

“十二五”国家重点图书出版规划项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目

SOIL TURANG WURAN YU JIANKANG 土壤污染与健康

主编 / 周宜开 王琳

环境污染与健康研究丛书·第一辑

名誉主编 / 魏复盛 刘以训
丛书主编 / 周宜开

本书对国内近十年土壤污染与健康研究情况进行梳理，阐述了土壤铅、镉、铬、硝酸盐、亚硝酸盐、氨基甲酸酯类农药、多环芳烃、多氯联苯、二噁英、邻苯二甲酸酯等污染的来源、在人体内的代谢、对健康的危害，并提出针对这些污染危害的防治措施。



SOIL

TURANG WURAN
YU JIANKANG

土壤污染与健康

主编 / 周宜开 王 琳

图书在版编目(CIP)数据

土壤污染与健康 / 周宜开, 王琳主编. —武汉:
湖北科学技术出版社, 2015. 12
(环境污染与健康研究丛书 / 周宜开主编. 第1辑)
ISBN 978-7-5352-8333-7

I. ①土… II. ①周… ②王… III. ①土壤污染—影响—
健康 IV. ①X530.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 259462 号

责任编辑:冯友仁 高雅琪

封面设计:戴 旻

出版发行:湖北科学技术出版社

电话:027-87679447

地 址:武汉市雄楚大街 268 号

邮编:430070

(湖北出版文化城 B 座 13—14 层)

网 址:<http://www.hbstp.com.cn>

印 刷:武汉市金港彩印有限公司

邮编:430023

889×1194

1/16

22.75 印张

633 千字

2015 年 12 月第 1 版

2015 年 12 月第 1 次印刷

定价:98.00 元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

“十二五”国家重点图书出版规划项目
湖北省学术著作出版专项资金资助项目

环境污染与健康研究丛书·第一辑

丛书编委会

名誉主编 魏复盛 (中国工程院, 院士)

刘以训 (中国科学院, 院士)

丛书主编 周宜开 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院, 教授)

丛书编委 (按姓氏拼音排序)

陈建伟 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院, 教授)

郭新彪 (北京大学公共卫生学院, 教授)

荆 涛 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院, 副教授)

李君文 (军事医学科学院卫生学环境医学研究所, 教授)

刘烈刚 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院, 教授)

鲁文清 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院, 教授)

宋伟民 (复旦大学公共卫生学院, 教授)

王 琳 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院, 副教授)

王 齐 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院, 副教授)

杨 旭 (华中师范大学生命科学学院, 教授)

杨明亮 (湖北省卫生和计划生育委员会, 主任医师)

姚 平 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院, 教授)

《土壤污染与健康》

编 委 会

主 编 周宜开 王 琳

副主编 荆 涛 王 齐

编 委(按姓氏拼音排序)

毕勇毅 常 薇 陈 坤 陈建伟 段燕英 荆 涛 梁晓晖 鲁 青
唐少文 王 琳 王 齐 叶临湘 张 荣 张青碧 赵焕虎 郑 丹
周宜开 朱业湘

编 者(按姓氏拼音排序)

毕勇毅 (武汉大学公共卫生学院)
毕卓悦 (武汉大学公共卫生学院)
常 薇 (武汉科技大学公共卫生学院)
陈 坤 (浙江大学公共卫生学院)
陈建伟 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)
崔 琰 (西南医科大学公共卫生学院)
丁 烨 (浙江大学公共卫生学院)
段燕英 (中南大学公共卫生学院)
荆 涛 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)
梁晓晖 (武汉大学公共卫生学院)
鲁 青 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)
唐少文 (南京医科大学公共卫生学院)
王 红 (武汉大学公共卫生学院)
王 琳 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)
王 齐 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)
熊北斗 (武汉大学公共卫生学院)
叶临湘 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)
张 荣 (河北医科大学公共卫生学院)
张苗旋 (武汉大学公共卫生学院)
张青碧 (西南医科大学公共卫生学院)
赵焕虎 (中央民族大学中国少数民族传统医学研究所)
郑 丹 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)
周宜开 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)
朱业湘 (华中科技大学同济医学院公共卫生学院)

序 一

环境是人类赖以生存和发展的物质基础,也是与人类健康密切相关的重要条件。我国改革开放以来,经济持续快速发展,但环境污染问题也十分突出。环境污染不仅影响经济、社会的可持续发展,还极大地威胁着人类的生存环境,地球生态平衡和人类自身健康。因此,人类应该通过提高环境知识水平,增强自身的环境意识,认清环境与健康的关系,规范自己的社会行为,确立保护环境就是保护人类自身健康的观念。政府应努力建立保护环境的法规,制订相关标准,避免环境退化和失衡。我国政府历来高度重视环境保护,在国民经济和社会发展“十·五”纲要中,对环境保护提出了明确要求,相继制定了环境保护相关的法律和法规,采取了一系列积极有效的保护和治理措施,提高城乡环境质量,努力遏止生态环境恶化并在环境污染与人群健康方面开展了系统研究,取得了一些进展,但离环境保护终极目的——保护人类健康的要求还任重而道远。

环境问题与人们的生活息息相关,为人民群众所关注,在这样的时代背景下,湖北科学技术出版社联合华中科技大学同济医学院,组织全国公共卫生领域专家学者,编写了这一套《环境污染与健康研究丛书》,丛书紧密联系环境污染及其对健康影响问题,从空气、土壤、水、食品等多个角度,系统阐述国内环境污染与健康研究最新成果,特别剖析了雾霾、装修污染物、藻类污染和重金属污染等重点、热点环境问题。《环境污染与健康研究丛书》第一辑共五本,分别为《空气污染与健康》《水污染与健康》《土壤污染与健康》《食品污染与健康》《环境重金属污染人群健康风险和损害评估技术》。丛书构架清晰,结构合理,内容丰富。既全面总结、梳理了我国环境污染与健康研究领域近十年的研究成果,为广大科研工作者提供了一套权威的研究参考资料,同时还提出了这一研究领域中存在的问题与研究的难点,并对这些问题与难点进行了探索与讨论,这将促进国内环境污染与健康研究领域更多地沟通与交流,助推研究工作的进一步深入。

丛书的编写主题符合国计民生需求,符合党的十八届三中全会提出的我国生态文明建设的主题目标,其编写与出版具有积极的社会意义。丛书编委会集合了我国环境与健康研究领域的顶尖学者力量,他们学识丰厚,治学严谨,严格遵守各项学术规范,保证了本丛书较高的学术水准与学术价值。环境保护是我国一项基本国策。保护环境,减少污染,遏制生态恶化,是环境保护的主要任务。良好的环境对经济、社会的发展和人类健康具有积极的促进作用。本丛书的出版,既可为相关政策的制定提供权威的参考资料,还能提升广大读者环保意识,增进人民群众对环境与健康的认识。鉴于此,我们乐意将本书推荐给广大读者,是为序。

中国工程院院士

魏复成

2015年12月

序 二

环境与人类健康有着密切的关系。人与环境是一个不可分割的物质与能量整体,环境提供人类赖以生存的物质基础,人体通过新陈代谢与外界环境不断地进行物质交换与能量交换,使人体与外界环境之间保持着一种动态平衡,这种动态平衡是维持人体与环境健康的前提。良好的环境使人心情愉快、心旷神怡、精神焕发,有益于人类身心健康,有助于更好地发挥其积极性、主动性、创造性,进而促进环境保护与生态文明建设。改革开放以来,我国经济持续快速发展,取得了举世瞩目的成绩。但能耗、物耗也随之增加,主要污染物排放总量也快速增长,环境污染不仅影响我国经济社会的可持续发展,也会影响人民群众的身体和生活质量。

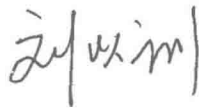
环境污染物影响人体健康有两大特点:一是影响范围大,因为所有的污染物都会随生物地球化学循环对所有的接触者产生影响;二是作用时间长,因为许多有毒物质在环境中及人体内的降解较慢。环境污染物进入人体的主要途径是呼吸道和消化道,也可经皮肤和其他途径进入。污染物进入人体后,由血液输送到人体各组织。不同的有毒物质在人体各组织的分布状况不同。毒物长期隐藏在组织内,并能在组织内富集,造成机体的潜在危险。环境污染对人体健康往往造成急性危害、慢性危害和远期危害。当污染物在短期内大量侵入人体,常会造成急性危害;当污染物长期以低剂量持续不断地进入人体,则会产生慢性危害和远期危害。

一直以来,我国研究者在环境污染与人类健康的关系方面做了大量的相关研究。首先,空气、水、土壤、食品是与人类生存息息相关的环境物质基础,总结研究它们与人类健康之间的关系十分必要,也具有十分重要的意义。其次,环境是全人类共同关心的问题,但在不同的国家、不同的地区,因为社会经济发展与人类生活习惯等多种原因,人们需要面对不同的环境情况与环境问题,因此,总结研究富有我国本土特色的环境与健康问题,也十分必要。

本套《环境污染与健康研究丛书》,密切关注了我国国内环境污染情况,紧密联系国内特殊地理、天气、经济与社会发展情况,剖析了国内多个近年来被广泛关注的环境问题,具有极强的实践指导作用;同时本书侧重探究环境污染物对人类健康的影响,对环境作用的健康效应进行了重点探究,目前国内外尚无如此全面关注我国环境污染与健康问题的系统专著,本书的编写与出版将填补这一空白,具有重要的学术价值与社会效益。

本书的编撰队伍包括华中科技大学、北京大学、复旦大学、武汉大学、中国疾病预防控制中心等多所高校和科研院所的环境卫生领域的专家学者,他们常年活跃在环境卫生研究领域的第一线,他们的参与,确保图书代表了我国环境污染与健康研究的最高水平。希望本丛书的出版能够促进我国环境健康事业的发展,为人与环境的和谐发展做出贡献。

中国科学院院士



2015年12月

前 言

土壤是人类生活极其宝贵的自然资源,是陆地生态系统的核心及食物链的首端。随着我国社会经济的迅速发展,人民生活水平的提高,人们在生产和生活活动中排出的有害物质进入土壤,导致土壤污染问题日益突出,对农产品安全和人体健康构成严重威胁。土壤环境问题已成为损害公众健康和社会稳定的重要因素。

土壤环境的多介质、多界面、多组分及其特有的物理和化学特征,决定了土壤污染具有隐蔽性、累积性、滞后性和不可逆转性等特点。土壤污染不像大气污染和水环境污染比较直观,往往需要通过对土壤样品和农作物的残留进行检测分析,甚至通过研究对人畜健康状况的影响才能确定。土壤污染物不如大气污染物和水体污染物容易扩散和稀释,因此容易在土壤中不断累积,同时也使土壤污染具有很强的地域性,成为顽固的环境污染问题。由于这些特点,土壤污染与人体健康关系的认识和研究,比大气污染和水污染对健康影响的认识和研究要困难得多。迄今为止,人们对土壤污染与人体健康之间的关系尚缺乏全面、系统、深入的科学研究。

为适应国家社会经济发展和土壤环境保护工作的需要,阐明土壤污染与人体健康之间的关系,我们在总结多年的教学科研和实践经验的基础上,查阅国内外大量关于土壤污染与健康的研究进展文献,编写成《土壤污染与健康》一书。该书内容分为总论和各论两个部分,第一章至第五章论述土壤及其卫生学意义、土壤污染的健康危害途径、土壤卫生监测以及土壤污染人群健康风险评估方法。第六章至第十六章分述土壤中主要重金属污染物、无机污染物、农药、有机污染物以及生物性和放射性污染对人体健康的影响。

本书可为环境保护、公共卫生和农牧业等相关专业人员开展土壤污染与健康调查研究工作提供理论支持和技术指导,也可用于制定和修订土壤卫生标准,开展土壤污染与健康的调查和监测、土壤污染健康风险评估、制定土壤环境保护和污染防治对策提供有价值的参考。

本书在编写过程中得到许多专家的支持和帮助,编者和研究生也付出了辛勤的劳动,在此表示衷心的感谢和敬意。由于土壤污染与健康的理论和研究方法发展迅猛,本书在编写过程中对一些知识的阐述难免有遗漏和不足,编者虽多方努力,但鉴于水平有限,经验不足,书中存在的缺漏恳请专家同仁和读者批评指正,以便再版时修改和补充。

编者
2015年7月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 土壤污染概述	1
第二节 土壤污染的危害	3
第三节 土壤污染防治与健康	5
第二章 土壤环境及卫生学意义	9
第一节 土壤组成、性质	9
第二节 土壤背景值、环境容量、自净	14
第三节 土壤卫生问题	19
第四节 土壤卫生研究	29
第三章 土壤污染的健康危害途径	39
第一节 土壤污染物进入人体的途径	39
第二节 人体对土壤污染物的代谢	42
第三节 土壤污染物对人体健康的影响	49
第四节 土壤污染与农产品安全	54
第四章 土壤卫生监测与防护	60
第一节 土壤污染调查、监测与评价	60
第二节 土壤卫生防护	68
第三节 土壤卫生监督	78
第五章 人群健康风险评价	87
第一节 健康风险评价概述	87
第二节 健康风险评价方法	89
第三节 NAS 四步法的基本程序和内容	91
第四节 人群健康风险评价研究实例	104
第六章 土壤铅污染与健康	111
第一节 土壤铅污染来源与现状	111
第二节 铅在人体内的代谢	114
第三节 铅污染对健康的危害及机制	115
第四节 医学防治策略和措施	123
第七章 土壤镉污染与健康	133
第一节 镉的污染来源与现状	133



第二节 镉在人体内的代谢	135
第三节 镉污染对健康的危害及机制	136
第四节 医学防治策略和措施	144
第八章 土壤铬污染与健康	147
第一节 铬污染的来源与性状	147
第二节 铬在组织中的分布	148
第三节 铬污染对健康的危害及机制	152
第四节 医学防治措施	156
第九章 土壤硝酸盐和亚硝酸盐污染与健康	159
第一节 硝酸盐和亚硝酸盐污染来源与现状	159
第二节 硝酸盐和亚硝酸盐在体内的代谢	162
第三节 硝酸盐和亚硝酸盐污染对健康的危害	163
第四节 医学防治策略和措施	165
第十章 土壤氨基甲酸酯类农药污染与健康	168
第一节 氨基甲酸酯类农药的污染来源与污染现状	168
第二节 氨基甲酸酯类农药的体内代谢	171
第三节 氨基甲酸酯类农药污染对健康的危害	172
第四节 氨基甲酸酯类农药中毒的防治措施	184
第十一章 土壤多环芳烃污染与健康	189
第一节 多环芳烃污染来源	189
第二节 多环芳烃在人体内的代谢	194
第三节 多环芳烃污染对健康的危害	197
第四节 医学防治措施	200
第十二章 土壤多氯联苯污染与健康	204
第一节 多氯联苯的结构与性质	204
第二节 土壤多氯联苯的污染来源与现状	206
第三节 多氯联苯在人体内的代谢与毒作用机制	211
第四节 多氯联苯污染对健康的危害	215
第五节 多氯联苯污染的防治措施	222
第十三章 土壤二噁英污染与健康	228
第一节 二噁英的污染来源与现状	228
第二节 二噁英的体内代谢与生物学效应	232
第三节 二噁英污染对健康的危害	235
第四节 医学防治措施	244



第十四章 土壤邻苯二甲酸酯污染与健康	254
第一节 邻苯二甲酸酯污染来源	254
第二节 邻苯二甲酸酯在人体内的代谢	261
第三节 邻苯二甲酸酯污染对健康的危害	269
第四节 医学防治措施	275
第十五章 土壤生物性污染与健康	280
第一节 生物性污染来源与现状	280
第二节 生物性污染基础	281
第三节 土壤生物性污染对健康的危害	286
第四节 医学防治措施	291
第十六章 土壤其他污染物与健康	295
第一节 无机物污染与健康	295
第二节 有机物污染与健康	307
第三节 放射性污染与健康	326
附 录	331
附录 1	331
附录 2	333
附录 3	334
附录 4	335
附录 5	336
附录 6	342
附录 7	348

第一章 绪 论

地球陆地表面具有一定肥力、能够生长植物的疏松表层称为土壤。土壤和空气、水一样是环境的基本要素之一,也是人类赖以生产、生活和生存的物质基础。土壤处于大气圈、水圈、岩石圈和生物圈之间的过渡地带,是联系无机界和有机界的重要环节。然而随着工业化的发展和城市化的进程,人为因素对土壤的污染和破坏日益加重,当污染负荷超出了土壤所能承载的环境容量时,往往会导致严重的环境卫生问题,从而影响人体健康,制约经济和社会的发展。因此对土壤污染及其健康效应的研究是现代环境科学的一项重要任务。准确及时地评估土壤受污染的情况和所产生的环境健康效应,才能为保护环境和人体健康,以及制定相关的卫生决策和环境管理决策提供科学依据。

第一节 土壤污染概述

一、土壤污染的概念及特点

(一)土壤污染

1. 概念 土壤生态系统由于外来物质、生物或能量的输入,超过了土壤的净化能力,使其有利的物理化学及生物特性遭受破坏而减低或失去正常功能的现象称为土壤污染因素。因此,可以使土壤质量下降的自然或人为因素都应视为土壤污染因素。而人为因素是造成土壤污染的主要因素。

如何识别和判定土壤污染?土壤污染的实质是通过各种途径进入土壤的污染物,其累积的数量和速度超过了土壤自净作用的数量和速度,破坏了自然动态平衡,其后果是导致土壤正常功能失调,土壤质量下降。土壤是否受到污染,不但要看污染物含量是否增加,还要看其后果,即进入土壤的物质给土壤生态系统造成的危害。因此,判断土壤是否污染时,不仅要考虑土壤的背景值,还要考虑植物中有害物质的含量、生物反应和对人体健康的影响。有时污染物超过背景值,但并未影响植物正常生长,也未在植物体内进行积累;有时土壤污染物虽然超过背景值不多,但由于某些植物对某些污染物的吸收富集能力特别强,反而使植物中的污染物达到了污染程度。尽管如此,以土壤背景值作为土壤污染起始值的指标或土壤开始发生污染的信号,仍然不失为一种简单易行、有效的判断方法。

有学者提出了以环境土壤背景值、土壤环境质量二级标准值和土壤环境临界值作为区域和场地土壤污染评价的三类指标的建议。具体为:①土壤中污染物含量超过土壤背景值上限值,称为土壤污染;②土壤中污染物含量超过《土壤环境质量标准》(GB15618-1995)二级标准值,称为土壤污染;③土壤中污染物对生物、水体、空气或人体健康有危害,称为土壤污染。这三类评价指标从不同的层面深入探讨了土壤污染的严重程度。由于土壤中的有毒有害物质可以进行迁移和转化,引起大气和水体的污染,并且可以通过食物链构成对人体的直接或间接危害,所以近年来土壤污染问题正日益受到人们的关注。

2. 土壤污染过程 土壤是环境四大要素之一,又是连接自然环境中各要素的枢纽,它不仅是陆地生态系统的核心及其食物链的首端,而且是许多有害废弃物的处理和容纳场所。正因为土壤对污染物具备一定的容纳性,因而土壤环境污染不像大气与水体污染那样容易显现,是一个漫长的过程。

周围环境与土壤体系之间不断进行着物质和能量的交换,在通常情况下,两者之间处于一种动态平衡的状态。而当污染物质通过各种途径输入土壤(包括施入土壤的肥料、农药),其累积数量和速度超过



了土壤环境的自净作用的速度,打破了污染物在土壤环境中的自然动态平衡,使污染物在长期的积累过程占据优势,导致土壤环境正常功能的失调和土壤质量的下降。

土壤质量的下降和恶化将直接影响植物的生长,破坏土壤中微生物的生存环境,土壤质量的持续恶化最终形成土壤污染并可以通过食物链对生物和人类造成直接危害。

(二)土壤污染的来源

土壤是一个开放的体系,土壤与其他环境要素之间不断进行着物质和能量的交换,因而造成土壤污染的物质来源极为广泛,有自然的污染源,也有人为的污染源。人为污染是造成土地污染的主要原因。人为污染源是指人类活动所形成的污染源,如工业生产排放的“三废”,农业生产使用的农药、化肥等。

按照污染物进入土壤的途径不同,可以将土壤污染源分为以下几类。

1. 农业污染源 主要是指出于农业生产的需要而施入土壤的化肥、化学农药以及其他农用化学品和残留于土壤中的农用地膜等。农业污染源主要来自农业生产过程,其具有剂量低、污染物质主要集中于表层或耕层(0~20 cm)、污染面积分布广泛的特点,属于面源污染。值得一提的是,在一些水资源缺乏地区,人们常常使用污水进行农田的灌溉,污水灌溉是指利用城市污水、工业废水或混合污水进行农田灌溉。通常因污水未加处理直接倾注于土壤中而使一些灌区土壤中有有害物质明显增加。京津唐地区污灌对环境影响表明,北京东郊由于污灌引起的土壤污染约占检测样品的60%,污染的糙米样品数约占检测样品的36%。

2. 工业污染源 工业污染源主要包括工矿企业生产过程中排放的废水、废气和废渣等工业“三废”,是土壤环境污染最重要的来源之一。工业污染物对土壤系统带来的污染可以是直接的,也可以是间接的。工业“三废”在陆地环境中的堆积以及不合理的处置将直接引起周边土壤中污染物的累积,并能通过食物链在动植物体内形成累积。工业废水未经合理处置直接排放导致土壤、地下水、作物遭到污染;工业废气中的污染物也可随大气飘尘降落至地面,对土壤环境造成二次污染;工业废渣包括一些尾矿矿渣的不合理处置往往使得一些重金属污染物随雨水冲刷而进入土壤中。一般来讲,由工业“三废”引起的土壤污染仅限于工业区周围数十公里的范围之内,属于点源污染。

3. 生活污染源 生活污染源主要包括人类和所饲养畜禽类排泄物未经处理作为肥料施于土壤,以及城市垃圾的不合理处置。随着城市化的进程,城市生活垃圾的迅速增长,因为缺乏足够的处理设施使得其被大量堆放在城市周围,对土壤环境造成严重影响。近年来,随着电子工业的发展,大量电子垃圾同样因为不合理的处置而严重污染环境。电子垃圾中含有的铅、镉、汞、溴化阻燃剂等大量有毒有害物质随着旧家电和废旧电子产品的拆解过程而污染周围环境,危害人体健康。

4. 交通污染源 交通污染主要是交通工具的尾气中各种有毒有害物质通过大气沉降造成对土壤的污染。交通污染源对土壤的污染主要集中在公路及铁路的两侧,污染物的浓度随着与道路距离的增加而减少,污染物主要来自于含铅汽油燃烧产生的重金属和石油副产物,以及汽车轮胎磨损产生的含锌粉尘。

5. 灾害污染源 一些自然灾害有时也能造成土壤污染。例如,火山喷发地区的土壤和放射性矿床附近地区土壤中富含某些重金属和放射性元素。一些人为灾害,如石油管道泄漏以及化学品的泄漏,以及一些突发公共事件如日本福岛核电站的放射性元素泄漏等,同样会对土壤环境造成污染。

(三)土壤污染的特点

土壤环境的多介质多组分以及非均一性和复杂多变的特点,决定了土壤污染不同于大气和水环境的污染特点。

1. 隐蔽性或潜伏性 水体和大气的污染比较直观,容易被人们察觉和发现,土壤污染则不同。土壤中有有害物质往往可以与土壤相结合,往往要通过土壤中的植物和农作物,以及通过食物链损害人兽健康



时才能被反映出来,而土壤本身可能还会继续保持其生产能力。土壤对机体健康产生的危害以慢性、间接危害为主。所以土壤污染具有隐蔽性。

2. 间接性和累积性 土壤中的有害物质不像在大气和水体中容易扩散和稀释,土壤对污染物进行吸附、固定,其中也包括植物的吸收。特别是重金属和放射性元素都能与土壤有机质或矿物质结合,并且不断累积达到很高的浓度,长久地保存在土壤中,表现出一定的累积性。由于土壤是食物链的首端,土壤中的污染物可以通过食物链被富集,往往因食物链的积累而对人体产生危害。土壤中的累积污染物还可能形成二次污染源,其可以随水分渗漏而在土壤内移动,对地下水 and 地表水造成污染。土壤污染物还可随土粒和扬尘进入大气,因此,土壤污染往往造成大气和水体的二次污染。

3. 不可逆性 土壤中的许多污染物都需要较长的时间才能被降解,而且可能产生毒性较大的中间产物。如重金属污染和一些持久性有机污染物对土壤的污染几乎是不可逆的,一旦污染后往往很难再恢复到污染前的状态。因此土壤污染表现出不可逆性。

4. 治理周期长 因为土壤污染的累积性和不可逆性,所以土壤中的污染物仅仅靠切断污染源和稀释自净化的作用很难恢复,只有采取有效的技术手段才能消除污染。就目前的处理方式而言,治理土壤污染往往需要较长的治理周期和治理成本。

二、我国土壤环境污染的现状

近 20 年来,随着工业化、城市化、农业集约化快速发展和经济的持续增长,资源开发利用强度日益增长,人们生活方式的迅速变化,大量未经妥善处理的污水直接灌溉农田、固体废弃物任意丢弃或简单填埋、废气的排放与沉降、大量不合理的化肥农药的施用与残留,这些人类在生产、生活过程中不合理的开发利用土地资源的方式,导致了土壤资源受到污染和破坏,并以一种不可忽视的速度和趋势在全国范围内蔓延,严重影响到我国土壤环境及其生态系统。

目前,我国土壤污染的总体形势严峻,部分地区土壤污染严重,在重污染企业或工业密集区、工矿开采区及周边地区、城市和城郊地区出现了土壤重污染区和高风险区。土壤污染类型多样,呈现出新老污染物并存、无机有机复合污染的局面。土壤污染途径多,原因复杂,控制难度大。土壤环境监督管理体系不健全,土壤污染防治投入不足,全社会防治意识不强。由土壤污染引发的农产品质量安全隐患和群体性事件逐年增多,成为影响群众身体健康和社会稳定的重要因素。

第二节 土壤污染的危害

随着我国社会经济的发展、城市化进程的深入,我国土壤环境污染不断加剧,土壤环境污染物种类和数量不断增加、发生的地域和规模在逐渐扩大、危害也进一步加深,总体形势相当严峻。由于土壤污染带来的危害是多方面的,土壤污染不仅可以对土壤生态系统带来危害,还可以通过直接或间接的途径危害人体健康,随着污染物的迁移和转化,土壤污染还可对水体和大气等其他环境造成二次污染。

一、影响食品质量导致食品安全问题

目前,我国大多数城市近郊土壤都受到不同程度的污染,有许多地方粮食、蔬菜、水果等食物中镉、铬、砷、铅等重金属含量超标或接近临界值。每年转化成为污染物而进入环境的氮素达 1×10^7 t,农产品中的硝酸盐和亚硝酸盐污染严重。农膜污染土壤面积超过 7.8×10^6 hm²,残存的农膜对土壤毛细管水起阻流作用,恶化土壤物理性状,影响土壤通气透水,影响农作物产量和农产品品质。土壤污染使得农产品卫生质量下降,受污染的农产品进入市场流通往往会导致严重的食品安全问题。



二、土壤污染危害人体健康

土壤污染主要通过间接的方式对人体健康产生危害。土壤污染会使污染物在植物体内积累,并通过食物链富集到人体和动物体中,危害人体健康,引发癌症和其他疾病。土壤中的污染物还可以通过地面水和地下水等中间介质而对人体健康产生影响。然而土壤中不同的污染物对人体健康的影响也不同。

1. 有机物 目前,土壤中的有机质可以分为天然有机物和人工合成有机物,其中,对土壤产生污染的主要是人工合成有机物。人工合成有机物主要通过污水灌溉、农药喷洒、化肥施用、固体废弃物的淋滤以及运输事故进入土壤。对人体影响较大的主要有化学农药、酚、苯并芘与油类等有机化合物。另外,施肥对土壤中重金属和有机有毒物含量有一定影响,因而影响到土壤质量和人兽生活质量。部分有机物被土壤吸附,滞留在土壤中,而生物难降解的有机质会通过食物链进入人体,危害人体健康,且具有“三致”作用和不可逆性。通过土壤的作用,农药可能在作物中残留。人类吃了含有残留农药的各种食品后,残留的农药转移到人体内,这些有毒有害物质在人体内不易分解,经过长期积累会引起内脏机能受损,使机体的正常生理功能发生失调,造成慢性中毒,影响身体健康。

2. 重金属 土壤中重金属污染和有机污染物污染有着很大的区别,绝大多数重金属在土壤环境中并不经历微生物或化学降解的过程,残留在土壤中的重金属元素将发生渗漏进入地下水,或者是通过不同途径进入食物链,在食物链不同营养级中累积放大。这些重金属元素不但对土壤环境本身和农产品质量产生威胁,也将极大地影响人类和动物的健康。通过土壤影响人体健康的重金属有汞、镉、铅、砷、铜、锌等。土壤中的重金属含量不同对人体的影响也不同。低剂量的重金属能引起急或慢性中毒,抑制酶的活性,破坏正常的生物化学反应,如铜和钒具有生殖毒性作用、铅和汞能影响胚胎正常发育、铅对儿童有很强神经毒性等。

3. 病原微生物 土壤中的病原体主要来源于人兽的粪便、垃圾、生活污水和医院污水等。用未经处理的人兽粪便、垃圾作肥料,或者直接用生活污水灌溉农田,都会使土壤受到病原体污染。病原体可以在土壤中存活较长时间。土壤被病原体污染能传播许多传染病,而这些传染病的病原体如果随病人和带菌者的粪便及其衣物、器皿的洗涤水污染土壤,再通过雨水的冲刷和渗透,病原体又被带进地面水或地下水中,就有可能引起这些疾病的暴发流行。此外,还有些人兽共患的传染病或与禽类有关的疾病,也可以通过土壤在禽间或人禽间传播。被有机废弃物污染的土壤,是蚊蝇滋生和鼠类繁殖的场所,而蚊蝇和鼠类又是许多传染病的媒介。因此,被有机废弃物污染的土壤在流行病学上往往被作为重点调查的对象。

4. 放射性核素 放射性核素可通过多种途径污染土壤。放射性废水排放到地面上、放射性固体废物埋藏处置在地下、核企业发生放射性排放事故等,都会造成局部地区土壤的严重污染。在放射性核素的污染中,由核裂变产生的放射性核素 ^{90}Sr 、 ^{137}Cs 尤其不可忽视。 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 还能吸附于土壤的表层,经雨水冲刷后流入水体。土壤对 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 的吸附性较强,也能在植物体内积累,导致高浓度的放射性 ^{90}Sr 和 ^{137}Cs 进入人体造成损伤。放射性物质进入人体后,可造成内照射损伤,使受害者头晕、疲乏无力、脱发、白细胞减少、发生癌变等。此外,半衰期较长的放射性核素一旦进入人体,通过放射性裂变而产生 α 、 β 、 γ 射线,将对机体产生持续的照射,是机体的一些组织和细胞被破坏或发生变异,此过程将持续至放射性核素蜕变为稳定核素或全部排出体外为止。

三、土壤污染导致其他环境问题

1. 土壤与大气 土壤也能够通过影响大气环境而间接的影响人体健康。土壤在调节大气辐射活性气体浓度中起到重要作用的是最大的陆地碳(C)库,在全球碳循环方面起到一定作用。土壤中含有大量



的有机物,能够在好氧微生物以及甲烷菌的作用下分解释放出 CO_2 、 CH_4 和 NO_x 等温室气体,影响气候的变化,而气候的变化又会反过来影响有机质的分解速率,进而影响温室气体。

温室效应是当今全球面临的主要环境问题之一。气温升高会引起海平面上升,气候异常,粮食减产以及生命损失等。温室效应还会破坏臭氧层,而臭氧层的减少会增加到达地面的紫外线,紫外线会导致人体免疫系统的下降和皮肤癌的发生。

最近研究发现,湿地是大气中甲基卤化物 CH_3Br 和 CH_3Cl 的重要来源地。而 CH_3Br 现在被认为是破坏臭氧层的第三种重要的化学物质,但没有受到足够的重视, CH_3Br 仍作为土壤的杀虫剂而被广泛使用。此外,大气中的污染物质也会转移到土壤中,有资料表明工厂排放的 SO_2 会通过降尘的形式落到土壤表面,使土壤中硫化物增加。

2. 土壤与水体 土壤中的各种物质成分经过雨水淋漓后会通过地表径流、渗流和地下径流,最终有一部分进入饮用和娱乐水体中。人类应当采取一些措施来防止土壤中有害成分进入饮用和娱乐水体,维护人体健康。

土壤中的各种物质成分会通过多种方式进入水体,引起人体中毒或功能失调。土壤中存在的 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 会增加水体的硬度,有证据表明硬水地区居民中某些组织体内钙镁浓度较软水地区高,而 Ca^{2+} 和 Mg^{2+} 的增加则会引起心血管病。土壤中氮肥的大量使用,其主要污染物质硝酸盐和氨氮就会进入地表水或渗入地下水。硝酸盐在人体内可被细菌还原成亚硝酸盐。这是一种有毒物质,可直接使动物中毒缺氧,产生高铁血红蛋白血症,严重者可致死。在土壤含氟量较高的地区,其地下水体中含氟量也相对较高。常年饮用高氟含量的饮用水是引起氟中毒的主要原因。有资料表明,约有 4 300 万中国人患有氟斑牙病。土壤中的粪便也会携带一些细菌、病毒进入水体而造成水体中大肠杆菌超标,引起肠道外感染和急性腹泻。土壤也具有一定的污染转移作用,其中含有的胶体能够吸附大量的重金属离子,在土壤表层中富集。经过雨水的溶解与冲刷作用,重金属元素又转移至水体中造成对水体环境的污染。

第三节 土壤污染防治与健康

土壤污染研究一直是环境科学研究的一个重点。近年来随着土壤污染问题的日益加重,土壤污染已成为危害人体健康和制约农业可持续发展的重要因素,土壤污染与防治成为人们关注的焦点。

一、我国土壤污染防治研究的发展历程

早在 20 世纪 60 年代初期,我国就进行了土壤放射性水平调查,探讨放射性同位素在土壤-植物系统中积累、迁移及其对人类的影响,拟定放射性物质污染水源与食物链的防治对策。70 年代开展了以土壤污染物分析方法、土壤元素背景值、污水灌溉等方面为中心的研究工作,并于 1976 年成立了第一个从事土壤环境保护研究的专业机构——中国科学院南京土壤研究所环境保护研究室。随着经济的飞速发展,土壤污染问题引起人们的重视,80 年代后期,有关科研机构和大专院校相继建立与土壤环境保护有关的专业学科,先后在苏州、广州、重庆、无锡等地多次举办全国性的土壤环境科学学术研讨会,使土壤环境保护逐渐成为一门既有学科基础、又能解决国民经济发展重大问题的多学科交叉渗透的综合性学科。目前,该学科在我国研究的重点主要集中在土壤污染发生类型、形成规律与防治途径等领域,即着重探讨土壤有机、无机与重金属污染及污泥和固体废弃物的处置方法及途径,并研究土壤污染对环境与人类健康质量的影响与防治手段,以提出因地制宜、经济有效的治理措施。



二、土壤污染防治研究的主要内容和方法

(一) 土壤污染研究的主要内容

1. 土壤环境背景值和环境容量 土壤环境背景值是监测区域环境变化、评价土壤污染和土壤环境影响的重要指标和基础资料。我国从 20 世纪 70 年代开展这方面的研究,并已于“七五”期间基本完成,研究区域包括除台湾以外的 30 个省市区,分析元素达 60 多种。进入 90 年代,有的学者还从生态学角度和以大地貌为统计单元,对土壤元素背景值做了探索。以上研究成果的取得为土壤-植物系统重金属污染研究提供了基本的资料。自 1983 年以来,土壤环境容量就作为国家级项目进行了系统的研究,在环境容量的区域性分异规律和信息系统的建立等方面积累了许多第一手资料。但对土壤环境容量的影响因素、研究方法、复合污染等问题尚需进一步探讨。

2. 污染物的动态变化规律及相互作用 土壤环境中污染物的环境地球化学行为的研究,是以土壤学、环境地球化学理论为基础,研究污染物进入土壤环境之后的赋存形态、迁移转化过程(包括淋溶和淀积、溶解和沉淀、吸附和解吸等),以及降解转化过程。它是确定土壤环境容量、制定土壤环境污染综合防治的重要依据。我国土壤科学研究人员和环境保护工作者针对不同类型的污染物,如重金属、有机污染物、放射性污染物等,做了具有一定深度和广度的工作,其中对砷、铬、汞、铅、锌等重要污染元素的基本性质、迁移、转化、归宿、植物效应、土壤酶和微生物效应及根际行为等都做过较为详细的研究报道。有关研究表明,土壤吸收重金属的程度与重金属的形态有很大关系,虽然它有随土壤中重金属浓度增加而升高的趋势,但其有效态在自然条件下并不总是与其总量成正比,而与土壤性质有着十分密切的关系。

随着人们对环境问题认识的不断深入,单一污染物污染的研究已转向多种污染物复合污染的探讨。美国 Wallace 等将多种重金属元素的联合作用分为协同、竞争、加和等形式。我国有的研究采用正交试验法,研究了锌、镉、铜、铅等重金属复合污染时,共存元素间的交互作用对小麦幼苗吸收重金属元素的影响,取得了较理想的研究成果。

3. 污染物对土壤生物和土壤理化性质的影响 土壤中污染物会对土壤生物类型、生物数量、生物活性、土壤酶系统及土壤呼吸和代谢等作用产生较大影响,危及土壤生态系统的正常结构、功能与平衡。研究发现,施用的农药有 20%~70% 长期残留在土壤中。残留农药对土壤中的硝化细菌、根瘤菌和根际微生物影响较大。C. M. Tu 研究认为,大多数农药对土壤微生物活性影响较大,多数情况下表现为对土壤呼吸作用、硝化作用、氨化作用等产生暂时的抑制作用。杨志新等人则从土壤酶活性方面探讨了重金属复合污染的影响。

进入土壤中的污染物通过一定的环境行为,会对土壤的理化性质产生影响,如引起土壤容重、空隙度、盐基饱和度等方面的变化。日益严峻的酸雨对土壤系统的影响备受人们关注。土壤系统与酸雨中的酸性物质(H^+ 、 SO_2 、 SO_4^{2-} 等)接触会发生一系列化学反应,可导致土壤根系层可给性营养元素(钾、钙、镁等)的损失及某些有毒元素(铝、锰等)的释放与活化,进而影响环境。研究表明:酸雨会导致土壤盐基淋溶及铝、硅的淋溶释放,影响土壤中的养分循环及其团粒结构,使土壤的理化性质改变。另外,工农业和日常生活中广泛使用的表面活性剂对土壤环境的效应最近也被探讨,发现 LAS(阴离子表面活性剂)可显著影响土壤环境的理化性质,并对土壤微生物产生刺激或抑制效应。

4. 土地处理系统与污染修复技术 该研究涵盖了用土地来处理污泥(污水净化后的产品)、城市垃圾、工农矿业固体废弃物等的处理系统。固体废弃物在产生、积累处理及处置过程中会产生一定的环境效应,带来二次污染,是一个综合了工程技术、理论方法的研究。在“七五”期间,我国在沈阳、北京、天津等地开展了科学污灌的研究工作。有关结果表明,土壤-水稻和土壤-高粱生态系统,对生物可降解有机