

骆永明◎主编

中国主要土壤环境问题与对策

Soil Environmental Problems and
Solutions in China



河海大学出版社

中国主要土壤环境问题与对策

骆永明 主编

河海大学出版社

内 容 提 要

中国土壤学会土壤环境专业委员会于 2005 年在广州中山大学召开了“中国土壤学会土壤环境专业委员会第九次会议”暨“中国土壤环境问题与对策学术研讨会”,2006 年在杭州浙江大学召开了“中国土壤学会土壤环境专业委员会第十次会议”暨“中国土壤环境风险评估及质量标准学术研讨会”,2007 年在兰州大学召开了“中国土壤学会土壤环境专业委员会第十一次会议”暨“全国污染土壤的修复与管理学术研讨会”。本论文集选择了三次研讨会期间所交流的部分论文,共 36 篇。全集分为土壤环境质量与管理、区域土壤环境问题及对策、农田土壤环境污染与修复、矿区土壤环境退化及恢复、污染物的土壤环境化学与调控五个部分。

本论文集系统介绍了我国主要的土壤环境问题及其对策,反映了我国土壤环境的科学研究、技术发展和保护管理方面的最新进展,提出了国家土壤环境保护研究发展的未来方向与建议。出版此文集的主要目的是希望能够在全面认识当前我国面临的土壤环境问题基础上,进一步推动我国土壤污染状况监测、过程机制及风险评估研究、土壤环境质量基准与标准制定、土壤污染防治政策及法律法规体系建立等工作,促进土壤污染控制和修复技术的研发与应用,提高污染场地土壤的风险管理水平。可供从事有关科研、教学、生产和管理部门的土壤环境保护科学工作者和管理人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国主要土壤环境问题与对策/骆永明主编. —南京:
河海大学出版社,2008.9

ISBN 978-7-5630-2561-9

I. 中… II. 骆… III. 土壤环境—研究—中国
IV. X21

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 141022 号

书 名	中国主要土壤环境问题与对策
书 号	ISBN 978-7-5630-2561-9/S·57
责任编辑	陈玉国
装帧设计	杭永鸿
出版发行	河海大学出版社
地 址	南京市西康路 1 号(邮编:210098)
电 话	(025)83737852(总编室) (025)83722833(营销部)
网 址	www.hhup.com
印 刷	南京捷迅印务有限公司
开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16 16.5 印张 450 千字
版 次	2008 年 9 月第 1 版 2008 年 9 月第 1 次印刷
定 价	60.00 元

前 言

土壤是地球表层生态系统的重要环境单元和中心枢纽,是农业生产的基本资料,是人类赖以生存的物质基础。土壤环境质量状况直接影响到粮食生产与农产品质量安全、生态系统安全 and 人居环境安全健康等国家安全保障体系。开展土壤环境研究,制定土壤环境保护对策,预防、监测、控制土壤污染,修复受污染的土壤已成为国家全面建设小康社会和实现可持续发展的战略需求。为响应这样的国家需求,中国土壤学会土壤环境专业委员会在过去的三年内,分别在广州、杭州、兰州召开了中国土壤学会土壤环境专业委员会第九、十、十一次会议,同时相继举行了“中国土壤环境问题与对策学术研讨会”、“中国土壤环境风险评估及质量标准学术研讨会”、“全国污染土壤的修复与管理学术研讨会”,系统分析了当前我国面临的区域土壤环境问题、农田土壤环境问题、矿区土壤环境问题以及土壤环境管理问题,并从土壤环境基础科学研究、关键技术研发和管理政策调控等层面提出了应对策略。本论文集以三次学术研讨会期间所提交的论文为基础,从中选择了部分代表性论文,以反映我国土壤环境的科学研究、技术发展和保护管理方面的最新进展和提出的未来研究发展方向与建议。

本论文集分为五个专题,分别是:土壤环境质量与管理、区域土壤环境问题及对策、农田土壤环境污染与修复、矿区土壤环境退化与恢复、污染物的土壤环境化学与调控。专题一收集的论文从较为宏观层面全面阐述了我国土壤环境质量与管理的几个主要方面,如土壤污染防治法的制定需求、污染土壤的风险评估制度、土壤环境质量基准与标准以及污染土壤修复及其决策支持系统等;专题二收集的论文主要从东北、西北、华北、华东、华中、西南和华南地区选择一些代表性的省份及地区,结合区域的经济社会发展与自然地理特点,综述区域尺度的土壤环境问题及其整治对策;专题三收集的论文系统介绍了当前我国农田土壤中重金属、持久性有机污染物以及在农业生产过程中出现的一些新型有机污染物的污染现状,污染物从土壤到农作物和进入作物体内的迁移、转化与

累积规律及健康风险,以及农田土壤污染修复试验研究等方面的内容,为保障农产品质量和人体健康提供了科学指导;专题四收集的论文主要针对矿区土壤的环境退化问题,在综述我国矿区土壤环境退化问题与对策的基础上,选择了一些典型矿区如广州大宝山铅锌矿、贵州汞矿、广西金属矿、黄土高原的煤矿等,结合矿区土壤的污染调查与室内外模拟试验研究,提出了以矿区恢复生态学为指导的矿区土壤环境治理思路和技术措施;专题五收集的论文主要介绍了重金属(镉)和有机污染物在土壤环境中的吸附—解吸、生物有效性、有机物料化学调控等研究工作,从微观研究层面阐明了污染物的土壤环境化学与调控机理。所选择的这些论文多是国内相关领域知名专家学者、土壤环境专业委员会委员与一线研究工作者的最新研究成果,对区域土壤环境质量演化与调控、土壤污染与修复学科的研究与发展将起到很好的引领作用。

本论文集的总体策划、统稿和定稿由骆永明完成。在论文的撰写、审阅、修改和编辑方面,得到了中国土壤学会土壤环境专业委员会全体成员、中国科学院南京土壤研究所土壤与环境生物修复中心研究人员,特别是宋静、章海波、吴志东、过园等的大力支持,在此一并致谢;同时,非常感谢国家重点基础研究发展规划项目课题(2002CB410810)和中国科学院创新团队国际合作伙伴计划(CXTD-Z2005-4)为本书的出版提供资助。

我们希望通过此论文集的出版,能够更加全面地认识当前我国面临的土壤环境污染问题,并在此基础上,进一步推动我国土壤污染状况监测、过程机制及风险评估研究、土壤环境质量基准与标准制定、土壤污染防治政策及法律法规体系建设等工作,促进土壤污染控制和修复技术的研发与应用,提高城市、城郊、农村、工业、矿区污染场地土壤的风险管理水平。因而,该论文集可供从事有关科研、教学、生产和管理部门的土壤环境保护科学工作者和管理人员参考。

由于编者水平有限,加之时间仓促,书中错漏在所难免,敬请各位同仁给予批评指正。

骆永明

中国土壤学会土壤环境专业委员会主任

2008年7月18日

目 录

第一篇 土壤环境质量与管理

我国土壤环境污染问题与对策·····	(3)
污染土壤风险评估及其在我国的应用·····	(10)
中国土壤环境质量的修订与应用·····	(19)
我国污染农田及场地土壤修复技术研发现状与态势·····	(26)
基于 REC 模型的污染场地修复决策支持系统 ·····	(30)
从我国土壤及其环境问题谈土壤污染防治法的制定需求·····	(36)

第二篇 区域土壤环境问题及对策

东北地区土壤环境问题及生态对策·····	(43)
我国西北地区土壤环境污染问题与对策·····	(49)
上海市土壤环境问题与对策·····	(55)
山西省土壤环境现状分析及对策研究·····	(64)
湖南省土壤环境问题与控制对策·····	(69)
云南省土壤的主要环境问题与对策研究·····	(77)
贵州高原喀斯特山区土壤环境问题与对策·····	(84)
海南省农用地污染现状与对策·····	(91)

第三篇 农田土壤环境污染与修复

上坝“癌症村”农田重金属污染现状调查·····	(99)
北京市污水资源的农业利用及对土壤环境的影响·····	(103)
施有机肥对小白菜产量和重金属含量的影响·····	(111)
镉在水稻中积累的健康风险与控制对策·····	(117)
土壤有害元素的植物富集能力估算方法及其意义·····	(125)
农田土壤酞酸酯和兽用抗生素污染及其风险削减技术·····	(131)
改良剂修复镉锌复合污染水稻土的效应与机理研究·····	(138)
利用套种和混合添加剂修复重金属污染土壤·····	(143)

多氯联苯污染农田土壤的鱼腥草修复作用初步研究·····	(151)
预制床处理后含油污泥的植物修复试验研究·····	(156)

第四篇 矿区土壤环境退化及恢复

中国矿区土壤环境问题与对策·····	(165)
广东大宝山矿及附近地区土壤污染现状及治理对策·····	(172)
贵州省滥木厂废弃汞矿山土壤汞污染现状调查·····	(178)
铜矿重金属污染调查及耐铜植物的筛选和耐性机理研究·····	(185)
广西金属矿山废弃地的生态恢复·····	(200)
矿区土壤环境问题及黄土高原煤矿区生态修复研究·····	(205)

第五篇 污染物的土壤环境化学与调控

稻田淹水还原过程对交换态镉消长行为影响的初步探讨·····	(215)
两种有机酸对恒电荷土壤和可变电荷土壤次级吸附镉的影响·····	(219)
温度对土壤中外源性重金属镉活性的影响·····	(225)
针铁矿对氧化锰矿物氧化 Cr(III)的影响 ·····	(232)
有机污染物在土壤中的吸附/解吸及其生物有效性研究 ·····	(239)
有机物料和介孔分子筛材料在重金属污染土壤改良中的应用·····	(249)

第一篇

土壤环境质量与管理

我国土壤环境污染问题与对策^{*}

骆永明^{**} 章海波 吴春发

(中国科学院南京土壤研究所土壤与环境生物修复研究中心,
土壤与农业可持续发展国家重点实验室,南京 210008)

摘 要: 本文基于文献调研介绍了我国土壤环境污染研究工作的现状,系统综述了农业、城市、矿区土壤污染的状况、特征、趋势、危害及成因,指出我国土壤污染的范围在扩大,土壤污染物的种类在增多,出现了复合型、混合型的高风险土壤污染区,呈现出从污灌型向与大气沉降型并重转变,城郊向农村延伸,局部向区域蔓延的趋势;提出了“尽快制定土壤污染防治法,完善我国土壤环境保护标准体系;开展农业和工业场地土壤污染状况调查工作,提高土壤污染监测监控能力;加大科研投入,加强土壤污染机制、防治政策和修复技术研究;加强土壤环境保护的宣传与科普工作,努力提高国民的土壤保护意识;加强土壤环境保护方面的国际合作和科技交流,促进创新能力的提升”等五条对策。

关键词: 土壤污染; 中国; 土壤环境保护; 土壤污染防治与修复

土壤是人类赖以生存的物质基础。土壤环境安全直接影响到农产品质量安全、国土生态安全和人居环境安全,是国家资源环境安全保障体系的重要部分。制定土壤环境保护对策,预防、监测、控制土壤污染,修复受污染的土壤质量,已成为国家全面建设小康社会、实现生态文明和可持续发展战略目标的重大需求。

在 20 世纪的最后 30 年期间,我国开展了局域土壤污染调查与研究,探讨了部分土壤环境污染的现状、成因、趋势、危害及其防治对策。进入 21 世纪后,国家组织开展了长江三角洲、珠江三角洲等区域性土壤环境质量变化规律与调控原理研究和更大范围的国土地球化学调查分析工作;目前,正在开展全国土壤污染状况调查与防治专项、我国土壤环境保护宏观战略研究等工作。这些工作必将引领和指导土壤环境保护的基础研究、技术研发和工程应用。本文主要依据文献资料分析我国土壤环境污染问题及其防治策略。

1 基于文献的我国土壤环境污染研究现状

初步统计表明,近 30 年来全国公开发表的与土壤重金属污染相关的中文文献约达

^{*} 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB410810)、国家自然科学基金重点项目(40432005)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(CXTD-Z2005-4)资助。

^{**} 作者简介:骆永明(1962—),男,浙江义乌人,研究员,主要从事土壤环境与污染修复研究。E-mail: ymluo@issas.ac.cn

3 000 篇,其中涉及全国各省市调查分析与试验研究的有 500 余篇,土壤重金属污染问题已经受到全国各地的关注。从这些文献来看,有如下几个特点:①2000 年以来文献发表数量呈急剧上升的趋势;②在文献发表的空间分布上,东部省份的多,西部的少,青海和西藏的尚未收集到;③报道的研究区多位于经济发达的城市群和工矿企业带,主要是城郊、污灌区、大中型矿区、中小企业周边以及固废回收处置场地等;④有关菜地、水田和旱地等农业土壤污染的文献多,林草地土壤的少;⑤最受关注的金属污染物为镉、铜、锌、汞、铬、铅和砷等。

有关土壤农药污染的文献报道在我国比较早,始于 20 世纪 70 年代,近 5 年来明显增多,有关的中文文献近 200 篇。这些文献显示:①我国土壤主要受有机氯类(如滴滴涕、六六六)和有机磷类(如甲胺磷)农药的污染;②主要研究工作在江苏、山东、湖北、河北、浙江等地开展,内蒙、西藏和宁夏等地的报道罕见。

土壤持久性有机污染物的污染是近 10 年来出现的新热点。目前可检索的中文文献已达 200 篇。从这些文献来看,主要报道了在江苏、天津、辽宁、广东、浙江等地开展的工作,全国有近一半省市未见中文的相关报道;英文报道的文献主要反映在珠江三角洲及香港、长江三角洲、黄河入海口、环渤海、京津等地开展的研究工作;文献报道的有机污染物主要为多环芳烃、多氯联苯、二噁英、肽酸酯及抗生素等。

2 土壤污染现状、趋势及危害

2.1 土壤污染基本状况

(1) 农业土壤污染。据 1997 年中国环境状况公报显示,我国有 1 000 万 hm^2 耕地受到不同程度的污染(占当年耕地 13 623 万 hm^2 的 7.34%)。全国利用污水灌溉的农田面积为 361.8 万 hm^2 ,占全国总灌溉面积的 7.3%,占全国地面水总灌溉面积的 9.96%(1998 年环境状况公报)。大气污染(以酸雨和氟污染为主)的农田面积约 530 万 hm^2 ;固体废物堆存侵占农田和垃圾、污泥农用不当污染的农田面积 90 万 hm^2 (1993 年环境状况公报)。又据 2000 年中国环境状况公报,经对 30 万 hm^2 基本农田保护区土壤有害重金属抽样监测,其中 3.6 万 hm^2 土壤重金属超标,超标率达 12.1%;经对 23 个省(区市)的不完全统计,共发生农业环境污染事故 891 起,污染农田 4 万 hm^2 ,造成农畜产品损失 2 489 万 kg,直接经济损失达 2.2 亿元。

近年来,沿海大部分地区的耕地土壤中持久性毒害物质明显积累,农田、菜地农药残留和重金属及持久性有机污染物复合污染较突出。在某些经济快速发展区,主要类型土壤中六六六、滴滴涕、多环芳烃全部检出,太湖全流域 15 种多氯联苯同系物检出率达 100%,并有大范围的农田受多氯联苯和多环芳烃等多种持久性有机毒害物复合污染;农田耕层土壤汞、镉等重金属含量在增加,污染面积在扩大,并出现较大面积的镉、铅、铜、锌等多种金属复合污染现象,有时还伴随土壤酸化和与持久性有机污染物的混合污染。农田土壤污染已经影响到农产品质量和土壤生态安全。

(2) 城市土壤污染。据报道,我国沈阳、北京、南京、上海、杭州、广州、香港等城市土壤出现重金属(如铅、铜、锌、铬等)、持久性有机污染物(如多环芳烃、多氯联苯等)和挥发性有机污染物(如石油烃、溶剂、助剂、苯系物、苯酚类等)等污染,主要分布在工业企业(包括搬

迁、遗弃的场地)及其周边土壤。在全国各地大中小城市中,类似的问题相当普遍。城市土壤污染对人居环境安全健康的影响已不容忽视。

(3) 矿区土壤污染。据报道,我国受石油污染的土壤面积达 500 万 hm^2 ,受工业废渣污染的农田已超过 10 万 hm^2 ,累计工矿破坏土地约 400 万 hm^2 ,其中受采矿污染的土壤面积至少有 200 万 hm^2 。据初步测算:仅煤炭资源与耕地资源分布复合区域面积就占我国耕地总量的 40%以上,其中煤炭保有资源量与耕地的复合区域超过了我国耕地面积的 10%。矿产、能源资源的开采、加工和利用对土地破坏和环境污染已相当严重。

2.2 土壤污染主要特征

土壤污染具有:①隐蔽性和潜伏性。土壤污染不像大气和水体污染那样易为人们所察觉。②不可逆性和长期性。土壤一旦遭到污染,污染物难以移动,极难去除。③后果严重性。土壤污染不仅可使粮食减产和农产品、食物链污染,而且可污染空气和饮用水进而危及人体健康等。④修复的艰难性。土壤污染修复需要专门材料、技术和设备,常常需要漫长的时间和巨大的资金。一份的预防胜过千份的修复,要以预防为主。伴随着社会经济的快速发展,我国一些地区土壤的污染物已表现出多源、复合、量大、面广、持久、毒害的污染特征;一些具有内分泌干扰作用的微量有机污染物还表现出持久性、生物积累性、毒性和半挥发性的“四性”特征;持久性有毒污染物的土壤污染具有明显的局域严重、剖面迁移、动态积累、复合或混合共存等特性。

2.3 土壤污染趋势

(1) 土壤污染的范围在扩大。例如,我国每年因采矿破坏与污染的土地以几万 hm^2 的速度递增,而复垦率不到 20%;全国 320 个重金属污染区的调查显示,在 13 项检测指标中有 7 项超标。污灌面积从 1982 年的 133 万 hm^2 扩大到 1995 年的 361.8 万 hm^2 ,增加了 1.7 倍,主要受镉、汞等的污染。南方某区因污灌使 3 330 多 hm^2 耕地全部污染,其中 90%以上属重度污染,镉、铅污染尤为突出,每年有近数万吨稻谷不能食用。我国每年投放 20 多万 t 农药,其中 70%进入土壤、作物和水体。此外,因大量燃煤而排放的汞和多环芳烃等有毒污染物向土壤的沉降通量也在不断增加。

(2) 土壤污染物种类在增加,并快速积累,出现高风险区。有的地区在 1990 年和 2002 年的 12 年内土壤中镉、砷、铜、氟、锌、硒等 15 种元素积累明显。局域农田土壤中,除了“常见”的农药、农膜类等有机污染物外,还同时同地发现多达 16 种多环芳烃、100 多种多氯联苯及 10 余种二噁英类剧毒物质;有的农田土壤中多环芳烃总量可高达 10 mg/kg ,强致癌物苯并(a)芘含量可超过 200 $\mu\text{g/kg}$,出现污染高风险区。土壤中的污染物正从常量污染物(重金属、农药)转向微量持久性毒害污染物,尤其在一些电子产品废弃物的粗放式回收利用区。

(3) 土壤出现复合型、混合型污染。在一些地区土壤污染从轻向重发展,并从重金属、农药和持久性有机污染物等有毒有害污染发展至有毒有害污染与氮、磷营养过剩以及酸化和次生盐渍化等交叉,形成点源与面源污染共存,生活污染、农业污染、养殖污染和工业污染叠加、各种新旧污染与中间产物污染复合或混合的态势。

(4) 土壤污染的未来态势是从工矿型向与农业(养殖业)、企业型并重转变,城郊向农村

延伸,局部蔓延到区域。当前的土壤环境污染问题同社会经济发展模式紧密相连。①伴随着经济的快速增长和进入重化工业阶段,我国的资源、能源消耗和污染排放形势严峻,长期连续高通量的大气污染物干湿沉降,有可能出现新的土壤环境恶化趋势;②为了保障粮食安全,农业化学品投入的增加直接导致化肥、农药、塑料薄膜等面源污染负荷的提高,如果难以得到有效管理,将进一步加剧农田土壤有机、无机污染和生态系统的退化;③为了促进畜禽生产,必将产生大量含毒害污染物的畜禽粪便,若直接农用,将成为农田土壤的重要复合污染源,与此相类似,城市污水污泥的土地资源化利用,如果不加以控制,也将是农田土壤的另一复合污染源;④农村企业将进入新的发展阶段,若继续发展高耗能、高物耗和高污染的行业,农村及农田土壤环境污染的趋势将日益显现,并进一步威胁农产品安全;⑤随着快速的城市化发展,搬迁的工业企业场地不断增多,如果不进行必要的修复,城市土壤污染面积势必扩大,影响人居环境安全。可见,未来我国土壤环境将面临新一轮经济社会发展的巨大压力,需要有效措施来维系新的人与土壤环境的和谐平衡关系。

2.4 土壤污染危害

土壤污染危害主要表现在:加剧土地资源短缺和生物多样性减少,导致农作物减产、农产品品质下降和饮用水源污染,威胁食品安全和生态环境安全,直接或间接地危害人体健康。此外,还对我国农产品出口贸易、重要国际公约履行、环境外交活动以及吸引国际投资经商带来较大的影响。

(1) 土壤污染导致农作物减产或绝产。在长江三角洲有万亩连片农田受镉、铅等多种重金属复合污染,致使 10% 土壤基本丧失生产力;也曾发生千亩农田铜污染及作物中毒死亡事件。在西南地区也有万亩土壤被砷污染而失去生产力。我国每年因土壤污染造成的粮食减产和经济损失十分惊人。

(2) 土壤污染导致农产品和食物链污染,人体健康问题令人担忧。常年污水灌溉和大量农药施用导致城市近郊农业土壤严重污染,例如,北方某大城市严重污染的蔬菜地曾检出浓度超标 98 倍的汞含量;在禁用滴滴涕和六六六 10 年后,农业土壤大部分有明显降低,但最高残留量仍在 1 mg/kg 以上,2003 年人体脂肪检出滴滴涕高达 3 mg/kg,仍不应忽视。长江三角洲一些地区水稻和蔬菜等农产品和饲料重金属污染严重,复合污染区稻米的镉、铅等毒害重金属超标率(我国粮食卫生标准镉为 0.2 mg/kg)达 92%,最高的镉含量超标 15 倍,出现严重的“镉米”现象;电子产品污染区蚕豆和蒜苗等蔬菜可食部分多环芳烃非浓度高达 300 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 以上,稻米和鸡肉组织二噁英的毒性当量超过欧盟指标的数倍;珠江三角洲的一些农产品中污染物超标现象也普遍存在;在广东和香港地区的母乳中检出了高含量的二噁英,说明二噁英等剧毒污染物正在通过食物链危及人体健康。

(3) 土壤污染不仅造成粮食减产和农产品质量安全问题,而且也已导致饮用水安全、生态安全和人体健康甚至社会稳定方面的严重后果,有关污染事件不断见诸报端,一些典型调查的数据更是令人不安。由于采矿、冶炼污染,造成广西刁江上百 km 的河段严重污染,鱼虾绝迹,人畜无法饮用,每年造成粮食减产 200 万 kg 以上。兰州市某污染区内蔬菜叶子枯黄、卷缩,部分果树已死亡,羊齿脱落极为普遍,儿童龋齿率达 40%。广东省韶关大宝山由于私挖乱采,有毒的废水不断流向曾经清澈见底的横石河,附近上坝村农民由于长期灌溉污水,致使水稻重金属镉的含量超过国家标准 5 倍,蔬菜、水果的镉也全部超标,其中香蕉的镉

超标高达 187 倍。更令人心痛的是,严重超标的毒水污染使该村居民的健康受到严重损害,皮肤病、肝病、癌症高发,214 人死于癌症。诸如此类的现象在湖南、广西、贵州、福建、江苏等地都有发生。“痛痛病”是日本的第二公害,该病于 20 世纪 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食用被含镉废水污染了的土壤所生产的“镉米”所致。国内外典型的土壤污染案例充分表明,土壤污染对安全与健康、甚至社会稳定危害严重,影响长远,应引起高度重视。

不可置疑,进入 WTO 后,土壤污染将成为限制我国农产品国际贸易和社会经济可持续发展的重大障碍之一,迫切需要加强土壤污染的防治。

3 导致土壤污染的主要原因

3.1 废弃物特别是工业“三废”排放而进入土壤

高耗能、高物耗的粗放型经济增长方式,导致多种、巨量废弃物特别是工业“三废”排放,使大量持久性毒害污染物通过多途径进入而污染土壤。在 1981—2003 的 20 多年间,全国累计废水排放总量达到 8 366.9 亿 t,生活污水排放总量 3 096.6 亿 t,工业废水排放总量 5 213.7 亿 t,工业废水中铅的排放总量 30 249.9 t,镉的排放总量 3 584.23 t,铬的排放总量 17 427 t,汞排放总量为 546 t,砷的排放总量 24 012 t,氰化物排放总量 8 639.2 t,石油类排放总量 146.97 万 t,酚的排放总量为 191 834 t。全国废气中二氧化硫排放总量 37 741 万 t,工业废气中烟尘排放总量 31 816 万 t,工业粉尘排放总量 20 758 万 t。全国固体废弃物产生量 144.61 亿 t,固体废弃物排放量 23 861 万 t,固体废弃物堆存量 39.335 亿 t。又据统计,我国经济快速发展的典型代表和重要经济支柱地区——长江、珠江三角洲地区,污染负荷居高不下。数据表明,2005 年两三角洲地区废水年排放总量 56.4 亿 t,二氧化硫和烟(粉)尘年排放总量分别超过 260 万 t 和 110 万 t,化肥的年施用量(纯养分计)超过 527 万 t,农药和农膜的年使用量均在 10 万 t 左右(国家统计局网站,2006)。

3.2 农用化学品大量使用,积累于农田和菜地土壤

农用化学物质的高强度投入是造成农田和菜地土壤污染的重要原因。据报道,近年来我国化肥年施用总量约为 6 300 万 t,化肥用量占世界总量的 22%,有 10 多个省的平均施用量超过了国际公认的上限 225 kg/hm²,有的省达到了 400 kg/hm²;农药使用量高出发达国家一倍,农药年施用总量约为 190 万 t;农用塑料薄膜年使用总量为 220 万 t。饲料中大量使用各类添加剂,致使畜禽有机肥含有较多的污染物质(如重金属、抗生素以及动物生长激素等),引起耕地土壤污染。

3.3 工业化、城市化、农业集约化快速发展,土地利用方式迅速改变,场地土壤污染面积扩大

我国生活垃圾产生量逐年增加并占用了大量土地,很多城市及城郊陷入垃圾重围之中。电子垃圾粗放式回收利用过程导致微量毒害污染物排放,通过多途径进入农田,造成土壤污染或土壤酸化。随着城市化的发展,原有城市工业用地、仓储用地、生活垃圾用地及其他污染场地,未经修复而改变用地方式,成为威胁居民健康的城市污染场地。农业集约化过程

中,不少地区将优质农田改为集约化畜禽、水产养殖场、蔬菜种植和大面积花木栽植基地,因缺乏严格的土壤环境管理,造成土壤污染。工业化、城市化、农业集约化过程中不当的土地利用方式对土壤环境安全构成了潜在威胁。

3.4 土壤环境保护管理和科研工作重视不够,投入不足,严重滞后

相对于大气和水环境保护而言,人们对土壤环境的保护意识更为薄弱,土壤环境信息交流与公众参与也还很有限,对土壤污染多样性、严重性和危害性的认识还很不够。目前,一个突出的问题是缺乏土壤污染的基础性调查与研究工作,对我国不同土地利用类型的土壤污染物清单、组合、来源、分布、规律、程度、范围和成因都还缺乏全面、系统和完整的了解与阐明;在我国现行的法律体系中,已经制定了防治大气污染、水污染、海洋污染的法律,但是防治土壤污染的法律基本上是一项空白。土壤污染诊断监测、风险评估和控制修复技术体系的尚未建立,土壤污染评价指标与标准体系、综合管理制度与防治法律法规体系的尚未形成,构成了另一个突出的土壤环境管理问题;土壤环境科学、技术和工程研究的投入不足而严重滞后,妨碍了防治工作的理论创新、技术创新和实际应用,从而造成土壤环境保护管理工作的困难和土壤污染监测、控制与修复工作的难以开展,致使土壤污染加剧。

4 土壤污染防治对策的建议

伴随着工业化、城市化和农业集约化的快速发展,土壤污染面积在扩大,土壤环境质量在下降,粮食安全和农产品质量安全令人担忧;区域土壤中微量持久性毒害物质尤其是新型有毒有机污染物不断增多,直接威胁饮用水源安全和生态系统健康;城市土壤及工矿企业污染场地严重威胁人居环境安全和人体健康;稀土元素、放射性核素和生物性污染物进入土壤后的潜在危害也已显露。针对我国土壤污染突出问题和土壤环境质量恶化态势,提出以下对策建议:

4.1 尽快制定“土壤污染防治法”,完善我国土壤环境保护标准体系

坚持“保护优先、预防为主、防治结合”的方针,坚持“分阶段、分区、分类、分目标”管理原则,尽快制定我国“土壤污染防治法”,完善我国环境保护法律法规体系,依法加强土壤环境保护和污染防治工作。完善我国土壤环境保护标准体系,建立适合我国国情的土壤污染综合防治体系,包括:土壤环境风险与安全评估体系、土壤环境质量基准和标准体系、土壤环境质量修复标准体系、土壤环境监测技术方法体系、土壤环境分析参比样品体系、土壤环境质量评价技术体系、土壤环境质量预测预警体系等。

4.2 重视场地土壤污染调查工作,加强土壤污染监测监控能力建设

鉴于目前我国土壤污染的整体状况不明、原因不清,建议系统而有重点地开展全国土壤污染调查,特别是开展城市工业、矿区场地土壤污染的调查和风险评估,以弄清土壤污染现状,查清污染成因,为采取有效措施防治、控制和修复土壤污染提供科学依据。鉴于我国至今还没有将土壤环境质量监测列入常规性的监测计划,缺乏对土壤污染及土壤环境质量状况的有效监控,建议建立国家土壤污染监测网络和土壤环境质量数字信息网。

4.3 加大科研投入,加强土壤污染机制、防治政策和修复技术研究

在结合我国土壤污染现状的调查,确定土壤污染物种类、污染程度以及污染范围的基础上,加大科研投入,开展土壤污染物的源识别、解析及其空间分布规律,土壤污染过程及其对生物、环境和健康影响机理,土壤污染环境容量和质量演变及其影响因素,土壤环境质量的评价方法和指标体系(特别是有效态)、土壤污染的风险评估及其控制和修复原理与技术等方面的研究。区划我国主要区域土壤环境安全,明确土壤污染优先控制区及控制对象,为研究制定我国土壤污染综合治理的中长期战略规划,制定土壤污染综合防治国家行动计划提供理论、方法和技术支持。研究制定相关的修复技术经济政策,探索社会资金进入土壤污染修复领域的渠道,促进土壤污染治理技术的发展。建立国家土壤修复专项资金,用于土壤污染修复技术开发和综合防治工程示范。

4.4 加强土壤环境保护的宣传与科普工作,不断提高国民的土壤保护意识

与水污染和大气污染不同,土壤污染具有高度的隐蔽性,难以引起公众关注。亟需加强土壤污染防治的科普宣传工作,将土壤环境保护列入环境保护宣传的重要内容,提高公众意识。加强信息公开,鼓励公众参与土壤环境保护。

4.5 加强土壤环境保护方面的国际合作和科技交流,提升创新能力

采取多种形式开展土壤环境保护方面的国际学术交流、合作研究和技术开发,学习和借鉴国外在土壤环境保护方面的先进理念、科学技术、管理机制和成功经验,选择性引进国外先进的修复技术、产品及设备,消化、吸收和提升自身的研发和管理创新能力。

参 考 文 献

- [1] 国家环保总局. 1998 年环境状况公报
- [2] 国家环保总局. 1993 年环境状况公报
- [3] 国家环保总局. 2000 年中国环境状况公报
- [4] 骆永明, 滕应. 我国土壤污染退化状况及防治对策. 土壤, 2006, 38: 505~508
- [5] 骆永明. 土壤环境复合障碍与农产品质量及生态健康. 中国土壤学会编:《中国土壤科学的现状与展望》. 南京:河海大学出版社, 2007: 257~261
- [6] 骆永明. 土壤修复学——土壤科学和环境科学的新兴学科. 浙江大学《纪念朱祖祥院士诞辰 90 周年文集》编辑委员会编. 北京:科学出版社, 2006: 201~208

污染土壤风险评估及其在我国的应用*

章海波 骆永明** 李志博

(中国科学院南京土壤研究所土壤与环境生物修复研究中心,
土壤与农业可持续发展国家重点实验室,南京 210008)

摘 要:随着我国经济社会的快速发展,土壤环境污染及其所带来的健康和生态风险日益引起人们的关注,已成为当前我国地表环境过程研究中的关键科学问题之一。本文结合土壤污染物的几条主要暴露途径,简要而系统地介绍了污染土壤风险评估的基本方法,并从居住和工商业用地、农业用地、保护地下水中的关键暴露途径和关键污染物出发,分别阐述了目前国际上在直接暴露途径、食物链暴露途径、非水相液态污染物从土壤到地下水迁移,以及农田土壤地下生态系统食物网营养层污染物传递等方面的最新研究进展和模型构建概况。同时联系国情,提出污染土壤风险评估的工作可以从一些经济相对发达、社会需求较为迫切的地区的场地个案开始,在逐步积累经验的基础上,由点到面稳步推进,并在此过程中注重相关基础研究与基础数据的积累。

关键词:污染土壤;风险评估;暴露途径;场地概念模型;土壤环境基准

风险评估是近几十年来兴起的一项重要管理技术与政策,着重权衡风险级别与减少风险的成本,解决风险级别与社会所能接受的风险之间的关系^[1]。环境风险评估是用来表征由于环境污染暴露所导致的潜在人体健康与生态效应的过程,主要是评价区域内或场地污染对人体健康和生态系统造成的影响与损害,以便确定污染物引起的风险类型与等级,预测污染物的影响范围及危害程度,为风险管理提供科学依据和技术支持。早在1986年联合国规划署(UNEP)、世界卫生组织(WHO)、国际原子能机构(IAEA)就联合呼吁各国开展环境风险评估与管理活动^[2, 3]。许多国家均在环境风险评估理论和方法取得了一系列重要成果,其中以美国最为显著^[4]。日本、荷兰、英国等国家已开始应用风险评估的理论与方法来制定环境标准与法规,管理本国广泛复杂的环境问题^[5~7]。

土壤是自然地理要素之一,能够为人类提供食物等生产资料,是社会经济可持续发展的基础。随着经济的快速发展,人类活动的加剧,各种人为源释放的污染物进入到土壤,重金属、化学类农药、持久性有机污染物和石油烃类化合物在局部地区和区域土壤中累积,许多地区土壤污染问题日益突出。土壤污染后,污染物可通过水、气、生物等介质引起风险暴露。

* 国家重点基础研究发展规划项目(2002CB410810)、国家自然科学基金重点项目(40432005)和中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX3-SW-429)资助。

作者简介:章海波(1977—),浙江临安人,博士,主要从事区域土壤环境质量及其风险评估研究。

** 通讯作者:ymluo@issas.ac.cn