大气环境质量有着密切的关系。土壤圈与大气圈之间不断进行着固、液、气三相物质的交换。土壤通过绿色植物固定大气中的 CO_2 ,释放出 O_2 ;通过固氮植物固定大气中的 N_2 。植物的枯枝落叶在土壤微生物的作用下,一部分转化成土壤有机质,一部分则以 CO_2 排入大气。降雨为土壤补充水分,土壤水的蒸发和蒸腾作用是大气中水蒸气的来源之一。大气中的悬浮颗粒主要来源于土壤的风蚀过程,而大气降尘又是一些地区土壤物质的重

要来源,例如我国的黄土区、美国中部的大平原、欧洲中部、以色列及尼罗河谷。沉积黄土发育的土壤与地质历史上风力搬运物质的沉降有关。现今一些地区沙尘暴的产生在本质上也属于土壤风蚀的结果。风吹走了表土中的细小颗粒,从而使土壤贫瘠化、粗质化,进而沙漠化,风蚀是我国西北地区土壤荒漠化最为重要的作用力。

大气环境与土壤质量相互依存,要改善大气环境必须重视土壤环境的保护。从绝对质量来衡量,土壤尘埃是大气悬浮颗粒最主要的组成部分,因而大气悬浮颗粒对大气质量的影响在很大程度上取决于土壤尘埃的理化性质。我国大气颗粒物对酸的缓冲能力呈现北高南低的趋势,这与我国土壤的地带性分布一致。

1. 温室气体对土壤质量的影响

京都议定书中规定的 6 种温室气体:二氧化碳(CO_2)、甲烷(CH_4)、一氧化二氮(N_2O)、氢氟碳化合物(HFCs)、全氟碳化合物(PFCs)、六氟化硫(SF_6),它们可以吸收来自太阳、地表的热辐射或改变云层的光学性质,因而这些气体含量的变化可影响地球表面的热平衡,从而影响气候变化,这种由温室气体引起的地表热辐射变化称为“温室效应”。土壤在调节温室气体浓度中起重要作用,它是最大的陆地碳库,约为 1550Pg,氮的含量为 95Tg,如果土壤发生碳和氮的消耗,也就意味着大气的碳和氮库(主要以 CO_2 、 CH_4 和 NO_x 的形式而存在)得到补充。土壤通过有关过程在调节与土壤有关气体通量方面起着十分重要的作用,耕作措施、施肥方案和作物轮作均可影响气体通量。

直接影响土壤温室气体排放的性质包括有机碳含量、土壤温度、土壤水含量和通气程度等。和世界上多数国家一样,我国对全球变化的研究也十分重视,例如有研究计算了我国不同类型土壤中有机质和氮的库存量,计算深度为 0~200cm。

土壤碳库和氮库是地球碳库和氮库的重要组成部分,循环产生 CO_2 、 CH_4 和 NO_x 等温室气体,可影响气候变化;而气候的变化反过来又影响有机质的分解速率,从而影响温室气体的释放。在自然条件下,温度升高有利于甲烷的排放,对海南东寨港和厦门西港两个红树林土壤中 CH_4 产生率及其土壤理化因子影响的研究结果指出,相隔约 5 个纬度的两个红树林土壤 CH_4 产生率均表现为暖季较高而冷季较低的季节性变化模式,体现了温度对湿地 CH_4 排放影响的重要性。土壤含水量、有机质含量、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和 SO_4^{2-} 含量对海南红树林土壤 CH_4 产生率有影响,而厦门红树林土壤 CH_4 产生率的主要影响因素是土壤含水量、全 N 量和 $\text{Cl}^-/\text{SO}_4^{2-}$ 。海南红树林与厦门红树林 CH_4 产生的差异性,说明土壤性质与大气环境质量之间有密切的关联。 CH_4 产生率、氧化和排放皆受土壤水分历史条件的强烈影响,非水稻生长期土壤水分含量越高,随后水稻生长期 CH_4 排放量越大,产生率和氧化能力也越强。

2. SO_2 的影响

除了土壤中气体的释放受各种条件和土壤性质影响之外,土壤质量也受到大气环境质量的影响。 SO_2 作为形成酸雨最重要的前体物之一, SO_2 氧化形成酸雨或硫磺烟雾,或经液相氧化附着于大气颗粒物表面沉降至地面,对土壤质量有一定影响。葫芦岛锌厂排放 SO_2 使附近土壤中有效 S 的含量与对照组相比有一定提高,说明锌厂排放的 SO_2 对土壤质量产生了一定影响。土壤中有效 S 的含量与锌厂烟囱的高度和风力有关,依据距离的远近呈现低、高、低的变化。由于距锌厂 8km 的采样点是强风向落点,因而有效 S 含量的增加特别明显。

(三) 土壤与植物品质

“民以食为天、食以土为本”,土壤与食物链的安全有着十分密切的关系。当今食品安全

有着十分丰富的内涵，它包括食品的数量安全、质量安全、经济安全和生态安全。数量安全是食品安全的最基本要求，是指食品可以满足日益增长的需求；质量安全是指营养质量和安全质量；经济安全是指对生产者收益的保障；而生态安全则强调了清洁生产的重要性。土壤污染对农产品产量和质量有着明显的影响，植物可从污染土壤中吸收污染物，从而引起代谢失调、生长发育受阻或遗传变异。如利用炼油厂未经处理的废水灌溉，田间观察发现，水稻严重矮化，初期症状是叶片披散下垂，叶尖变红；中期症状是抽穗后不能开花授粉，形成空壳，或者根本不抽穗；后期仍继续无效分蘖。这种现象被认为是污水中油、酚等有毒物质和其他因素综合作用的结果。一些被重金属 Cd、Hg 等污染的农田所产生的粮食甚至不能食用。

随着生活水平的不断提高，人们不但追求食品的数量，而且十分重视其质量。土壤质量的好坏直接影响到作物的产量与品质，有关土壤与作物品质的研究引发了“土宜学”的诞生，强调了土壤质量对作物产量与品质的适宜性。

（四）土壤与人体和动物健康

土壤可从多种途径影响人体健康，一些疾病是由吞食土壤引起的，如果吸入含有石棉状矿物的土壤可导致恶性健康问题；病原体可导致破伤风和十二指肠疾病；被病原体污染的土壤能传播伤寒、副伤寒、痢疾和病毒性肝炎等传染病。被病原体污染的土壤又反过来污染水源，还可通过飘尘等途径传播疾病，造成疾病流行。被有机物污染的土壤，是蚊、蝇孳生和鼠类繁殖的场所，而蚊、蝇和鼠类又是很多传染病的媒介，因此，被有机废物污染的土壤，在流行病学上被视为特别危险的物质。污染土壤中的致癌物苯并芘对人类健康也有着严重的威胁。公园和庭院花园中的土壤遭到污染，可直接对人特别是儿童造成伤害，污染土壤可以通过食物链威胁人们的健康。土粒经伤口进入身体后可能导致皮肤病变；一些癌症的产生与来自土壤的氡有关；一些地区也发现婴儿的死亡率与土壤的排水不良有关。

植物支持了动物的生长，而动物为人类提供食物链中肉、奶类食物。植物吸收的大部分营养元素是溶解于土壤中水的矿物盐。土壤中营养元素的过量或缺乏，以及外源有毒化学品的侵袭、累积或污染，在其循环过程中将有可能影响植物、动物和人类食物链的组成，从而影响植物、动物和人类的正常生长与发育。

1. 土壤影响人体和动物健康的途径

（1）土壤中化学品的直接中毒

直接因土壤中化学品而中毒的现象可能是由于人为事故或地质过程。人为事故包括工业废物、化学品的不当施用，废弃物土地处理失当，土壤被重金属、有机化学品、石油产品和农药等污染。许多污染物，如重金属 Hg、Cd、Pb，有机污染物中的农药等都可存留于人的器官或脂肪中，并长期积累直至引起生理和营养混乱，甚至癌症。污染物进入土壤后，可危及农作物的生长和土壤生物的生存。

地质过程可形成地方性疾病。贵州省某地区曾发生一种不明原因的疾病，患者主要症状为头晕、耳鸣、乏力、四肢酸痛、食欲不振、视力模糊和毛发脱落等，当地居民称之为“鬼剃头”，通过水土病因调查，发现病区土壤中铊（Tl）的含量约为非病区的 40 倍，是一种罕见的慢性铊中毒。病区人群尿液、头发和指（趾）甲中铊含量均很高。

（2）土壤作为次生污染源的间接影响

土壤作为次生污染源可间接影响人体和动物的健康。土壤作为污染物的源与汇具有净化和污染环境的双重性，当水通过土壤时，土壤可作为吸附剂而吸附许多元素和化合物。在土

壤剖面中,水中的一些化合物,特别是带正电荷的化合物在进入地下水之前已被土壤吸附或沉淀。通常情况下,土壤表层富含有机质,因而水中一些有机污染物均被土壤上层所吸附。土壤也可能吸附污染气体,将其储藏于富含有机质的土壤表面。然而,当外源物质的浓度超过土壤的净化容量时,这些富集于土壤中的污染物,在适当条件下可通过雨水然后污染水体,通过风力引起飘尘污染空气,造成动物与人的健康问题。通过土壤进入水中的硝酸盐可能会带来致命的血红蛋白缺乏症、蓝婴综合征。如果在体内转化成亚硝酸盐,则有强烈的致癌作用。飘尘和沙尘暴对人的视力和呼吸道系统影响尤为明显。污染土壤还可通过水体和风力作用的传输导致其他地区表层土壤污染。

(3) 作物品质对人体和动物的影响

生长于土壤中的植物可从其中获得不足、适量或过量的必需或非必需元素,在不足和过量的情况下,作物品质降低会影响人体和动物的健康。人们对土壤中硒的含量给予很大关注,并已发现土壤中硒含量低于作物生长最佳需要量的某些地区正好与肺癌、乳腺癌、直肠癌、肾癌、食道癌和子宫癌等高发区相吻合,尽管其直接的因果关系尚需进一步研究,但也不能否认这之间有较高的相关性。我国也常发现一些奇特的地方病,这些病往往与土壤中某些微量元素的缺乏或过多有关。

2. 土壤类型与人体和动物的健康

研究表明,灰化土、沼泽土、泥炭土、腐殖土和冰碛土地区心血管病的发病率(或死亡率)较高;而在棕色土、棕钙土和黑钙土地带发病率(或死亡率)较低;在石灰岩母质上发育的土壤中碳酸钙含量高,这些地区很少见到地方病,因而认为黑钙土和碳酸盐土是一种健康的土壤。

由于土壤类型的不同,土壤中所含生物必需元素有着较大差异,对生长于其中的作物中必要元素含量及品质有着直接影响,进而影响人类和动物的健康。对于一些必需元素的缺乏与过量均可能引起植物和人体健康问题,例如硒(Se)在高浓度时有毒,而低Se或缺Se又会造成地方性疾病,病区植物所吸收的Se往往小于 0.1mg/kg 。在土壤中施用肥料和改良剂可影响Se的有效性,施用石灰石可增加Se的有效性;而硫酸盐抑制了植物对Se的吸收;磷肥的施用表现出一种混合效应。土壤遭受农药废水污染后,对土壤动物数量的影响主要是优势类群的消失,而对种类的影响主要是减少或消失以及机会种的出现。

三、土壤在环境系统中的功能

考察土壤在环境系统中的功能,主要是考察土壤与其他几个子系统,即地球表面各个圈层之间的关系。其具体功能如下:

(一) 土壤与大气圈的关系

在近地球表层,土壤与大气进行着频繁的水、气、热交换。土壤是庞大复杂的多孔隙系统,能接受并存储大气降水以供生物需要。土壤从大气吸收氧,向大气释放 CO_2 、 CH_4 等温室气体,温室气体的排放与人类的耕作、施肥和灌溉等土壤管理活动有着密切关系。

(二) 土壤与水圈的关系

水是地球表层系统中连续各圈层物质迁移的介质,也是地球上一切生命生存的源泉。土壤的高度非均质性影响降雨在地球陆地的分配,也影响元素的生物地球化学行为以及水圈的水循环与水平衡,土壤水分及其有效性在很大程度上取决于土壤的理化和生物学过程。

(三) 土壤与岩石圈的关系

土壤是岩石经过风化过程和成土作用的产物,土壤位于岩石圈和生物圈之间,属于风化壳的一部分。虽然土壤的平均厚度只有几十厘米,有的地方甚至只有几厘米,但它对岩石圈起一定的保护作用,能减少各种外营力对岩石的破坏。

(四) 土壤与生物圈的关系

土壤是动物、植物、微生物和人类生存的最基本环境和重要的栖息场所。土壤为绿色植物的生长提供水分、养分等条件,不同类型的土壤养育着不同类型的生物群落,对地球生态系统的稳定具有重要意义。

除了以上功能以外,土壤环境还起着净化、稳定和缓冲作用。土壤环境具有较强的净化能力以及较大的环境容量,人类很早就把它作为处理动物粪便、有机废物和垃圾的天然场所,现代发展起来的污水灌溉、污泥施田和垃圾处理等各种土地处理系统,更是在有意识、有目的地利用土壤的环境功能和环境容量。然而土壤环境的稳定与缓冲作用是有限的,如果输入污染物质的数量和速度超过了土壤的自净能力和容纳能力,土壤环境将会遭到严重破坏;一旦土壤环境受到污染,不但土壤本身的治理难度加大、周期变长,污染物质还会通过各种途径向大气、水和生物环境迁移,产生“次生污染”。

第二节 土壤污染概况

一、土壤污染

土壤是一个开放的生态系统,它和外界进行着连续、快速、大量的物质和能量交换。在进入土壤的物质中,植物落叶和动物残骸等可以被土壤环境快速转化利用,成为维持自身功能的一部分,这些物质对于土壤环境基本上不会造成危害。有些物质可以被土壤吸附或降解并达到稳定状态,但当远远超出土壤吸附和降解能力的大量该物质进入土壤后,则可能成为土壤的污染物。此外,有些并非土壤需要的,会损坏、降低土壤质量和肥力,影响植物生物量和生长状态,以及有害人体健康的物质统称为土壤环境污染物质。土壤环境污染直接影响土壤的结构和功能。在功能上,土壤环境污染导致土壤肥力下降,对营养物质、水分及其他物质的运输能力下降,致使植物生长缓慢或无法生长;在结构上,土壤环境污染可以导致土壤板结、透水能力下降、pH 发生较大变化等。

土壤是人类和动物赖以生存的环境,土壤污染直接影响人类和其他生物的生存,土壤污染也会导致大气和水体的污染。

(一) 土壤污染的影响因素

土壤与大气、水、植物、动物和微生物之间具有紧密的相关关系。土壤对污染物具有较强的缓冲能力,同时土壤对污染物的转化也十分活跃。土壤可以对污染物进行吸附,进而使污染物的化学性质变得较为稳定,土壤可以接纳较多污染物,而不发生污染。土壤中的污染物质还可以通过化学或生物转化变成无污染或低污染的物质,也可以转化成高毒性物质而造成更严重的污染。在土壤环境中,污染物的迁移转化效应与土壤内在特征紧密相关,同时植被、pH、气候和人类活动等外部因素对土壤污染物的归宿和效应也具有较大影响。