

■ 当代环境科学技术丛书

turangwuran

土壤污染 及其防治

jiqifangzhi

主编

夏立江 王宏康

华东理工大学出版社



当代环境科学技术丛书

土壤污染及其防治

夏立江 王宏康 主 编

华东理工大学出版社

内 容 简 介

本书简明介绍了土壤的组成和性质、土壤背景值、土壤环境容量等,较全面深入地阐述了土壤重金属污染、土壤有机物污染,以及大气酸沉降、污水灌溉、固体废弃物、化肥施用等对土壤环境的影响。在介绍基本和主要内容的基础上,讨论了当今土壤污染修复的最新方法和研究进展。本书可作为环境科学有关专业的教材或参考书,也适用于从事环境保护和环境科学研究工作的人员阅读。

图书在版编目(CIP)数据

土壤污染及其防治/夏立江,王宏康主编. —上海:华东理工大学出版社, 2001.7

(当代环境科学技术丛书)

ISBN 7-5628-1163-6

I.土... II.①夏...②王... III.土壤污染-污染防治. IV.X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 16854 号

土壤污染及其防治

当代环境科学技术丛书

夏立江 王宏康 主 编

华东理工大学出版社出版发行 上海市梅陇路 130 号 邮编 200237 电话(021)64250306 网址 www.hdlgpress.com.cn 新华书店上海发行所发行经销 上海崇明晨光印刷厂印刷	开本 850×1168 1/32 印张 7.625 字数 204 千字 版次 2001 年 7 月第一版 印次 2001 年 7 月第一次 印数 1-3000 册
ISBN 7-5628-1163-6/TQ.81	定价:10.00 元



作者简介

夏立江，1955年10月生，毕业于南开大学化学系，现为中国农业大学资环学院副教授，主要从事环境污染化学方面的教学与研究工作。编著的相关著作有“土壤污染生物修复技术”，“环境化学”，“水体污染与防治概论”等。



作者简介

王宏康，1930年6月生，中国农业大学资环学院教授。长期从事环境监测、污泥农用、污水灌溉、土壤和作物中有毒元素背景值、土壤污染和土壤标准等研究。国内外发表论文约近百篇。曾多次赴美、日、德、澳和香港地区开展合作研究、参加国际会议或讲学。

前 言

当前全球的环境问题日益严重,土壤作为环境要素的重要组成部分,处在自然环境的中心位置,承担着来自工业和生活废水、固体废弃物、农药化肥及大气降尘和酸雨等各方面的 90% 的污染物。目前人们已经认识到,要做好大气和水环境的保护工作,必须同时做好土壤环境的污染防治研究,因为土壤环境质量的研究与保护将有助于整个生态环境质量的改善与提高。近年来,欧美诸国已投入大量人力财力开展土壤污染修复的研究,化学与生物相结合的土壤修复技术已成为国外研究的热点。本书在介绍土壤组成与性质和土壤主要污染物的基础上,介绍了土壤污染的修复技术和研究应用。注意吸收了国内外土壤污染防治研究的新方法和研究成果。

本书由夏立江、王宏康主编,其中第九章和第十章由温小乐编写。

限于学识水平,书中难免有欠缺和不妥之处,敬请读者批评指正。

编 者

2001 年 5 月

目 录

绪言	(1)
第一章 土壤的组成与性质	(4)
第一节 土壤的组成	(4)
一、土壤组成	(4)
二、土壤的机械组成(质地)	(7)
第二节 土壤的性质	(8)
一、土壤的吸附性	(8)
二、土壤的酸碱性	(11)
三、土壤的氧化还原性	(14)
四、土壤中的生物体系	(15)
第三节 土壤环境背景值与环境容量	(17)
一、土壤环境背景值的概念	(17)
二、土壤环境背景值的应用	(19)
三、土壤环境容量	(24)
第二章 土壤环境的污染与净化	(26)
第一节 土壤污染概念	(26)
一、土壤污染与污染判定	(26)
二、土壤污染的特点	(27)
第二节 土壤环境的自净作用	(28)
一、土壤自净作用	(28)
二、影响土壤自净作用的因素	(31)
三、土壤环境的缓冲性能	(32)
第三节 土壤污染物及污染源	(33)
一、土壤污染物	(33)
二、土壤污染源	(35)
三、土壤污染防治	(36)

第三章 土壤重金属污染	(37)
第一节 土壤重金属污染的特点	(37)
一、土壤中的重金属污染	(37)
二、重金属污染的特点	(38)
第二节 重金属在土壤中的迁移	(40)
一、重金属在土壤中的赋存形态	(40)
二、重金属在土壤中的迁移	(41)
第三节 重金属在土壤-植物体系中的迁移	(45)
一、重金属在土壤-植物体系中的迁移	(45)
二、植物对重金属污染产生耐性的几种机制	(46)
第四节 土壤重金属污染	(49)
一、汞污染	(49)
二、镉污染	(57)
三、铅污染	(63)
四、铬污染	(67)
五、砷污染	(73)
六、铜和锌污染	(77)
七、锰污染	(79)
八、镍污染	(81)
九、铝污染	(82)
第四章 土壤重金属污染的调控与修复	(87)
第一节 土壤重金属污染源的控制	(87)
一、控制含有重金属的有害气体和粉尘的超标排放	(87)
二、严格执行污灌水质标准和控制污水超标排放	(87)
三、控制污泥、垃圾等固体废弃物的排放和使用	(88)
四、发展清洁工艺	(88)
第二节 土壤重金属污染的调控措施	(89)
一、施用改良剂	(89)
二、调节土壤 <i>Eh</i> 值	(97)

第三节	土壤重金属污染的工程治理措施	(98)
一、	客土法、换土法	(98)
二、	水洗法	(99)
三、	电动力学法	(99)
四、	热解吸法	(99)
五、	淋溶法	(100)
第四节	土壤重金属污染的生物修复	(100)
一、	植物修复技术	(101)
二、	微生物修复技术	(107)
第五章	土壤农药污染与防治	(112)
第一节	农药使用状况概述	(112)
一、	常用农药的种类	(112)
二、	农药的危害	(116)
第二节	土壤中农药的迁移转化	(118)
一、	土壤对农药的吸附作用	(118)
二、	农药在土壤中的迁移	(122)
三、	农药在土壤中的降解	(124)
四、	农药在土壤中的残留	(129)
第三节	农药在环境中的影响与去除	(131)
一、	农药对土壤微生物和生化过程的影响	(131)
二、	从土壤中去掉残留农药	(133)
第六章	土壤典型有机污染物及其他污染物	(135)
第一节	土壤石油污染及修复	(135)
一、	石油及其对土壤的污染	(135)
二、	石油污染土壤的主要途径	(136)
三、	石油污染土壤微生物修复	(137)
第二节	土壤有毒有机物污染	(142)
一、	酚污染	(142)
二、	苯并[a]芘污染	(143)

三、多氯联苯(PCBs)污染	(144)
四、二噁啉污染	(145)
第三节 土壤氟污染	(151)
一、土壤中氟的污染来源	(151)
二、土壤中氟的迁移与累积	(152)
三、土壤氟污染的危害及其防治	(152)
第四节 土壤放射性污染	(154)
一、土壤中放射性物质的来源	(154)
二、土壤中放射性物质的积累和危害	(155)
三、土壤放射性污染的防治	(155)
第五节 土壤生物污染	(156)
第七章 大气酸沉降对土壤的影响	(159)
第一节 酸沉降污染概况	(159)
一、酸沉降的化学特点	(159)
二、我国的酸雨分布和特点	(160)
第二节 酸沉降的形成及影响因素	(162)
一、致酸污染物的来源	(162)
二、污染物的转化	(163)
三、影响酸雨形成的因素	(164)
第三节 酸沉降对土壤的影响	(165)
第八章 污水灌溉对土壤的影响	(168)
第一节 概述	(168)
第二节 灌溉污水中的污染物及来源	(169)
一、污水的水质指标	(169)
二、灌溉污水中的主要污染物质	(172)
三、灌溉污水的来源	(174)
四、我国主要污灌区土壤污染状况	(177)
第三节 污水灌溉的生态效应	(179)
一、灌溉污水中离子态物质的生态效应	(179)

二、灌溉污水中重金属的生态效应	(181)
三、灌溉污水中有机污染物的生态效应	(184)
第九章 固体废弃物对土壤环境的影响	(187)
第一节 固体废弃物概论	(187)
一、固体废弃物的概念	(187)
二、固体废弃物的来源及分类	(187)
三、固体废弃物的排放量	(188)
四、固体废弃物的处理及其综合利用	(189)
五、固体废弃物对环境的影响	(191)
第二节 生活垃圾及其对土壤环境的影响	(192)
一、生活垃圾概况	(192)
二、生活垃圾对土壤环境的影响	(195)
三、生活垃圾资源化利用	(197)
第三节 污泥对土壤环境的影响	(200)
一、污泥概况	(200)
二、污泥土地施用对土壤环境的影响	(203)
三、污泥土地施用的控制措施	(204)
第四节 粉煤灰对土壤环境的影响	(205)
一、粉煤灰的组成及性质	(206)
二、粉煤灰对土壤环境的影响	(206)
三、粉煤灰的资源化综合利用	(207)
第十章 农用化肥对土壤环境的影响	(208)
第一节 化肥概况	(208)
一、化肥的主要成分及其生产利用情况	(208)
二、化肥的增产作用	(209)
三、化肥施用过程中存在的问题	(210)
第二节 化肥使用对土壤环境以及水体、大气的影	(211)
一、化肥自身的污染特性	(211)
二、长期使用化肥对土壤环境的影响	(213)

三、化肥对水体的污染影响	(216)
四、化肥对大气的污染影响	(217)
五、化肥对生物的危害	(218)
第三节 土壤中化肥污染的控制与防治对策	(218)
一、确定化肥的最适施用量	(219)
二、氮、磷、钾肥配合施用	(219)
三、化肥与有机肥配合施用	(220)
四、地区间平衡施肥	(220)
五、针对土壤污染,改进施肥方法	(221)
附录 1 土壤环境质量标准	(222)
附录 2 农田灌溉水质标准	(225)
附录 3 农用污泥中污染物控制的标准	(229)

绪 言

土壤是自然环境要素的重要组成部分之一,它是处在岩石圈最外面的一层疏松的部分,具有支持植物和微生物生长繁殖的能力,被称为土壤圈。土壤圈处于大气圈、岩石圈、水圈和生物圈之间的过渡地带,是联系有机界和无机界的中心环节。土壤具有两个重要的功能,一是土壤为农业生产的基础,是人类生活的一项极其宝贵的自然资源。二是土壤具有同化和代谢外界进入土壤的物质的能力。以环境科学角度看,土壤不仅是一种资源,还是人类生存环境的重要组成部分。即作为环境的组成要素。由于土壤环境的特殊物质组成、结构、空间位置,除了肥力外,尚具有一些重要的客观属性——土壤环境的缓冲性、同化和净化性能。这些性能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。认识土壤肥力特性,生产性能与缓冲、同化和净化性能之间存在的内在联系,会使我们更加深刻认识到合理利用土壤资源和保护土地环境的内涵及其深远的意义。

土壤曾被认为具有无限抵抗人类活动干扰的能力。其实,土壤也是很脆弱又容易被人类活动所损害的环境要素。土壤环境一旦遭受污染便难于治理,其危害是深远的。由于受人为活动与土地利用不当的影响,我国土壤与环境问题日趋突出,这主要表现在土壤退化与环境污染两方面。据统计,在土壤退化问题上,全国有15万公顷土地(占全国的1/3)遭受水蚀,有1万公顷耕地遭受盐渍化,风蚀与荒漠化面积达0.33万公顷。耕地养分有不同程度的

减退,在环境污染方面,全国有 13 条流经城市的河流遭受工业污水的污染;固体废弃物堆压土地达 0.055 万公顷;空气污染 TSP(总悬浮颗粒物)值,华南为 $119\mu\text{g}/\text{m}^3$, 在华北竟高达 $526\mu\text{g}/\text{m}^3$;全国 SO_2 的排放占发展中国家的一半,南部地区酸雨的 PH 值 < 5.6 ,甚至小于 3.4。土壤环境不同程度的受到了重金属污染、农药有机物污染、化肥污染和放射性元素污染,而且造成地下水和地表水污染,直接危及人类的健康。因此,为了使土壤圈永远成为适于人类生存的良好环境,保护土壤环境是每个人义不容辞的责任。

人类活动对土壤生态环境的影响有以下几个方面:

1. 施用化肥和农药

大量施用农药会造成土壤直接污染,而且会造成地下水和地表水污染。施用化肥本来是为提高土壤肥力增加作物产量,但若施用不当,会使作物贪青、倒伏而减产,同时引起土壤中营养元素的不平衡,并且通过挥发与蒸发进入大气或迁移进入地表水和地下水环境,影响大气和水环境的发展变化。

2. 污水灌溉和污水处理系统对土壤生态环境的影响

污水灌溉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,解决水资源缺乏和污水资源化的重要应用工程措施。但土壤的环境容量有限,而污水的成分和水质变化又极为复杂,因而污水灌溉和污水土地处理系统对土壤环境污染防治和生态环境保护都是需要研究的重要土壤环境问题。

3. 固体废弃物对土壤生态环境的影响

土壤向来都作为废弃物的处理场所。随着工农业生产的发展和城市扩大化,固体废弃物的种类和数量、成分日益增多和复杂化。如工矿业的固体废弃物包括金属矿渣、煤矸石、粉煤灰、城市垃圾、污泥、塑料废弃物等。对土壤资源侵占、污染,化学成分复杂并难于降解,对土壤生态环境影响深刻。因此,它已成为今后必须重视研究和解决的土壤环境中的一大问题。

4. 大型建设项目对土壤生态环境的影响

大型建设项目系指一些大型的水利枢纽工程、煤矿、铁矿、重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。它们侵占、破坏、淹没土壤,污染和破坏土壤生态环境,改变土地利用类型,这都是对土壤环境的重要影响,并随之相应地对社会环境产生一系列的影响,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是今后的重大课题。

5. 大气酸沉降与土壤酸化

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,以至土壤生态环境的改变,影响到植物的正常生长发育。这就是所说的酸雨对土壤生态环境产生的生态效应问题,至少已成为全球性的重要区域环境问题。

6. 全球变化与人类利用开发中的土壤生态环境问题

全球变化是人们所关注的焦点:首先是全球气候变化,而全球气候温度上升变暖,对于冻土带的冻融变化,自然地带界限的移动,某些区域的旱化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,在全球性气候变化的背景下,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也将产生深刻的影响。人们将重新刻画和描绘制做世界土壤退化图,预测全球变化和土壤环境变化,以及应采取何种保护措施与对策,将是土壤生态环境研究与生态保护的重大研究课题。

土壤环境污染防治研究的目的,是由于输入土壤环境污染物的量和速度超过了土壤环境对该物质的承载和容纳能力。土壤环境污染一旦发生,便难于治理。应采取预防为主,立法管理和综合治理相结合的措施。为此就要通过调查研究,弄清土壤环境的污染源、污染途径、污染的范围和程度,为防治土壤环境的污染提出科学依据。

第一章 土壤的组成与性质

第一节 土壤的组成

一、土壤组成

土壤是由固体、液体和气体三相共同组成的多相体系,它们的相对含量因时因地而异。

土壤固相包括土壤矿物质和土壤有机质。土壤矿物质占土壤的绝大部分,约占土壤固体总重量的90%以上。土壤有机质约占固体总重量的1%~10%,一般在可耕性土壤中约占5%,且绝大部分在土壤表层。土壤液相是指土壤中水分及其水溶物。土壤中有无数孔隙充满空气,即土壤气相。典型土壤约有35%的体积是充满空气的孔隙。所以土壤具有疏松的结构。

1. 土壤矿物质

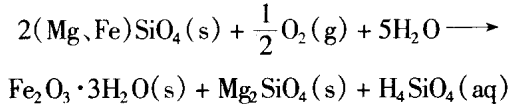
土壤矿物质是岩石经过物理风化和化学风化形成的。按其成因类型可将土壤矿物质分为两类:一类是原生矿物,它们是各种岩石(主要是岩浆岩)受到程度不同的物理风化而未经化学风化的碎屑物,其原来的化学组成和结晶构造都没有改变;另一类是次生矿物,它们大多数是由原生矿物经化学风化后形成的新矿物,其化学组成和晶体结构都有所改变。在土壤形成过程中,原生矿物以不同的数量与次生矿物混合成为土壤矿物质。

(1) 原生矿物。原生矿物主要有石英、长石类、云母类、辉石、

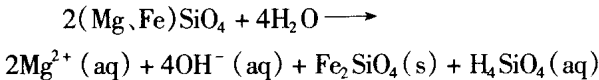
角闪石、橄榄石、赤铁矿、磁铁矿、磷灰石、黄铁矿等。其中前五种最常见。土壤中原生矿物的种类和含量,随母质的类型、风化强度和成土过程的不同而异。土壤中 1~0.001mm 的砂和粉砂几乎全部是原生矿物。在原生矿物中,石英最难风化,长石次之,辉石、角闪石、黑云母易风化。因而石英常成为较粗的颗粒,遗留在土壤中,构成土壤的砂粒部分;辉石、角闪石和黑云母在土壤中残留较少,一般都被风化为次生矿物。

岩石化学风化主要分为三个历程,即氧化、水解和酸性水解。

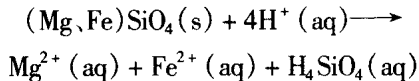
氧化:以橄榄石为例,其化学组成为 $(\text{Mg}, \text{Fe})\text{SiO}_4$, 其中 $\text{Fe}(\text{II})$ 可以氧化为 $\text{Fe}(\text{III})$ 。



水解:



酸性分解:



风化反应释放出来的 Fe^{2+} 、 Mg^{2+} 等离子,一部分被植物吸收;一部分则随水迁移,最后进入海洋。 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 形成新矿; SiO_4^{4-} 也可与某些阳离子形成新矿。土壤中最主要的原生矿物有四类:硅酸盐类矿物、氧化物类矿物、硫化物类矿物和磷酸盐类矿物。其中硅酸盐类矿物占岩浆岩重量的 80% 以上。

(2) 次生矿物。土壤中次生矿物的种类很多,不同的土壤所含的次生矿物的种类和数量也不尽相同。通常根据性质与结构可分为三类:简单盐类、三氧化物类和次生铝硅酸盐类。

次生矿物中的简单盐类属水溶性盐,易淋溶流失,一般土壤中较少,多存在于盐渍土中。三氧化物和次生铝硅酸盐是土壤矿物