

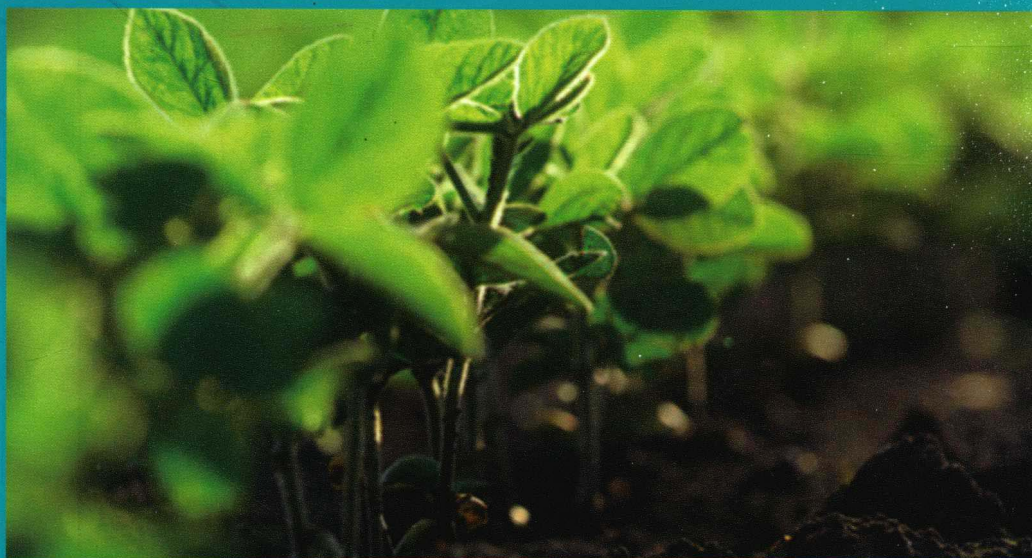


耕地重金属 污染防治管理理论与实践

GENGDI ZHONGJINSHU WURAN
FANGZHI GUANLI LILUN YU SHIJIAN

郑顺安 黄宏坤 / 主编

(上册)



中国环境出版社

耕地重金属污染防治 管理理论与实践

(上册)

郑顺安 黄宏坤/主编

中国环境出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

耕地重金属污染防治管理理论与实践:全2册/郑
顺安,黄宏坤主编. —北京:中国环境出版社,2017.7
ISBN 978-7-5111-3166-9

I. ①耕… II. ①郑… ②黄… III. ①耕地—土壤污
染—重金属污染—污染防治—研究 IV. ①X53

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第088311号

出 版 人 王新程
责任编辑 丁莞歆
责任校对 尹 芳
封面设计 岳 帅

出版发行 中国环境出版社
(100062 北京市东城区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
电子邮箱: bjgl@cesp.com.cn
联系电话: 010-67112765 (编辑管理部)
010-67175507 (环境科学分社)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2017年7月第1版
印 次 2017年7月第1次印刷
开 本 787×1092 1/16
印 张 40.5
字 数 1000千字
定 价 158.00元(全2册)

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载,侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题,请寄回本社更换

编委会

主任：王久臣 高尚宾

副主任：闫成 李波 曹子祯

委员：李想 黄宏坤 郑顺安 邢可霞 徐志宇

编写组

主编：郑顺安 黄宏坤

编著者：（按姓氏笔划排序）

丁永祯	习斌	王伟	尹建锋	师荣光	刘晖	刘钦云
安毅	李欣欣	李垚奎	李晓华	吴泽赢	林大松	周玮
郑向群	郑顺安	居学海	段青红	贾涛	袁宇志	涂先德
黄宏坤	梁苗	韩允垒	靳拓	薛颖昊		

审定：郑顺安 黄宏坤

前 言

民以食为天，食以土为本。耕地环境质量是农产品生产和质量安全的基础，事关人民群众“舌尖上的安全”和社会稳定。受工业及乡镇企业“三废”、城市生活与交通、农用化学物质及畜禽粪便、高背景等多种因素的影响，当前我国耕地重金属污染形势不容乐观，对提高农产品质量安全、增加农产品供给及解决我国“三农”问题提出了新的严峻挑战。

目前，我国耕地重金属污染治理的总方针是在全面普查的基础上，在占大多数的轻中度污染区域实施农艺措施为主的修复技术，采取源头控制、选用低富集农作物品种、强化灌溉管理、调节土壤性质、添加调理剂等措施，边生产、边治理，逐步实现农产品达标生产；在少数重度污染区开展农艺措施修复治理的同时，建立种植结构调整试点，通过粮食作物调整、粮油作物调整和改种非食用经济作物等方式因地制宜地调整种植结构，实现农产品产地的休养生息，最终实现农产品安全生产和农产品产地环境质量的稳步改善。2012年以来，农业部门通过实施全国农产品产地土壤重金属污染防治工作，开展农产品产地土壤重金属污染普查，摸清底数，同时在典型重金属污染地区探索性地建立重金属污染修复示范点，开展以农艺措施为主体修复技术的示范和推广，在政策、标准、科研等方面也取得了较大进展。针对土壤重金属污染来源复杂、隐蔽滞后性等特点，各地农业部门还将现有治理措施与地方实际情况相结合，出台了一些地方性的条例、对策，探索可持续发展的耕地污染治理支撑政策体系，但同时也存在污染底数不清、治理技术推广受限、长效机制不健全等问题。

《土壤污染防治行动计划》的出台，对“十三五”期间我国土壤污染防治工作做出全面战略部署。为深入贯彻落实《土壤污染防治行动计划》的相关要求，及时总结农业部门在耕地污染防治领域的做法和经验，推进耕地污染防治工作，我们编写了《耕地重金属污染防治管理理论与实践》一书。本书描述了当前我国耕地重金属污染现状、成因、特征，总结了近年来农业部门在耕地污

染防治方面开展的工作，梳理了存在的问题，并提出了下一步治理对策；还收集、整理了国内外耕地污染治理技术和案例，汇集了相关法律法规和标准文件，希望能为从事耕地污染防治的行业管理和技术人员提供帮助，并为高等院校、科研院所从事相关行业研究的人员提供参考，以期在完善耕地污染防治管理、推动实践应用方面发挥一些作用。

本书在广泛征求相关专家、耕地污染防治一线工作人员意见的基础上，经过多次讨论和修订后定稿。由于专业技术水平和时间有限，书中难免存在疏漏与不当之处，有待于今后进一步研究完善，也敬请广大读者和同行批评指正，并提出宝贵建议，以便我们及时修订。

郑顺安 黄宏坤

2017年1月5日

目 录

(上 册)

第一章 我国耕地重金属污染现状及成因	1
一、耕地重金属污染困扰农业发展	1
二、我国耕地重金属污染现状	1
三、耕地重金属污染成因	3
四、土壤重金属污染的特点	6
五、耕地重金属污染事件	7
参考文献	10
第二章 我国耕地重金属污染防治工作	11
一、耕地污染防治工作的基础	11
二、当前耕地污染防治工作存在的问题	12
三、耕地重金属污染治理对策	13
参考文献	15
第三章 耕地重金属污染治理修复技术	16
一、通用的土壤重金属污染治理修复技术	16
二、耕地重金属污染治理修复技术	24
参考文献	26
第四章 耕地重金属污染治理修复实践	28
一、国外或其他地区农用地土壤重金属污染治理案例	28
二、国内农用地土壤重金属污染治理案例	29
第五章 耕地重金属污染防治相关标准	51
土壤环境质量标准	52
绿色食品 产地环境质量	56
农产品产地安全质量适宜性评价技术规范	63
农产品产地禁止生产区划分技术指南	68
基本农田环境质量保护技术规范	71
食用农产品产地环境质量评价标准	79

温室蔬菜产地环境质量评价标准	86
全国土壤污染状况评价技术规定	94
全国农产品产地土壤重金属安全评估技术规定	100
花生田镉污染控制技术规程	105
无公害食品 产地环境质量调查规范	107
无公害农产品 产地环境评价准则	111
绿色食品 产地环境调查、监测与评价规范	117
河北省农田土壤重金属污染修复技术规范	125
补充耕地质量评定技术规范	131
耕地质量预警规范	142
耕地质量划分规范	161
耕地地力调查与质量评价技术规程	176
耕地质量验收技术规范	207
土壤环境监测技术规范	221
农田土壤环境质量监测技术规范	257
耕地质量监测技术规程	309

第一章 我国耕地重金属污染现状及成因

一、耕地重金属污染困扰农业发展

当前,我国耕地污染集中表现为重金属污染问题。重金属一般指比重大于 5 (或密度大于 4.5 g/cm^3) 的金属。在化学元素周期表中,被称为重金属的约 45 种,如金 (Au)、银 (Ag)、铜 (Cu)、铁 (Fe)、锌 (Zn) 等。绝大部分重金属对人体有害。国际公认对人体毒性较高的重金属有镉 (Cd)、铅 (Pb)、汞 (Hg)、砷 (As)、铬 (Cr)。重金属能使蛋白质变性,影响人体正常生理活动,破坏人体细胞、脏器、皮肤、骨骼、泌尿系统、消化系统、神经系统等,可致癌、致畸、致突变。日本镉污染引起的“痛痛病”(又名“骨痛病”)、汞污染引起的“水俣病”及我国儿童“血铅”等是典型的重金属污染案例。

重金属通过食物、饮水、呼吸等多种途径进入人体。食物是最重要的途径之一。食物中的重金属相当大的一部分来自耕地污染和田间生产的农产品,一部分来自产后储运、加工、烹饪等。农业生产是农产品污染的源头之一。农作物在田间生长,从土壤、灌溉水、大气中吸取养分,同时将污染物带入植物体内,造成食品安全问题。其中,土壤最为重要,土壤一旦遭受污染,农产品安全问题很难消除。

耕地重金属污染常被称作“化学定时炸弹”。与有机污染物不同,土壤中的有机污染物可以靠自然降解慢慢消除,重金属则不能。相反,由于土壤有机质、黏粒等具有吸附、固定重金属的特性,灌溉水、空气以及各种农业投入品中的重金属会在土壤中慢慢累积,以致不断增加。当土壤中的重金属累积达到一定程度时,某些条件的改变(如 pH 值下降),会使大量累积的重金属集中释放,导致农作物大幅度减产、农产品严重超标,甚至“寸草不生”。耕地是农业生产的物质基础。我国农业耕地资源紧缺,肩负着庞大人口对食物需求的重担,耕地重金属污染对提高农产品质量安全、增加农产品供给及解决我国“三农”问题提出了新的严重挑战。

二、我国耕地重金属污染现状

(一) 形势不容乐观

目前,耕地重金属污染情况主要有三个方面的数据,分别来自环保、国土和农业部门。

一是环境保护部和国土资源部 2014 年 4 月 17 日公布的《全国土壤污染状况调查公报》^[1]。2005 年 4 月至 2013 年 12 月,我国开展了首次全国土壤污染状况调查,调查范围为中华人民共和国境内(不含中国香港特别行政区、中国澳门特别行政区和中国台湾地区)

的陆地国土,调查点位覆盖全部耕地,部分林地、草地、未利用地和建设用地,实际调查面积约 630 万 km^2 。调查将土壤污染程度分为五级:污染物含量未超过评价标准的,为无污染;1~2 倍(含)的,为轻微污染;2~3 倍(含)的,为轻度污染;3~5 倍(含)的,为中度污染;5 倍以上的,为重度污染。调查表明,全国土壤总的超标率为 16.1%,其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为 11.2%、2.3%、1.5%和 1.1%。污染类型以无机型为主,有机型次之,复合型污染比重较小,无机污染物超标点数占全部超标点位的 82.8%。从污染分布情况看,南方土壤污染重于北方;长江三角洲、珠江三角洲、东北老工业基地等部分区域土壤污染问题较为突出,西南、中南地区土壤重金属超标范围较大;镉、汞、砷、铅四种无机污染物含量分布呈现从西北到东南、从东北到西南方向逐渐升高的态势。耕地土壤点位超标率为 19.4%,其中轻微、轻度、中度和重度污染点位比例分别为 13.7%、2.8%、1.8%和 1.1%,主要污染物为镉、镍(Ni)、铜、砷、汞、铅、滴滴涕和多环芳烃。

二是国土资源部 2015 年 6 月 25 日公布的《中国耕地地球化学调查报告(2015 年)》^[2]。1999—2014 年,中国地质调查局实施了全国土地地球化学调查,调查比例尺为 1:25 万,每 1 $\text{km} \times 1 \text{ km}$ 的网格(即 1 500 亩^①)布设 1 个采样点位,调查土地总面积 150.7 万 km^2 ,其中调查耕地 13.86 亿亩。调查表明,无重金属污染耕地 12.72 亿亩,占调查耕地总面积的 91.8%,主要分布在苏沪区、东北区、京津冀鲁区、西北区、晋豫区和青藏区;重金属中重度污染或超标的点位比例占 2.5%,覆盖面积 3 488 万亩,轻微—轻度污染或超标的点位比例占 5.7%,覆盖面积 7 899 万亩。污染或超标耕地主要分布在南方的湘鄂皖赣区、闽粤琼区和西南区。

三是农业部门自 2001 年以来先后进行了四次耕地污染高风险重点区域调查,总调查面积 4 382.44 万亩,超标面积为 446.79 万亩,总超标率为 10.2%,以镉污染最为普遍,其次是砷、汞、铅、铬。

综合多部门调查结果判断,目前我国重金属污染耕地面积为 1.8 亿~2.7 亿亩,主要分布在我国南方的湖南、江西、湖北、四川、广西、广东等省区,污染区域主要为工矿企业周边农区、污水灌区、大中城市郊区和南方酸性水稻种植区等。其他广大农区污染程度较轻,北方中、碱性土壤区问题不大,但一些高投入的设施蔬菜基地问题不容小觑。就污染物种类和污染程度而言,重金属元素中,镉污染最为普遍,其次是砷、汞,再次是铅,其余超标率较低。工矿企业周边农区污染物种类因企业而异,相对的超标污染物种类较少,但超标倍数很高;污水灌区污染物种类因污水来源而异,超标污染物数量、超标倍数等因水污染程度和污灌时间变化较大;大中城市郊区主要受城市垃圾、污水和畜禽粪便污染影响,一般污染物种类相对较多,但超标倍数较低。

(二) 总体可防可控可治

根据环境保护部第一次全国土壤污染状况调查的结果,耕地总的点位超标率为 19.4%,其中轻微污染 13.7%、轻度污染 2.8%、中度污染 1.8%,重度污染仅为 1.1%。总体上看,我国耕地重金属污染主要为轻度污染,且各地的重金属污染治理措施对轻度污染区较为有

^① 1 亩 $\approx 666.67 \text{ m}^2$, 15 亩 $=1 \text{ hm}^2$ 。

效。例如湖南省通过“VIP”综合技术（V指品种替代、I指灌溉水清洁化、P指土壤pH值调整），在土壤镉含量0.5 mg/kg的条件下可以生产出83%的合格大米。但对于重金属重度污染区，传统的土壤整治措施已无法满足安全生产的需要，必须进行种植结构调整，实施禁产区划分，开展限制性生产。由于重度污染区所占比例不大，所以需要结构调整的比例有限，面积较小。

（三）农产品质量有保障

土壤-作物系统中的重金属迁移是一个复杂的过程，除受土壤中重金属含量、形态及环境条件的影响外，不同类型农作物吸收重金属元素的生理生化机制各异，因而有不同吸收和富集重金属的特征。即使是同一类型的农作物，不同品种间富集重金属的能力也有显著差异。此外，农田灌溉方式、灌溉时间、施肥方式和田间管理等农艺措施都会影响作物对耕地重金属的吸收。这些因素均决定了土壤重金属含量与农产品质量之间并非简单的直接对应关系，不能简单认为耕地某些指标超过限量值，农产品就一定超标，农产品就不安全。对全国无公害农产品基地县环境质量评价结果表明，南方部分土壤重金属高背景值地区，有的重金属含量超过了《土壤环境质量标准》（GB 15618—1995）的二级标准，但多年来生产的农产品一直是安全的，甚至是出口创汇的主打产品，农产品质量经得起发达国家的严格检验。总体来看，我国粮食主产区和蔬菜种植大县农产品受重金属污染并不明显。

首先，土壤中能够被植物直接吸收的重金属所占比例不高。根据对植物的有效性来划分，土壤中重金属分为有效态重金属和非有效态重金属，两者之和称为重金属总量，造成危害的主要是有效态重金属。从农业部监测的小麦、稻米、玉米、蔬菜等主要农产品看，农产品重金属含量与土壤重金属总量的相关系数一般介于0.07~0.53，但与土壤有效态重金属含量有更高的相关性，相关系数可达到0.74~0.97。八大重金属镉、铅、汞、砷、铬、镍、铜、锌中，有效态比例以镉最高，占土壤总量的5%~15%，其他七种元素为0.2%~5%，其中铬、镍、锌一般小于1%。

其次，重金属主要分布在农作物根部，果实（籽粒）等可食部位中分布较少。土壤中的重金属进入农作物一般是通过根—茎—叶、果实的路径迁移，分布规律一般是根>茎叶>果实（籽粒），对人体的健康风险较低。

此外，不同的作物类型吸收重金属的个体差异大，如镉容易在水稻和叶菜蔬菜中富集，锌容易在小麦中富集，存在一定安全风险，其余作物如玉米、豆类一般对重金属的吸收水平较低。

对农产品而言，最主要和最严重的污染来源是工业污染，重污染企业用地、工业废弃地仍然是农产品污染的重灾区，这类土地往往污染物数量大、含量高、活性强，对农产品产地环境和农产品质量安全的危害十分严重，需要从根本上阻断来源，防止污染。

三、耕地重金属污染成因

一般认为，造成耕地重金属污染的原因主要有以下几点：

(一) 工业“三废”

“三废”指废水、废气、废渣，其中废水的影响最大（表 1-1）。采矿、选矿和冶炼是向土壤环境中释放重金属的主要途径之一。风刮起的尾砂（一些含金属的细微矿石颗粒）经沉降、雨水冲洗和风化淋溶等途径进入土壤。矿山固体垃圾从地下搬运到地表后，由于所处环境的改变，在自然条件下极易发生风化作用（物理、化学和生物作用），使大量有毒有害的重金属元素释放到土壤和水体中，给采矿区及其周围环境带来严重的污染。采矿废石、尾矿在地表氧化、淋滤过程中释放出大量的重金属，垂直向下迁移至深部形成次生矿物，造成重金属大量富集，污染下层土壤。

表 1-1 排放重金属的工业类型

工业	重金属类型																														
	Al	Ag	As	Au	Ba	Be	Bi	Cd	Co	Cr	Cu	Fe	Ga	Hg	In	Mn	Mo	Os	Pb	Pd	Ni	So	Sn	Ta	Ti	Tl	U	V	W	Zn	
采矿	○		○				○					○		○	○	○		○							○	○					
选矿																															
冶金																															
电镀		○	○			○	○	○		○	○		○	○				○		○								○	○		
化工	○		○		○			○		○	○	○	○	○				○	○				○	○	○		○				○
染料	○		○					○			○	○							○			○			○	○					
墨水																															
制造								○		○	○		○							○											
陶瓷			○							○												○				○					
合金						○						○		○			○		○			○									
涂料					○				○							○	○					○				○					
照相		○		○			○	○	○							○		○								○					
玻璃			○		○											○		○		○			○	○							
造纸	○									○	○			○						○											
制革	○		○		○				○	○	○		○															○			
制药	○									○	○	○	○									○				○					
纺织	○		○		○			○			○	○		○				○	○		○					○	○				
核技 术						○		○						○																	
肥料	○		○					○		○	○	○		○		○			○		○										○
氯碱	○		○				○		○		○		○					○			○									○	
制造																															
炼油	○		○					○		○	○	○							○		○										○

(二) 污水灌溉

污水灌溉一般指使用经过一定处理的生活污水、商业污水和工业废水灌溉农田、森林和草地。我国的污水灌区主要分布在北方水资源严重短缺的海、辽、黄、淮四大流域，约占全国污水灌溉面积的 85%^[3]。大量未经处理的污水进入农田，导致农业耕地和作物遭受

不同程度的重金属污染，普遍的重金属污染物是镉和汞。根据农业部 20 世纪 90 年代第一次和第二次全国污灌区调查，在约 140 万 hm^2 的调查灌区中，遭受重金属污染的土壤面积占污水灌区面积的 64.8%^[4]。此外，涉重金属企业生产中产生的气体和粉尘，经自然沉降和降雨进入土壤，也能造成耕地重金属污染。

(三) 城市生活和交通

城市生活废物特别是电子垃圾的大量增加以及交通产生的废物等能造成耕地重金属累积。公路交通活动中，含铅汽油和润滑油的燃烧、汽车轮胎的老化和刹车里衬的机械磨损，均会排放一定量的重金属。汽车尾气和轮胎磨损产生的含有重金属成分的粉尘，通过大气可以沉降到达道路附近的土壤中，在公路两侧农田中形成较明显的铅、锌、镉等元素的污染带。

(四) 农业投入品

工厂化养殖畜禽中饲料添加剂的应用常常导致畜禽粪中含有较高的重金属铜、砷等，如果作为有机肥施用时可以引起重金属污染（表 1-2）。部分农药的成分中含有汞、砷、铜、锌等重金属元素，长期使用可以引起重金属污染。地膜的生产过程中则由于加入了含有镉、铅的热稳定剂，大量的施用也会引起污染。

表 1-2 近 30 年（1980—2010 年）中国知网有机肥文献重金属含量百分位数值表 单位：mg/kg

元素	样本组数	分布类型	5%	10%	25%	50%	75%	90%	95%
Cd	45	偏态分布	0.15	0.23	0.42	0.90	2.40	4.33	6.54
Pb	46	偏态分布	0.11	0.40	1.15	12.79	23.48	30.70	37.87
As	39	偏态分布	0.05	1.00	1.59	5.51	11.60	48.30	72.83
Hg	27	偏态分布	0.01	0.02	0.06	0.09	0.32	156.20	437.20
Cu	44	偏态分布	22.36	34.88	46.73	92.50	316.90	666.10	964.40
Zn	43	偏态分布	16.84	21.10	110.50	252.30	458.30	1 338.00	1 486.00
Ni	14	偏态分布	8.10	8.24	12.63	17.61	19.68	21.02	21.10
Cr	31	偏态分布	0.10	0.13	18.20	33.29	49.90	68.76	163.10

需要着重指出的是，化肥（主要是磷肥）的施用对耕地重金属污染的影响非常有限。2011—2012 年爆发的湖南“镉米事件”中，曾有部分专家认为磷肥中伴生的镉是土壤重金属污染的主要原因之一，但根据农业部对全国 30 个主要磷肥生产厂家的调查，磷肥中平均含镉量为 0.61 mg/kg ，远低于一般含量 5~50 mg/kg 的常见范围，随磷肥施入土壤的镉量最多为 22 mg/kg ，远景为 46 mg/kg ，按远景量来计算，施用 1 000 年才能达到土壤负荷量。因此，磷肥施用对耕地重金属污染的影响十分有限。

(五) 地质元素高背景

由于矿化和一些特殊的地质作用，自然因素也会导致一些地区土壤母质中重金属呈现高度富集的现象。20 世纪 80 年代进行的中国土壤元素背景值调查结果表明，不同类型母质上发育的土壤，其重金属含量的差异很大，如砷、镉、铬、铜、汞、镍和铅等元素在基

性火成岩和石灰岩母质发育的土壤中的平均含量大大高于风沙母质土壤。由于地质成因（主要与超基性火成岩有关）导致的土壤重金属富集现象是我国南方地区土壤中 铬、铜、镍、锌等元素含量在大尺度上发生分异的重要原因，如湖南省洞庭湖区镉含量平均值达到 0.194 mg/kg，是全国平均水平的 2 倍，特别是紫色砂页岩土壤中镉含量最高，一般为 0.403 mg/kg，最高达 4.113 mg/kg，而紫色砂页岩土壤约占湖南省耕地面积的 34%。

（六）土壤酸化

土壤酸化是我国农业重金属问题的特点。我国酸性土壤分布面积大。近 30 年来，随着酸性氮肥施用，酸沉降和长期不使用石灰类物质等使土壤酸化明显。对于大部分重金属来讲，土壤酸度下降时，矿物态重金属可转化成有效态，导致农产品重金属含量增加，对农业造成危害。

据有关资料^[5]，我国土壤酸碱度近 30 年平均下降了 0.6 个单位，酸性耕地面积（pH 值 < 5.5）从 30 年前的 7% 已上升到目前的 18%。如此大规模的土壤 pH 值下降，在自然条件下通常需要几十万年时间。有研究确认^[6]，我国 30 年里下降如此之快，主要是酸雨、长期大量施用化肥以及施用石灰、有机肥等传统农业措施缺失造成的。目前我国重金属污染问题的集中爆发，除长期的累积因素外，很重要的原因是土壤酸度下降造成的。

四、土壤重金属污染的特点

土壤环境的多介质、多界面、多组分以及非均一性和复杂多变的特点，决定了土壤环境污染具有区别于大气环境污染和水环境污染的特点。

（一）污染来源复杂

重金属污染物主要有两个来源，即自然污染源和人为污染源。对于耕地重金属污染，往往是自然污染与人为污染相互叠加，成因复杂。根据估算结果^[7]，目前各种人为来源中镉的输入导致我国农田耕层土壤（0~20 cm）中镉的年平均增量为 4 μg/kg，如果不采取有效的管控措施，这种幅度的持续增加足以在几十年的时间内使大部分无污染的土壤中镉含量达到超标水平。

（二）隐蔽性与滞后性

人体感官通常能发现水体和大气污染，而对于土壤污染，往往需要通过农作物包括粮食、蔬菜、水果或牧草以及人或动物的健康状况才能反映出来，具有隐蔽性或潜伏性。

（三）积累性和地域性

污染物在大气和水体中一般是随着气流和水流进行长距离迁移，而在土壤环境中很难扩散和稀释，重金属含量不断积累，因而使土壤环境污染具有很强的地域性特点。

（四）不可逆转性

重金属污染物对土壤环境的污染基本是一个不可逆转的过程，主要表现为两个方面：

一是进入土壤环境后,很难通过自然过程从土壤环境中稀释和消失;二是对生物体的危害和对土壤生态系统结构与功能的影响不容易恢复。

(五) 后果的严重性

土壤中的重金属通过食物链影响动物和人体的健康。重金属污染对人体和其他生物能够产生致癌、致畸甚至致死的效应,同时由于隐蔽性和不可逆性的特点,一旦等到人们发现,重金属污染危害已经十分严重了。

(六) 治理难而周期长

过去一段时间,人们把土壤作为污染物的消纳场所,过高估计了土壤的自净能力,实际上土壤是宝贵的农业生产资料,其环境负载容量是有限的,必须加以保护,防止重金属逐步累积。各种来源的重金属一旦进入土壤,除少部分可通过植物吸收和水循环(或挥发)移出外,其在土壤中的滞留时间极长。有研究表明^[8],温带气候条件下,镉在土壤中的驻留时间为75~380年,汞为500~1000年,铅、镍和铜为1000~3000年。一些土壤遭重金属污染后,往往需要花费很大的代价才能将污染降到可接受的水平,仅仅依靠切断污染源的方法往往很难自我修复,必须采用各种有效的治理技术才能消除现实污染。但是,从目前现有的治理方法来看,仍然存在治理成本较高和周期长的矛盾。

五、耕地重金属污染事件

(一) 日本“痛痛病”事件

镉是人体非必需元素,在自然界中常以化合物状态存在,当环境受到镉污染后,镉可在生物体内富集,通过食物链进入人体引起慢性中毒。镉的毒性较大,被镉污染的空气和食物对人体危害严重,日本因镉中毒曾出现“痛痛病”。

“痛痛病”是由于镉的环境污染(水、土壤和作物等),人长期食用“镉米”和饮用含镉的水而引起的慢性镉中毒。因为“痛痛病”的发生和“镉米”密切相关,而造成“镉米”的原因则是土壤污染的结果。镉大米最早出现在日本,因此日本对镉大米的治理方式和经验对国内具有相当的借鉴意义。20世纪30年代,日本的富山县也曾发生过大米镉含量严重超标的状况。富山县神通川上游的神冈矿山为当地铝矿、锌矿的重要生产基地,矿业公司向神通川流域的河道中排放了大量的含镉废水,造成周边地区土壤镉含量超过正常标准40多倍,一段时间后,该地区的水稻普遍镉含量超标,当地人食用后出现肾脏功能衰竭、骨质疏松、骨质疏松等“痛痛病”,最严重时就连咳嗽都能引起骨折。

日本治理镉大米有两种方式,一种是更换土壤,另一种是灌水治理。日本对大米中镉含量的标准要远远宽松于中国,即不能超过1.0 mg/kg(而国内标准为0.2 mg/kg,联合国食品准则委员会的规定是每千克大米镉含量不超过0.4 mg,欧盟规定每千克大米镉含量不能超过0.2 mg)。日本当初设定1.0 mg/kg的标准时,遭到本国民众的极大反对,所以实际可在市面上流通的大米标准被民间“自发地”抬高到了0.4 mg/kg。一旦发现镉含量为1.0 mg/kg标准以上的大米,日本就立刻启动国家收购作为工业用途,而如果发现介于0.4~

1.0 mg/kg, 就会马上启动灌水治理。

所谓灌水治理,就是在水稻抽穗期的前三周和后三周中,保证土壤在六周时间内有储存 2~3 cm 的水层。这样做是为了让土壤处于还原状态,镉会和土壤中的硫形成硫化镉(CdS),后者是一个很难溶的物质,不容易被水稻吸收,有助于控制稻米中的镉含量,但是这么操作的前提条件是这个灌溉水必须是干净的。日本灌溉水和工厂排放水现在是两条管道分开的。我国当前的困难就在这里,污水和灌溉水都混在一起,要灌水治理时却发现灌溉水本身也是受污染的,这就很麻烦。

灌水治理法是用于大米镉含量在 0.4~1.0 mg/kg 的标准,而一旦大米的镉含量超过 1.0 mg/kg 时,就需要进行土壤更换,把被污染的上层土壤全部换掉,用新鲜土壤进行覆盖。前提条件就是污染源的确定和切断,如果不进行污染源控制,换土也是没有什么意义的。整个日本为治理镉大米已经更换了 7 000 hm² 左右的土壤,此前日本“污染区”98%的土壤都在此方法下获得“新生”。而与此相伴的当然是昂贵的治理成本,在发生“痛痛病”的富山县神通川流域,当地政府更换了 863 hm² 的土地,耗费了 33 年的时间,花了整整 407 亿日元(图 1-1)。

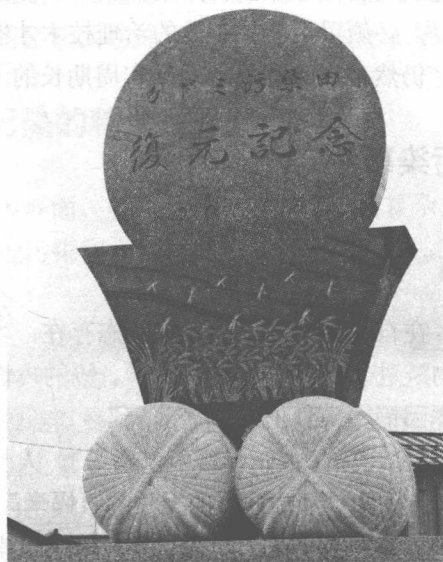


图 1-1 2008 年在富山县建立的“镉污染农田”修复纪念碑

(二) 湖南“镉大米”事件

湖南一直享有“鱼米之乡”的美誉,是我国最大的稻米生产省份,但同时也是有名的有色金属之乡,中部地区重要的有色金属和重化工业云集,无论是大气还是水体,湖南都是重金属排放大省,耕地重金属镉污染也尤为突出。

2013 年,流入广东的万吨重金属镉超标大米被媒体曝光,舆论哗然。随后 5 月广州市食品药品监督管理局发布的监测结果显示 18 批次大米及制品中 8 批次镉超标,这 8 批次产品中有 6 批次来自于湖南,一时间湖南大米成为众矢之的。长期摄入超标“镉米”会严重影响人们的肾脏功能、呼吸系统、骨质等,对人体健康损害巨大。受“镉大米”事件影

响，湖南稻米生产也遭受打击，攸县、湘潭等多个粮食主产区出现稻米滞销，大米制造商和农民成为直接受害者。根据湖南农业环境监测结果，重金属超标点位主要集中在长沙、湘潭、株洲、郴州、衡阳、嘉禾、益阳等区域，长株潭地区也成为重金属污染防治的重点地区和前沿阵地。

党中央、国务院高度重视耕地重金属污染治理问题。2014 年和 2015 年的中央“一号文件”分别要求启动重金属污染耕地修复试点，并扩大重金属污染耕地修复面积。根据中央精神，2014 年农业部、财政部安排专项资金，启动湖南长株潭地区重金属污染耕地修复及农作物种植结构调整试点工作，作为重金属污染耕地修复治理的试点省份，湖南成为中国整治“毒地”的突破口。

试点工作选择长株潭地区污染最严重的 170 万亩耕地，主要思路是根据稻米镉污染程度的不同，试行分区治理、综合施策，即稻米镉含量在 $0.2\sim 0.4\text{ mg/kg}$ 的耕地列为达标生产区，稻米镉含量大于 0.4 mg/kg 、土壤含量小于或等于 1 mg/kg 的耕地为管控专产区，稻米镉含量大于 0.4 mg/kg 、土壤含量大于 1 mg/kg 的耕地为替代种植区，以农艺措施为主，推行污染耕地修复、污染稻谷管控和农作物种植结构调整，边生产边修复，探索可推广、可复制的污染耕地治理方案和体制机制（图 1-2、图 1-3、图 1-4）。



图 1-2 湖南省长沙县“VIP+n”试点



图 1-3 湖南省株洲县“新技术新产品验证示范”基地