

土壤圈物质循环系列专著

土壤-植物系统中的 重金属污染

陈怀满 等著

科学出版社

1996

(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是作者长期从事土壤-植物系统中重金属污染研究的理论与实践经验的总结,书中对土壤重金属污染及其生物效应,土壤和植物元素背景值,砷、镉、铬、铜、汞、铅、锌等重要的污染元素的基本性质、反应行为,重金属的复合污染问题,重金属元素的根际化学,重金属土壤负载容量等,从基本原理到应用实践进行了较为系统而深入的讨论,对土壤-水-植物系统污染物迁移转化的基础研究、环境评价、环境标准的制定、污水灌溉、废弃物的土地处理,以及污染治理等方面很有参考价值。可供从事环境、农业、土壤、生态、化学、地球化学、地球环境医学和水文学等科学工作者和工程管理人员以及大专院校相关学科师生参考。

土壤圈物质循环系列专著

土壤-植物系统中的重金属污染

陈怀满 等著

责任编辑 陈培林

科学出版社出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1996 年 9 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

1996 年 9 月第一次印刷 印张: 22 1/2 插页: 2

印数: 1—1000 字数: 510 000

ISBN 7-03-005410-5/S·173

定价: 59.00 元

土壤圈物质循环系列专著 编辑委员会

主任：赵其国

委员：(以姓氏笔画为序)

文启孝	邢光熹	朱兆良	刘芷宇
陈志雄	陈怀满	陈家坊	林心雄
赵其国	姚贤良	徐 琪	曹志洪
龚子同	鲁如坤		

土壤圈物质循环系列专著

土壤-植物系统中的 重金属污染

作 者

陈怀满

(以下按汉语拼音字母为序)

陈能场 陈英旭 韩凤祥

李勋光 林玉锁 杨国治

郑春荣 朱永官 朱月珍

序

土壤圈物质循环研究是当今土壤学和环境科学的重要课题,土壤-植物系统中的重金属污染则是这一领域的重要内容。近 20 年来,这一研究领域一直是人们所关注的焦点问题之一,其原因之一,主要是它不仅涉及地球科学和环境科学,而且在生命科学中占有十分重要的地位。

土壤-植物系统是土壤圈和生物圈的基本结构单元,它具有转化、贮存太阳能为生物化学能的功能。在该系统中发生的重金属污染,不但涉及作物产量与品质,而且涉及大气和水环境质量,并可通过食物链危害人类的生命和健康;尤为严重的是,这种由重金属在土壤-植物系统中所产生的污染过程具有隐蔽性、长期性和不可逆性的特点。因此,对其进行系统而深入的研究就显得尤为重要。另一方面,在土壤-植物系统中有机体所占比例很高,大量的植物活体、土壤胶体、微生物及酶的多样性使生命活动非常旺盛。这一巨大的生物活性体系,可通过一系列物理、化学和生物学反应对环境中的重金属污染起减缓或净化的“过滤器”作用。从这个意义上来说,它也是一个值得重视与开发的“环境资源”。

本书是中国科学院南京土壤研究所土壤圈物质循环系列专著之一,由陈怀满等编著,它是作者们长期以来从事土壤-植物系统中重金属污染研究成果的总结。在编写中,他们付出了辛勤的劳动。该书理论与实践密切结合,内容十分丰富,很有参考价值。特别是本书对重金属在土壤-植物系统中的反应行为,包括元素的化学性质、化学反应、溶解度及其他一些无机和有机基团之间反应的差异性等,作了较为详细的阐述,在一定程度上填补了国内这方面的空白。我相信,读者通过对书中一些基本原理的了解,将有助于开展土壤-植物系统的净化功能及其在实践中的应用研究,并有可能在防治重金属环境污染方面得到一些新的启示。我衷心地祝愿该书的出版能为推动我国土壤科学、环境科学的发展做出一定的贡献。

赵 其 国

1994 年 6 月 30 日于南京

前言

土壤-植物系统中的重金属污染是土壤圈物质循环和环境科学研究领域中的重要内容,由于它的研究在理论上涉及地球科学、环境科学和生命科学等重要领域,在实践上与有关环境标准的制定、食物链污染的控制、土壤-植物系统净化功能的开发,例如绿色食品的生产、废弃物的土地处理等关系密切,因而长期以来一直是人们关注的热点研究课题。随着我国污水处理率的提高,污泥的出路大部分必然要通过土壤-植物系统的处理加以解决;同时,矿区生态环境的破坏亦使重金属的污染问题越来越严重,因而可以预言,在今后一个相当长的时间内,土壤-植物系统中重金属问题的研究必将仍然是一个十分活跃的领域;另一方面,土壤-植物系统中的有机体十分丰富,在污染物的缓冲与净化方面有着十分重要的作用,因此,该系统亦是一个非常值得重视与开发的“环境资源”。有鉴于此,作者愿将自己的理论与实践经验进行总结成书,奉献给祖国和所有感兴趣的人们。

本书共分十二章。第一章叙述了土壤重金属污染及其生物效应,对土壤-植物系统中重金属污染的研究进展等作了简要的介绍;第二章叙述了土壤和植物化学元素背景值,对元素背景值的研究法、中国土壤和粮食元素背景值基本统计量、背景值在土壤-植物系统环境评价中的应用等作了介绍;第三章至第九章分别对砷、镉、铬、铜、汞、铅、锌等七个重要的污染元素的基本性质、反应行为、污染治理等方面作了较为系统而深入的论述;第十章叙述了重金属的复合污染问题,对复合污染研究的重要性及复合污染指标的研究作了讨论;第十一章讨论了重金属元素的根际化学,对根际环境的特点与意义、重金属根际化学的研究方法、根际环境中重金属的化学过程与植物效应以及重金属根际化学的应用等方面做了阐述;第十二章是关于重金属土壤负载容量的讨论,对当前土壤负载容量研究与制定中存在的问题进行了商榷,并介绍了表观容量与实用容量的概念。本书所表达的结论和观点是作者本人的体会与认识,每个章节也基本保留了各作者的撰写风格,我相信对于一些观点的讨论与交流必将有助于推动该领域的研究进展。

我十分感谢我的同事和朋友们良好而有效的合作,本书是由集体创作而成。在编写和出版过程中得到中国科学院科学出版基金和中国科学院南京土壤研究所土壤圈物质循环开放研究实验室的资助,中国科学院院士赵其国教授为本书写了序,邢光熹教授给予了热情的关心和支持;郑春荣同志在书稿的整理、修改以及计算机输入等方面作了大量细致的工作。中国科学院南京土壤研究所以及浙江农业大学、国家环保局南京环境科学研究所、福建省热带作物研究所等许多老师与朋友在本书撰写过程中给予了热情的支持,作者在此一并表示衷心的感谢。

由于我们水平有限,本书中的缺点和错误之处,切望读者批评指正。

陈怀满

1994. 6. 30. 于南京

• iii •

目 录

序

前言

第一章 土壤重金属污染及生物效应	陈怀满 郑春荣	(1)
第一节 土壤污染和土壤重金属污染.....		(1)
一、土壤污染		(1)
二、土壤重金属污染		(7)
第二节 土壤-植物系统中重金属污染的生物效应		(8)
一、重金属污染的植物效应研究		(8)
二、对酶的活性和微生物等的影响		(12)
三、展望		(14)
第二章 土壤和植物元素背景值	陈怀满	(18)
第一节 土壤背景值研究法		(18)
一、环境背景值		(18)
二、土壤和植物背景值的研究法		(18)
第二节 中国土壤和粮食元素背景值基本统计量		(22)
一、土壤背景值基本统计量		(22)
二、粮食作物中有关元素的环境背景值		(22)
三、影响土壤元素背景值的因素		(23)
第三节 背景值在土壤-植物系统环境评价中的应用		(24)
第三章 砷	李勋光	(32)
第一节 概述		(32)
一、自然界中的砷		(32)
二、环境中的砷污染		(35)
第二节 砷在土壤中的行为		(36)
一、土壤吸附砷的性能		(36)
二、砷在土壤中的化学形态		(37)
三、影响土壤砷吸附因素的分析		(40)
四、土壤污染砷的释放		(42)
五、砷的生物甲基化问题		(45)
六、砷在土壤中的分布及其迁移		(45)
第三节 土壤中砷的作物效应		(47)
一、作物的砷害症状		(48)
二、影响作物效应的因素分析		(50)
三、在土壤-砷酸盐-水体系相对平衡下的作物效应		(60)
第四节 砷在土壤-作物体系中的临界值		(68)

第四章 镉	陈怀满 郑春荣 (71)
第一节 概述	(71)
一、自然土壤和农业土壤中镉的含量	(72)
二、土壤中镉的行为	(75)
三、土壤及粘土矿物对镉的吸附	(81)
四、镉的植物效应	(85)
第二节 环境因子对土壤吸附镉的影响	(88)
一、离子强度对土壤吸附镉的影响	(89)
二、温度对土壤吸附镉的影响	(90)
三、pH 和添加镉浓度对土壤吸附的影响	(91)
第三节 土壤组分对镉的吸附与解吸的影响	(93)
一、活性硅、铁、铝、锰和粘粒含量对土壤吸附镉的影响	(93)
二、胶体组分对镉的吸附和解吸的影响	(93)
三、无定形硅、铝对胶体吸附的影响	(97)
四、土壤组分对镉解吸的影响	(97)
第四节 镉的吸附势和解吸势及其应用	(99)
一、吸附势和解吸势的理论推导与实验验证	(99)
二、吸附势与相对解吸势的应用	(102)
第五节 土壤溶液的动态变化及 CdCO_3、CdS 的平衡研究	(105)
一、电化学动态变化	(107)
二、化学动态变化	(109)
三、 CdCO_3 、 CdS 的平衡研究	(113)
第六节 镉污染土壤的改良	(115)
一、石灰、钢渣等对镉污染土壤的改良	(115)
二、有机肥对镉污染土壤的改良	(119)
第五章 铬	陈英旭 朱月珍 (126)
第一节 概述	(126)
一、土壤中铬的矿物和含量	(126)
二、土壤中铬的形态	(127)
第二节 土壤对 Cr(VI) 的还原和吸附动力学	(131)
一、土壤溶液中 Cr(VI) 的减少与土壤吸附和还原作用的关系	(131)
二、土壤对 Cr(VI) 的还原动力学	(133)
三、土壤对 Cr(VI) 的吸附动力学	(135)
四、pH 对土壤溶液中 Cr(VI) 减少速率的影响	(137)
五、温度对土壤溶液中 Cr(VI) 减少速率的影响	(137)
第三节 土壤、矿物对 Cr(VI) 的吸附作用	(138)
一、不同土壤组分对 Cr(VI) 的吸附作用	(139)
二、土壤、矿物对 Cr(VI) 的吸附等温线	(141)
三、pH 对土壤、矿物吸附 Cr(VI) 的影响	(141)
四、离子强度和阴离子种类对 Cr(VI) 吸附的影响	(142)
五、土壤、矿物对 Cr(VI) 的吸附机制	(144)
第四节 土壤中 Cr(III) 的氧化	(146)

一、氧化锰对 Cr(III) 氧化能力的探讨	(146)
二、氧化锰对 Cr(III) 的氧化机制	(148)
三、pH 和 <i>Eh</i> 对 MnO ₂ 氧化 Cr(III) 能力的影响	(151)
四、MnO ₂ 对不同形态 Cr(III) 的氧化能力	(152)
第五节 土壤中 Cr(III) 的水解、络合、吸附和沉淀作用	(152)
一、Cr(III) 的水解反应	(153)
二、土壤中有机酸与铬的络合作用	(154)
三、土壤对 Cr(III) 的吸附和沉淀作用	(157)
第六节 铬对植物生长发育的影响及其与吸收积累的关系	(157)
一、铬对植物生长发育的影响	(158)
二、植物对铬的吸收、运转和积累	(159)
三、土壤中有效态铬含量与植株中铬浓度的关系	(162)
四、影响土壤中铬对植物的毒性和吸收积累的因素	(163)
第六章 铜	朱永官 (168)
第一节 概述	(168)
一、自然界中铜的基本特征	(168)
二、我国土壤中铜的含量与分布	(169)
第二节 土壤中铜的化学形态及其转化	(172)
一、土壤中铜的化学形态	(172)
二、土壤中不同形态铜的植物有效性	(173)
三、土壤 pH、 <i>Eh</i> 对铜形态的影响	(174)
四、土壤中铜的吸附与螯合反应	(178)
第三节 植物对土壤中铜的吸收及其在体内的运输	(182)
一、铜的生理功能	(182)
二、植物对土壤中铜的吸收	(183)
三、铜在植物体内的运输及其在各器官中的分配	(184)
第四节 土壤中铜的缺乏与过量	(185)
一、缺铜对植物生长发育的影响	(185)
二、土壤中铜的污染及其植物效应	(189)
第七章 汞	杨国治 (195)
第一节 土壤中的汞	(195)
一、土壤中汞的来源	(195)
二、土壤中汞的含量和分布	(197)
三、土壤中汞的形态问题	(198)
四、土壤对汞的固定	(200)
五、土壤中固定态汞的释放	(202)
第二节 汞污染地区土壤与粮食含汞量的关系	(203)
一、天津汉沽区土壤与粮食的含汞量	(203)
二、西安东郊、兰州白银等地区的土壤和粮食含汞量	(204)
三、贵州汞矿地区土壤和粮食的含汞量	(205)
第三节 汞污染土壤中汞的控制和评价	(206)
一、污染土壤中汞的控制	(206)

二、汞污染土壤的评价问题	(207)
第八章 铅	郑春荣 陈怀满(210)
第一节 概述	(210)
一、铅对人体健康的影响	(210)
二、土壤铅的含量及污染来源	(211)
三、土壤铅污染对植物的影响	(218)
第二节 铅在土壤中的化学行为.....	(220)
一、相伴阴离子对土壤中添加铅的吸附性和可提取性的影响	(220)
二、粘土矿物, 氧化物对铅的吸附和相伴阴离子的影响	(226)
三、不同铅化合物在土壤中的形态	(231)
第三节 铅的植物效应.....	(238)
一、铅对水稻、小麦生长发育的影响	(238)
二、不同铅化合物对水稻、小麦吸收铅的影响	(242)
三、不同铅化合物对水稻吸收其他微量元素的影响	(247)
第四节 土壤中铅的化学提取性评述.....	(247)
一、不同提取剂提取率的比较	(248)
二、不同试剂对土壤铅化学提取性分析	(249)
三、不同提取剂的提取量与植物吸收铅的相关性比较	(250)
四、提取剂的选择	(250)
第九章 锌	林玉锁 韩凤祥(253)
第一节 概述.....	(253)
一、岩石中锌的含量	(253)
二、我国土壤中锌的含量及其分布	(253)
三、我国土壤中锌的缺乏及锌肥应用	(255)
四、我国土壤中锌的污染与防治	(257)
第二节 土壤对锌的吸附和固定.....	(256)
一、平衡热力学研究	(256)
二、吸附动力学的研究	(262)
三、土壤中锌的吸附和固定的机制	(271)
第三节 土壤中锌的形态研究.....	(273)
一、土壤中锌的形态区分程序和方法	(273)
二、自然土壤中锌的形态分布规律	(280)
三、红壤、黄棕壤、黄潮土中外源可溶性锌的形态分布规律	(284)
四、影响土壤中锌形态动态变化因素的讨论	(286)
第四节 锌对植物的有效性及生物效应.....	(288)
一、土壤中锌的形态与植物有效性	(288)
二、植物对锌的吸收、分布、缺乏及土壤中过量锌的植物效应	(289)
三、不同土壤环境中多年生意大利黑麦草对锌吸收累积的环境生物学参数的研究 ...	(290)
第十章 重金属的复合污染	郑春荣 陈怀满(294)
第一节 竞争吸附对镉吸附行为的影响.....	(294)
第二节 镉、磷、锌对水稻产量和矿物浓度的影响.....	(295)

一、对水稻产量的影响	(296)
二、对稻草中元素含量的影响	(298)
三、对糙米中镉含量的影响	(299)
四、糙米中镉的浓度和土壤中可提取性镉的关系	(299)
第三节 重金属元素在土壤-植物系统中迁移的相互影响	(300)
一、重金属元素对植株和稻谷产量与元素吸收量影响的差异性比较	(300)
二、铅、镉、铜、锌等元素在土壤-植物体系中的迁移及其相互影响	(305)
三、重金属复合污染中元素综合效应指标的探求	(306)
第十一章 重金属元素的根际化学	陈能场 陈怀满(309)
第一节 根际环境的特点与意义.....	(309)
一、特点	(309)
二、重金属胁迫下的根际环境特征	(311)
三、根际性质的环境科学意义	(312)
第二节 重金属根际化学的研究方法.....	(314)
一、土样的制备	(314)
二、根际土培养方法的选择	(314)
三、根际重金属过程的分辨	(315)
四、表征重金属根际化学过程方法的选择	(316)
五、研究方法中待解决的问题	(316)
第三节 根际环境中重金属的化学过程与植物效应.....	(317)
一、根际环境中重金属的化学过程	(317)
二、根际环境中重金属的形态转化	(324)
三、生物有效性与植物吸收	(326)
第四节 重金属根际化学的应用.....	(327)
一、重金属在土壤-植物系统中迁移的控制	(327)
二、重金属根际化学的其他应用	(328)
三、展望	(329)
第十二章 关于重金属土壤负载容量的讨论	陈怀满 郑春荣(334)
第一节 概述.....	(334)
一、土壤负载容量的定义与研究方法	(334)
二、重金属土壤负载容量与土壤性质的关系	(335)
第二节 表观容量和实用容量.....	(338)
一、目前土壤负载容量研究中存在的问题	(338)
二、表观容量的修正	(340)

第一章 土壤重金属污染及生物效应

陈怀满 郑春荣

第一节 土壤污染和土壤重金属污染

一、土壤污染

1. 土壤污染的定义

土壤污染的定义目前尚不统一,一种看法认为,由人类的活动向土壤添加有害化合物,此时土壤即受到了污染(Fairbridge et al., 1979)。这个定义的关键是存在有可鉴别的人为添加污染物,可视作为“绝对性”定义。另一种是以特定的参照数据来加以判断的,如以背景值加两倍标准差为临界值,若超过这一数值,即认为该土壤为某元素所污染(中国科学院土壤背景值协作组等, 1982)。这可视作为“相对性”定义。第三种定义是不但要看含量的增加,还要看后果,即加入土壤的物质给生态系统造成了危害,此时才能称为污染(Rauta et al., 1988),这可视作为“综合性”定义。这三种定义的出发点虽然不同,但有一点却是共同的,即认为土壤中某种成分的含量明显高于原有含量时即构成了污染。综上所述,土壤污染就是指人为因素有意或无意地将对人类本身和其他生命体有害的物质施加入到土壤中,使其某种成分的含量明显高于原有含量、并引起土壤环境质量恶化的现象。

2. 土壤污染的特点

土壤污染有三大特点:

(1) 隐蔽性或潜伏性。水体和大气的污染比较直观,严重时通过人的感官即能发现;而土壤污染则往往要通过农作物包括粮食、蔬菜、水果或牧草以及摄食的人或动物的健康状况才能反映出来,从遭受污染到产生恶果有一个相当长的逐步积累过程,具有隐蔽性或潜伏性。日本的第二公害病——痛痛病便是一个典型的例证,该病 60 年代发生于富山县神通川流域,直至 70 年代才基本证实是当地居民长期食用被含镉废水污染了的土壤所生产的“镉米”所致,其大米含镉量重病区平均为 0.527 mg/kg,而轻病区为平均 0.375 mg/kg,非病区为平均 0.319 mg/kg(Asami, 1981),此时,致害的那个铅锌矿已经开采结束了,其间历经二十余年。

我国张士灌区人和家畜亦受到明显的污染危害,曾有调查表明(吴燕玉等, 1986),污灌区居民每人每日摄取的 Cd 量为 558 μ g,而对照区仅为 17.6 μ g,灌区摄入量为对照区的 32 倍, Cd 在人体器官中有明显的积累(表 1-1)。灌区家畜脏器中的积累亦十分明显,例如猪肉和猪肾中的含量分别为对照区的 8 倍和 460 倍。这是由于污灌区用作饲料的米糠、稻

谷等含有较高的 Cd 所致。

表 1-1 张士灌区人体血、尿、发的 Cd 含量(吴燕玉等,1986)

	血($\mu\text{g/L}$)			尿($\mu\text{g/L}$)			发($\mu\text{g/kg}$)		
	几何平均值	标准差	<i>P</i>	几何平均值	标准差	<i>P</i>	几何平均值	标准差	<i>P</i>
灌区	1.06	0.21	<0.05	13.26	0.37	<0.05	0.14	0.35	<0.05
对照区	0.42	0.35		2.13	0.17		0.07	0.42	

(2) 不可逆性和长期性。土壤一旦遭到污染后极难恢复,重金属元素对土壤的污染是一个不可逆过程,而许多有机化学物质的污染也需要一个比较长的降解时间,例如 1966 年冬至 1977 年春,沈阳-抚顺污水灌区发生的石油、酚类以及后来张士灌区的镉污染,造成大面积的土壤毒化、水稻矮化、稻米异味、含镉量超过食品卫生标准。经过十余年的艰苦努力,包括施用改良剂、深翻、清灌、客土、选择品种等各种措施,才逐步恢复其部分生产力,付出了大量的劳力和代价(高拯民,1986)。

(3) 后果的严重性。由于土壤污染的隐蔽性或潜伏性、以及它的不可逆性或长期性,因而往往通过食物链危害动物和人体的健康。研究表明,土壤和粮食的污染与一些地区居民肝肿大之间有着明显的剂量-反应关系,污灌引起的污染越严重,人群的肝肿大率越高。一些土壤污染事故严重威胁着粮食生产,三氯乙醛的污染是一个比较典型的事例,它是由于施用含三氯乙醛的废硫酸生产的普通过磷酸钙肥料所引起。其中万亩以上的污染事故在山东、河南、河北、辽宁、苏北、皖北等地曾多次发生,受害品种包括小麦、花生、玉米等十多种农作物,轻则减产,重则绝收。有的田块毁苗后重新播种多次仍然受害,损失十分惨重(徐瑞薇等,1988)。

3. 土壤污染源

土壤污染源可分为天然污染源和人为污染源。天然污染源是指自然界自行向环境排放有害物质或造成有害影响的场所,如正在活动的火山;人为污染源是指人类活动所形成的污染源。后者是土壤污染研究的主要对象,而在这些污染源中,化学物质对土壤的污染是人们最为关注的。污染物进入土壤的途径按照所划分的土壤污染源可分为污水灌溉、固体废弃物的利用、农药和化肥、大气沉降物等。

(1) 污水灌溉。由灌水,特别是污灌常可引起土壤污染。污灌是指利用城市污水、工业废水或混合污水进行农田灌溉。我国污水的处理率很低(表 1-2),排放达标率目前也仅在 50%左右,因而大量污水未加处理而直接倾注于环境中,用这样的污水灌溉后,使一些灌区土壤中有毒有害物质有着明显的累积。试验表明,利用含重金属的矿坑水(金属含量平均为 Cu 0.04, Pb 0.47, Zn 3.8, Cd 0.023 mg/L)进行污灌后,土壤 Cu 含量由 31 增至 133 mg/kg; Pb 含量由 44 增到 1600 mg/kg; Zn 含量由 121 增至 3700 mg/kg; Cd 由 0.37 增至 12.1 mg/kg。张士灌区在 20 多年的污灌中,污灌面积达 2500 余公顷,镉污染十分严重,其中有 330 多公顷土壤含镉 5—7 mg/kg,稻米含镉 0.4—1.0 mg/kg,最高田块达 3.4 mg/kg(周锡爵,1987)。京津唐地区污灌对生态环境的影响表明(蔡士悦等,

1985),北京东郊由污灌引起的土壤污染约占检测样品的 60%,而污染的糙米样品数约占检测样品数的 36%。

表 1-2 全国废水排放量和处理率(鲍强,1993)

年 份	1980	1985	1990	1995	2000
废水污水排放总量($\times 10^8 \text{ m}^3$)	234	341	354	410—450	500—550
工业废水处理率(%)	10	23	60.6	70	84
工业废水排放达标率(%)	26	41	50.1	55	65

(2) 固体废弃物的利用。固体废弃物包括工业废渣、污泥、城市垃圾等多种来源。由于污泥中含有一定的养分,因而可用来作为肥料使用,城市生活污水处理厂的污泥含氮量为 0.8—0.9%,含磷量为 0.3—0.4%,含钾量为 0.2—0.35%,有机质含量为 16—20%。但如混入工业废水或工业废水处理厂的污泥,其成分较生活污水污泥要复杂得多,特别是重金属的含量很高。这样的污泥如在农田中施用不当,势必造成土壤污染。一些城市历来都把大量垃圾运往农村,由于垃圾中含有大量的煤灰、砖瓦碎块、玻璃、塑料等,例如 1986 年对广州市居民生活垃圾组成的调查表明,动植物残体占 28.3%;无机物、煤灰、砖瓦、陶瓷等占 64.1%;纸、纤维、塑料等占 5.2%,金属和玻璃占 2.4%。含这些成分多的垃圾长期施用农田,可逐步破坏土壤的团粒结构和理化性质。同时城市垃圾亦含有一定量的重金属,使土壤中重金属含量随着垃圾施用量的增多而增加(表 1-3)。

表 1-3 施用垃圾对土壤、稻谷中重金属含量(mg/kg)的影响(吕春元等,1985)

处 理	Cd	Hg	Cr	Pb	Ni	Cu	Zn
施垃圾肥土壤	1.5	0.07	12.0	82	—	—	92
对照土壤	0.6	0.05	12.0	24	—	—	20
施垃圾肥稻谷	0.033	<0.008	<0.01	0.27	6.27	3.0	16.2
对照稻谷	0.007	<0.008	<0.001	0.18	0.18	2.7	19.0

(3) 农药和化肥的施用。农药在生产、贮存、运输、销售和使用过程中都会产生污染,施在作物上的杀虫剂大约有一半左右流入土壤中。进入土壤中的农药虽然在生物、光解和化学作用下,可有一部分降解,但对于像有机氯这样的长效农药来说,那是十分缓慢的。农药在土壤中的残留性与土壤的理化性质和环境条件有着密切的关系,如呋喃丹在灌溉地区的土壤中残留量较低;在腐殖土中的降解速度分别为壤土和砂壤土的 1/2 和 1/3;土壤 pH 值越高,其分解越快。

化肥对土壤的污染一是不合理的过量施用,促使土壤养分平衡失调;农田大量使用氮肥、城市和农村生活污水都把大量氮排入土壤,有的直接从土壤表面挥发进入大气,有的经土壤微生物作用转化成氮气和氮氧化物进入大气,可能破坏臭氧层;有的随地表径流和地下水排入水体中,使地下水源受氮污染;河川、湖泊、海湾的富营养化,使藻类等水生植物生长过多。二是有毒磷肥,特别是含三氯乙醛磷肥,它是由含三氯乙醛的废硫酸生产的,当它在土壤中施用后,三氯乙醛转化为三氯乙酸,两者均可给植物造成毒害,关于由此而造成的作物大面积受害的情况屡有发生。磷肥中重金属特别是 Cd 的含量也是一个不容

忽视的问题。世界各地磷矿含镉范围一般在 1—110 mg/kg,但也有个别矿高达 980 mg/kg。表 1-4 为我国和世界一些国家磷矿含 Cd 的比较(鲁如坤等,1992),表 1-5 为磷肥含 Cd 量的状况(鲁如坤等,1992),据估计,我国每年随磷肥带入土壤的总 Cd 量约为 37t,因而应当认为含 Cd 磷肥是一种潜在的污染源。

表 1-4 我国和世界主要国家磷矿含 Cd 量的比较(鲁如坤等,1992)

国 别	矿 名	含量范围(mg/kg)	平均值(mg/kg)
中国	全部矿采	0.1—571	15.3
	扣除广西等不重要矿后	0.1—4.4	0.98
前苏联	Kola	—	0.3
美国	Florida	3 — 12	7
	N.C.	—	36
多哥	Togo	38 — 60	53
摩洛哥	Khouribga	1 — 17	12
	Joussoufia	—	4
阿尔及利亚	Algier	—	23
突尼斯	Gafsa	55 — 57	56

表 1-5 我国和一些国家磷肥含镉量的比较(鲁如坤等,1992)

国 别	含量范围(mg/kg)
中国	0.1—2.9
美国	7.4—15.6
加拿大	2.1—9.3
澳大利亚	18—91
瑞典	2—3

(4) 大气沉降物。气源重金属微粒是土壤重金属污染的途径之一,它的构成主要是金属飘尘。在金属加工过程中,在交通繁忙的地区,往往伴随有金属尘埃进入大气,其种类视污染源的不同而异。这些飘尘自身降落或随着雨水接触植物体或进入土壤后随之为植物或动物所吸收,在大气污染严重的地区,作物亦有明显的污染(表 1-6)。酸沉降本身既是一种土壤污染源,又可加重其他有毒物质的危害,我国长江以南大部分地区本来就是酸性土壤,在酸雨的作用下,土壤进一步酸化,养分淋溶,结构破坏,肥力降低,作物受损,从而可破坏土壤生产力。此外,尚多个污染源的同时污染(李学典,1986)。

表 1-6 钢冶炼厂周围水稻中一些元素的含量(mg/kg)(潘如圭,1984)

地 点	叶			茎			谷 粒		
	Cu	Pb	As	Cu	Pb	As	Cu	Pb	As
污染区	176.0	9.7	15.3	48.0	3.5	11.9	24.0	2.7	0.7
对照区	38.4	0.8	0.9	41.1	1.2	0.7	14.2	0.6	痕量

由核裂变产生的两个重要的长半衰期放射性元素是⁹⁰Sr(半衰期为 28 年)和¹³⁷Cs(半衰期为 30 年),土壤中⁹⁰Sr 的浓度常与当地降雨量成正比。公路两侧土壤中重金属的含量

随距离的增加而减少。

4. 土壤污染的类型

土壤污染的类型目前并无严格的划分,如从污染物的属性来考虑,一般可分为有机物污染、无机物污染、生物污染和放射性物质的污染。

(1) 有机物污染。可分为天然有机污染物和人工合成有机污染物,这里主要是指后者,它包括有机废弃物(工农业生产及生活废弃物中生物易降解和生物难降解有机毒物)、农药(包括杀虫剂、杀菌剂和除莠剂)等污染。有机污染物进入土壤后,可危及农作物的生长和土壤生物的生存,如稻田因施用含二苯醚的河泥曾造成稻苗大面积死亡,泥鳅、鳊鱼绝迹。人体接触污染土壤后,手脚出现红色皮疹,并有恶心,头晕现象。农药在农业生产上的应用尽管收到了良好的效果,但其残留物却污染了土壤和食物链。进入土壤中的农药主要来自直接施用和叶面喷施,也有一部分来自回归土壤的动植物残体。近年来,塑料地膜地面覆盖栽培技术发展很快,1988年我国农膜覆盖面积已达3500万亩,1991年用膜约50万吨,由于管理不善,部分地膜弃于田间,它已成为一种新的有机污染物(刘启,1993)。

(2) 无机物污染。无机污染物有的是随着地壳变迁、火山爆发、岩石风化等天然过程进入土壤,有的是随着人类的生产和消费活动而进入的。采矿、冶炼、机械制造、建筑材料、化工等生产部门,每天都排放大量的无机污染物,包括有害的元素氧化物、酸、碱和盐类等。生活垃圾中的煤渣,也是土壤无机污染物的重要组成部分,一些城市郊区长期、直接施用的结果造成了土壤环境质量的下降(表1-3)。

(3) 土壤生物污染(吴学周,1983)。是指一个或几个有害的生物种群,从外界环境侵入土壤,大量繁衍,破坏原来的动态平衡,对人类健康和土壤生态系统造成不良影响。造成土壤生物污染的主要物质来源是未经处理的粪便、垃圾、城市生活污水、饲养场和屠宰场的污物等。其中危害最大的是传染病医院未经消毒处理的污水和污物。进入土壤的病原体能在其中生存较长的时间,如痢疾杆菌能在土壤中生存22—142天,结核杆菌能生存一年左右,蛔虫卵能生存315—420天。土壤生物污染不仅可能危害人体健康,而且有些长期在土壤中存活的植物病原体还能严重地危害植物,造成农业减产。例如,一些植物致病细菌污染土壤后能引起番茄、茄子、马铃薯等植物的青枯病,能引起果树的细菌性溃疡和根癌病。某些致病真菌污染土壤后能引起大白菜、油菜、甘蓝等多种栽培和野生十字花科蔬菜的根肿病,引起茄子、棉花、黄瓜、西瓜等多种植物的枯萎病,菜豆、豇豆等的根腐病,以及小麦、大麦、燕麦、高粱、玉米、谷子的黑穗病等。

(4) 土壤放射性物质的污染(吴学周,1983)。系指人类活动排放出的放射性污染物,使土壤的放射性水平高于天然本底值。放射性污染物是指各种放射性核素,它的放射性与其他化学状态无关。每一种放射性核素都有一定的半衰期,能放射具有一定能量的射线。除了在核反应条件下,任何化学、物理或生化处理都不能改变放射性核素的这一特性。

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。大气中的放射性沉降,施用含有铀、镭等放射性核素的磷肥和用放射性污染的河水灌溉农田也会造成土壤放射性污染,这种污染虽然一般程度较轻,但污染的范围较大。

土壤被放射性物质污染后,通过放射性衰变,能产生 α 、 β 、 γ 射线。这些射线能穿透人