

耕地污染监测与防治 关键技术研究

朱锦旗 廖启林 郝社锋 许伟伟 等 著



科学出版社

耕地污染监测与防治 关键技术研究

朱锦旗 廖启林 郝社锋 许伟伟 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是对江苏省生态地球化学调查研究领域最近十余年来开展耕地污染修复治理实践所取得的相关成果资料的专门总结与凝练。全书共分 7 章,分别从江苏省地矿系统开展耕地污染治理的研究背景与起源、江苏省境内土壤地球化学基准值与耕地污染分布、典型地区重金属污染溯源方法与效果、水土地质环境监测及耕地污染监测网构建、Cd 污染耕地生态修复技术研发与工程示范、地面沉降对有关水土地质环境演变的影响、耕地污染防治与生态安全利用对策 7 个层面探讨了当前有关耕地污染监测与防治关键技术研究中所面对的现实问题,提出了土地整治与污染防治有机融合、风险诊断与污染治理通盘考虑、运用地球关键带理论指导开展耕地污染立体监测等具体的对策建议。

本书可作为国家及地方耕地资源保护、土壤污染治理与地质环境管理部门的重要参考资料,也可作为农田土壤污染监测与防治(包含污染修复)领域有关科研人员、研究生及工程技术人员的参考书,还可以作为资源与环境领域有关研究生教学的辅助教材。

审图号:苏 S(2018)035 号

图书在版编目(CIP)数据

耕地污染监测与防治关键技术研究 / 朱锦旗等著. —北京:科学出版社, 2018.11

ISBN 978-7-03-059917-9

I. ①耕… II. ①朱… III. ①耕地—土壤污染控制—研究 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 268723 号

责任编辑:惠 雪 沈 旭 赵 晶 / 责任校对:杨聪敏

责任印制:张克忠 / 封面设计:许 瑞

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京市密东印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 11 月第 一 版 开本:720 × 1000 1/16

2018 年 11 月第一次印刷 印张:22 1/4

字数:449 000

定价:199.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《耕地污染监测与防治关键技术研究》

著者名单

主要著者 朱锦旗 廖启林 郝社锋 许伟伟

著者成员 (按姓氏笔画排序)

朱伯万 朱锦旗 任静华 华明

江冶 许伟伟 李明 李文博

汪媛媛 张琦 陈杰 武健强

范健 金洋 郝社锋 常青

崔晓丹 廖启林

前 言

耕地污染治理是一个颇具挑战性的课题，富有鲜明的时代气息。作为全世界最大的发展中国家，我国的可持续发展将长期面临资源与环境的约束，耕地资源保护任务异常艰巨，其中一个很重要的方面就是提升耕地质量、治理耕地污染。国务院于 2016 年 5 月 28 日颁布了《土壤污染防治行动计划》，提出了主要考核指标“到 2020 年，受污染耕地安全利用率达到 90%左右，污染地块安全利用率达到 90%以上。到 2030 年，受污染耕地安全利用率达到 95%以上，污染地块安全利用率达到 95%以上”。随着《土壤污染防治行动计划》的正式出台，相关省市也纷纷制订了各自的土壤污染治理实施方案、“十三五”国土资源保护与利用规划等，无不牵涉到耕地污染治理问题。来自一些相关行业或部门的多年调查研究结果显示，在我国诸多地区存在不同程度的耕地污染且局部地区呈加剧趋势，但如何有效治理耕地污染尚有许多科学技术问题亟待解决。例如，耕地污染监测技术、耕地污染修复技术、耕地污染生态风险评价技术、修复技术推广运用等，都是当前耕地污染治理急需解决而未有效解决的问题。对已有的研究成果资料进行系统梳理、总结、提炼，为耕地污染治理提供相关技术支撑或参考借鉴，无疑是从事耕地污染修复治理的相关科技人员的分内职责，符合生态文明发展的大方向和国土资源科学管护的时代主流。

江苏省作为全国平原区土地面积占比最高的省份，其率先结束全部陆域土地区域生态地球化学调查已经十多年，从事耕地质量提高与生态保护探索的起步较早，开展包括耕地污染在内的水土地质环境监测与防治研究也有悠久的历史。江苏省地质调查研究院是全国地矿系统内较早介入耕地污染治理研究的单位，其所属的生态地球化学团队自 21 世纪以来一直在从事耕地环境质量调查评价与污染防治研究，先后承担了江苏省人民政府与国土资源部合作项目“江苏省生态环境地质调查与监测”、国家自然科学基金资助面上项目（No. 40873081）、国土资源部公益性行业科研专项研究经费项目（No. 201111021）、江苏省科技项目“土壤污染控制及生态修复新技术探索与应用研究”（No. BS2006066）、江苏省科技支撑计划项目（No. BE2013720）、江苏省科技项目社会发展科技示范工程（No. BE2015708）、江苏省人民政府重点项目“江苏省国土（耕地）生态地质环境监测”、江苏省土地开发整理财政专项“江苏耕地质量提高与污染防治研究——典型地区耕地污染修复与防治示范”等十多个矿地融合类研究项目，积累了土壤环境地球化学调查、

耕地质量生态地球化学评价、耕地污染监测、典型重金属污染耕地生态修复试点与示范、重金属污染溯源、天然富硒耕地开发利用示范等方面丰富的研究数据或资料,收获了与耕地污染治理,即土地资源生态安全利用有关的技术研发心得。以这些数据资料为支撑,受国家自然科学基金资助面上项目(No.40873081)、国土资源部公益性行业科研专项研究经费项目(No.201111021)、江苏省科技支撑计划项目(No. BE2013720)等资助,江苏省地质调查研究院生态地球化学团队编写了《耕地污染监测与防治关键技术研究》,期望能为从事耕地污染监测与治理研究的相关人士提供部分借鉴与参考。

本书作为江苏省地质调查研究院生态地球化学团队十余年来进行耕地污染修复治理研究所获取相关成果资料的专门总结与凝练,主要浓缩了研究团队在开展耕地污染监测、修复治理及其相关技术研发上的主要认识与最新研究进展,缘于表生地球化学而又不局限于地球化学,研究成果侧重服务于国土资源管护而不仅仅局限于服务国土资源管护,主要研究对象侧重于耕地土壤环境而又不完全局限在耕地土壤环境。全书分为7章:第1章主要论述了开展耕地污染修复治理关键技术研发的时代背景,选择苏锡常这一典型地区进行解剖研究的缘由及其当地生态地质环境概况,以及江苏省开展生态地球化学调查评价的主要经历等;第2章侧重探讨了江苏省境内土壤地球化学基准值、重金属等元素的分布空间差异性,以及江苏省耕地污染大致分布概况;第3章主要介绍了典型耕地重金属污染溯源研究方面的相关成果资料,包括典型工业污染源案例解剖、河流传承重金属污染分析、人类活动对耕地污染形成的一般影响等,以及有关耕地污染溯源的可行方法;第4章重点介绍了有关土壤污染监测、土壤水即土壤溶液重金属等微量元素监测、大气降尘监测等相关方法及其不同时间段的监测数据对比分析结果,以及构建江苏省耕地污染监测网的相关思路、开发应用耕地污染监测数据的初步尝试等;第5章介绍了土壤重金属污染修复技术和前人常用的方法原理、植物修复技术研发最新认识、钝化修复技术研发与应用情况、Cd污染耕地生态修复工程示范等,重点剖析了研究团队所取得的相关耕地Cd污染修复试验研究最新成果资料;第6章探讨了地面沉降对有关水土地质环境演变的影响,依据苏锡常典型区域内耕地环境质量变化与元素分布特点,分析了地面沉降与水土环境中元素分布分配、迁移聚散等之间的关系,总结了地面沉降影响地表水土环境变化的一般规律;第7章重点围绕我国当前耕地环境质量提升,即相关土地资源生态安全利用等急缺的行业技术支撑,初步探讨了天然富硒土地资源开发利用、土地整治与污染治理有机融合、农田土壤污染防治技术筛选及其延伸研究、耕地污染生态安全风险评价及其准则等,回答了耕地污染防治与相关土地资源生态安全利用等急需解决的部分关键问题。

全书由江苏省地质调查研究院生态地球化学团队骨干成员编著,具体编写成

员包括朱锦旗、廖启林、郝社锋、许伟伟、陈杰、金洋、任静华、华明、朱伯万、范健、常青、李明、汪媛媛、武健强、崔晓丹、李文博、张琦、江治等。书中插图由金洋、李文博等制作，廖启林承担了基本素材组织与统稿工作。全书最后由朱锦旗、廖启林终审定稿。

江苏省国土资源厅教授级高工刘聪副厅长对相关研究工作的开展及本书的出版给予了悉心指导与极大帮助，谨致以衷心的感谢与诚挚的敬意。

因作者水平有限，书中难免存在疏漏之处，敬请各位同仁及读者批评指正！

作 者

2018年3月于南京

目 录

前言

第 1 章 研究背景及典型研究区筛选	1
1.1 研究背景	1
1.2 典型研究区选择及其概况	6
1.2.1 典型研究区选取	6
1.2.2 苏锡常地区生态地质环境概况	8
1.2.3 选取苏锡常地区作为典型研究区的缘由	12
1.3 江苏省生态地球化学调查评价简史	15
1.3.1 经历的主要发展阶段	15
1.3.2 生态地球化学调查评价的特色	17
1.3.3 完成的标志性工作	18
1.4 主要资料来源	20
1.4.1 前人开展土壤污染监测与防治研究的大致进程	20
1.4.2 支撑研究的数据基础	21
第 2 章 有关地区土壤元素基准值及江苏省耕地污染特征	24
2.1 土壤地球化学基准值与背景值	24
2.2 研究区土壤重金属等微量元素分布特征统计分析	31
2.3 江苏省耕地污染基本概况	85
2.3.1 主要污染类型及其空间分布差异性	85
2.3.2 耕地重金属污染主要成因	92
2.3.3 田块尺度的土壤 Cd 分布不均匀性	93
第 3 章 重金属污染溯源及典型案例解剖	95
3.1 典型工业污染源案例解剖	95
3.1.1 热电厂类	95
3.1.2 电池厂类	105
3.1.3 陶瓷工艺品生产的影响	110
3.2 河流在传承污染方面的特殊作用	118
3.2.1 典型地区河泥重金属等分布特征	118
3.2.2 河流重金属污染对农产品的影响	128

3.3 人为因素与土壤环境变化关系初探	131
3.3.1 两个环境土壤元素含量分布差异性分析	131
3.3.2 影响土壤环境元素含量分布的人为活动因素浅析	137
3.4 重金属污染溯源解剖小结	142
第4章 耕地污染监测技术研究及其资料分析	146
4.1 苏锡常地区土壤重金属监测	146
4.1.1 基本监测方法	146
4.1.2 有关监测数据初步分析	147
4.1.3 农用地土壤重金属等污染监测技术要领	151
4.2 苏锡常地区土壤溶液监测	151
4.2.1 基本监测方法	152
4.2.2 土壤溶液监测数据分析	154
4.3 苏锡常地区大气降尘的重金属等监测	169
4.3.1 基本监测方法	169
4.3.2 大气降尘监测数据分析	172
4.4 耕地污染监测数据开发应用初探	180
4.4.1 耕地污染监控网构建	180
4.4.2 田块尺度重金属污染的识别及其应用	183
第5章 耕地 Cd 污染生态修复技术研发及工程示范	186
5.1 前人土壤污染修复技术研究评述	186
5.2 植物修复试验及其技术研发	190
5.2.1 试验研究方法	190
5.2.2 试验结果与讨论	191
5.2.3 柳树修复技术应用前景分析	205
5.2.4 其他植物修复试验	206
5.3 控制耕地 Cd 污染初步探索	213
5.3.1 控制土壤 Cd 生物活性的探索	214
5.3.2 控制稻米等吸收土壤 Cd 的主要地球化学因素	226
5.3.3 全株水稻吸收土壤 Cd 的差异性研究	234
5.4 实用钝化技术研发及凹凸棒石环境修复材料应用效果	237
5.4.1 天然凹凸棒石及其调控试验背景	238
5.4.2 施加凹凸棒石调控 Cd 污染土壤	240
5.4.3 试验结果讨论及其结论	252
5.5 Cd 污染耕地生态修复示范工程建设	255

5.5.1 植物修复示范	255
5.5.2 钝化修复示范	258
第 6 章 地面沉降与水土地质环境演化	260
6.1 典型地面沉降区水土地质环境变化	260
6.2 典型地面沉降区环境地球化学特征	262
6.2.1 地面沉降区土壤元素含量分布状况	263
6.2.2 地面沉降区潜水中元素含量等分布特征	269
6.2.3 地面沉降区农田土壤的重金属形态分布	274
6.2.4 地面沉降区及其附近土壤沉积柱元素含量变化	277
6.3 地面沉降对水土污染的影响	284
6.3.1 重金属元素的地表迁移机理分析	285
6.3.2 地面沉降与水土污染的空间分布关系	286
6.3.3 地面沉降控制水土污染的形式与特点	287
第 7 章 耕地污染防治与生态安全利用相关问题探讨	289
7.1 天然富硒土地资源开发利用	289
7.1.1 富硒土壤分布及其开发利用前景	290
7.1.2 江苏省境内富硒土壤的基本成因	292
7.1.3 开发天然富硒土地资源的实例	300
7.1.4 开发富硒土地资源应注意的有关问题	308
7.2 土地整治可望在污染防治中发挥的作用	310
7.3 污染防治技术筛选及其延伸研究	314
7.3.1 污染防治技术选择	314
7.3.2 与污染防治技术选择有关的延伸研究	321
7.4 耕地污染生态安全风险评价及其准则	325
7.4.1 耕地污染生态安全风险评价基本方法	325
7.4.2 耕地污染风险评价要解决的主要问题	331
参考文献	336

第1章 研究背景及典型研究区筛选

21 世纪是生态文明理念植根于全社会并逐步改变人们生活质量的时代。值此新时代,保障国土生态安全、提升耕地质量正作为国土资源管护的基本内容,相关部门或行业势必会采取实际行动推进生态文明建设,防治耕地污染就同生态文明建设休戚相关。对于我们这样一个耕地资源极其珍贵的人口大国而言,防治耕地污染将是一项长期而艰巨的任务。防治耕地污染需要相应的技术,当前我国实用的土壤污染治理技术储备并不丰富。长江三角洲苏锡常地区是我国东部沿海先发展的区域,也是江苏省境内耕地污染相对更严重的区域,其耕地污染治理经验或相关科研探索对于其他相关地区应有一定借鉴意义。本章将侧重论述开展耕地污染修复治理关键技术研发(包括监测技术、修复技术、技术应用示范等)的时代背景、选择苏锡常这一典型地区进行解剖研究的缘由及其当地生态地质环境概况,以及江苏省开展生态地球化学调查评价的主要经历、编写本书的基本资料(或数据)来源等。

1.1 研究背景

土地质量通常指土地能维持生物的生产力、促进动植物及人类健康、保持或改善大气和水环境质量的能力,不同土地具有不同等级的质量,这是与自然作用和人为活动引起的动态变化有关的一种固有的土地属性。人类对土地质量的认知多始于耕地,对耕地环境质量的认知与保护也是不断与时俱进的。耕地是不可再生的珍贵自然资源,对耕地环境的保护会伴随生态文明建设的高涨而在经济社会发展中占据越发重要的地位。耕地环境质量与食品安全息息相关,其是评判社会和谐、人民生活质量及人类文明程度的重要因素。随着可持续发展的理念逐渐深入人心,资源与环境在我国可持续发展中的地位愈加突出,我国各级政府对耕地资源保护及耕地环境质量的关注也与日俱增,对耕地重金属污染防治的研究更是包括土地管理、环境地球化学、土壤学等多学科在内的诸多前沿环境科学的热点(宋文恩等, 2014; 庞荣丽等, 2016; Li et al., 2014; Yuanan et al., 2016; 赵科理等, 2016)。探索水-土污染防治技术更引起了众多专家的浓厚兴趣,发达国家很久之前就率先开始了研究,如建立平原地区低密度水-土环境监测网,加拿大、

美国、欧盟相关国家都曾有先例,瑞士更是至今连续监测土壤环境变化最久的国家,持续监测时间超过了140年。

进入21世纪以来,我国围绕耕地质量保护、土壤环境治理等逐步加大管控力度,出台了一系列相关的政策法规,于2001年颁布了《农用地分等定级规程》,提出了耕地保护要分质量等级因地制宜的概念;随后颁布了《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006-2020年)》,提出了“农林生态安全与现代农业”重大攻关课题;2007年颁布了《农用地产能核算技术规范》,提出了有关耕地质量保护的新要求;2011年国务院批准了《重金属污染综合防治“十二五”规划》;2013年国务院办公厅发布了《近期土壤环境保护和综合治理工作安排》的通知,多次强调了耕地环境质量保护的极端重要性;2016年国务院颁布了《土壤污染防治行动计划》,明确提出“到2020年,受污染耕地安全利用率达到90%左右,污染地块安全利用率达到90%以上”,“到2030年,受污染耕地安全利用率达到95%以上,污染地块安全利用率达到95%以上”等总工作目标,表明治理耕地污染已经成为新时期国家推行绿色发展、和谐发展战略的重要组成部分,各级政府都将承担土壤环境保护及其修复治理任务。

江苏省作为我国东部沿海相对先发展的地区,也是全国人均耕地占有量偏低及土壤污染程度偏重的地区,其保护耕地环境质量的紧迫性相对更加突出。基于多种主客观有利因素的综合作用结果,江苏省也是开展耕地污染治理探索研究较早的省区,如2001年4月着手开展农用地资源分等定级与评价工作(周生路等,2004),2005年开展了“江苏省土壤污染状况调查及污染防治”工作,2009年结束的全省国土生态地球化学调查评价工作中涉及了农用地污染修复试验,2014年启动了全省国土(耕地)生态地质环境监测,2015年以后陆续实施了一批耕地污染修复治理方面的科技示范项目。关于江苏省农田土壤污染,特别是重金属污染方面的认识与研究也在不断深化,最近十多年来前人报道的相关的研究信息也十分丰富(万红友等,2005;邵学新等,2006;王学松和秦勇,2006;胡宁静等,2007;王晓瑞等,2011)。从有关土壤污染防治研究的前人的探索实践来看,以下共性问题引起了普遍关注。

(1) 耕地污染防治难度大,研究耕地污染监测与修复技术已成为耕地保护的当务之急。我国人均耕地资源量不足世界人均水平的50%,且耕地污染形势相当严峻。2014年4月17日环境保护部和国土资源部联合发布的《全国土壤污染状况调查公报》显示,全国耕地土壤重金属与有机毒物的点位超标率高达19.4%,长江三角洲地区的耕地污染排在全国前列。因为各种自然与人为因素的相互作用或影响,特别是一些地区国土资源开发程度越来越高、所承载的环境负荷越来越重,耕地质量正在不断发生改变,耕地土壤所聚集或残留的有毒有害物质的种类、浓度急剧增加,对耕地质量保护,特别是耕地污染治理提出了

新的挑战,导致防治耕地污染的难度、成本都空前加大。在前人所报道的耕地污染中,重金属污染是农业环境研究与保护的重点和难点。近年来,农委系统报道的监测资料显示,中国24个省市城郊、污灌区、工矿等经济发展较快地区的320个重点污染区中,大宗农产品中污染物超标的农作物种植面积为60.6万 hm^2 ,占监测调查总面积的20%,其中重金属含量超标的农产品产量与面积占污染物超标农产品总量与总面积的80%以上,尤其是Pb、Cd、Hg、Cu及其复合污染最为突出(孙波等,2003;王纪华等,2008)。面对各地复杂的耕地污染形势及艰巨的耕地污染防治任务,迫切需要过硬的技术手段,不论是污染监测,还是污染修复,都急需实用的技术,期望能培育或研发一批成熟的技术手段为耕地污染防治提供关键支撑。

(2) 基于土壤地球化学调查的污染防治技术研究应顺势而为。人类活动与地球表层生态系统之间的相互作用对人类自身的可持续发展具有越来越重要的影响,保障资源接续、控制环境恶化关系着全人类的命运。地球表层生态系统的物理运动、化学运动、生物运动等对人类未来的影响,资源的可持续利用与环境的可持续发展,始终是环境地球化学、土壤学等诸多学科长期关注的热点(赵振华,1997;陈怀满,2002;邵学新等,2006),包括耕地在内的土壤污染作为地表物理运动、化学运动、生物运动等综合作用的结果,是土壤地球化学长期探讨的基本内容。土壤地球化学作为土壤学和地球化学相结合而产生的边缘学科,以发生学的观点,应用土壤学和地球化学的理论和技术方法,研究土壤中元素(或化合物)迁移转化、分散富集及其与成土因素的相互关系,借以揭示土壤发生演变的规律(方如康,2003)。土壤地球化学调查最近十多年来在国内得到空前发展,其以多目标区域地球化学填图为标志,积累了各地海量的土壤重金属污染等基础性资料(奚小环,2008;廖启林等,2009)。当代的土壤地球化学调查不只是在发现耕地重金属等污染线索上发挥了突出作用,其作为环境地球化学的应用及相关的工程手段,在防治土壤污染方面也有不可替代的独特优势。像国内外采用的地球化学原理及其方法控制重金属等在地表土壤的迁移,就是基于地球化学手段防治土壤污染的具体案例。随着土壤污染防治与诸多边缘学科的联系日趋紧密,地球化学等传统地学领域应顺势承担更多土壤污染防治研究之重任的呼声也越来越高。

(3) 耕地污染防治与监测密切相关,二者不可偏废。土壤污染的形成受多重因素控制,包括耕地在内的土壤污染场地确定是一项相对复杂的基础性工作,而确定耕地污染场地又离不开污染监测,准确的土壤污染监测评价是防治土壤污染的基础。水土环境是一个整体,水土之间的物质循环与元素迁移等必然对耕地环境质量及其保护利用产生深刻影响,治理耕地污染的过程也是一个与耕地利用有关的水土环境综合整治过程。治理水土污染的前提是要掌握每个场地水土污染的

现状与变化,实施水土污染监测自然成了治理水土污染的先决条件。耕地污染防治也不能例外,防治耕地污染的先决条件也要建立在对耕地污染发生演化进行系统扎实的监测基础之上。耕地生态环境质量监测的实质就是对耕地环境中的生态安全要素进行监测,是专门为保障耕地的生态安全而进行的综合监测,是从地质环境调查与监测角度探求耕地环境质量变化的重要实践,是传统地质调查向国土生态安全调查的延伸(毕晓丽和洪伟,2001;刘立才等,2002;陈谊等,2016)。随着环境地球化学、生态环境地质等地学领域相关学科对土壤污染关注程度的日益增加,国土资源管护对耕地污染治理的重视程度越来越高,耕地污染监测与防治作为提升耕地质量的两个现实抓手,也在业内相关人士中形成了普遍共识。防治耕地污染必须准确监测耕地污染,准确监测耕地污染需要先进的监测技术作支撑。

(4)耕地污染修复与防治有其特殊性,不能等同于一般的土壤污染防治。2010年之前开展的土壤污染修复与防治研究甚少是专门针对耕地的,但事实上耕地污染修复治理与一般的场地污染治理还是有较大不同的。其特殊性主要表现在4个方面:其一是耕地污染修复治理要尽可能不改变原来的土地资源利用方式,包括原先在污染耕地上已经配套的相关基本农田建设设施等,不能因为要修复治理污染耕地而对原来的耕地布局、配套设施等来个搬家;其二是耕地污染修复治理要考虑农民的切身利益,不能因为要修复治理耕地污染而让农民承受不必要的损失,在具体治理过程中还要赢得耕地使用方的全力配合;其三是耕地污染修复治理必须要兼顾水土污染同时根治,仅仅治理土壤污染而忽视水环境的治理是不够的,只有水土环境中的污染危害都被彻底消除了,耕地污染修复治理的问题才算圆满解决了;其四是耕地污染修复治理要充分考虑到田块之间的差异,要考虑有关土壤地球化学背景的差异,土壤污染成因的复杂性及耕地使用过程的诸多不可控性,都注定了耕地污染修复治理要充分考虑个体之间的差异。总之,耕地污染修复治理有一定特殊性,其修复治理过程中必须要确保耕地土壤正常物质组分、结构与理化性状的稳定性,保证耕地土壤的生物多样性及其活性不受损坏,还要控制耕地土壤中重金属等污染物随地表或地下水径流扩散到水环境产生新的水体污染。修复耕地污染的技术需要更有效的复合技术与系统化方法。

包括耕地在内的土壤污染防治与修复研究,尽管之前曾有过大量试验探索先例,但仍然有不少关键的相关科学技术问题亟待攻克。到目前为止,常被提及的有影响的专门针对耕地污染的修复技术研究的成功实例就是日本痛痛病发源地的Cd污染稻米产地的有效修复等,其主要采用客土交换的方法,耗时数十年,耗资上百亿元,其间也使用了众多复合修复技术。相对于场地土壤污染修复技术研究而言,耕地污染的修复技术研究多处于起步阶段,从室内模拟、修复材料研发、防污机理探索、植物修复到农作物品种改良等都有报道,甚少涉

及特定的行业需求,技术实用性尚有待验证。至于耕地污染监测,更需要长期的资料积累,这方面的研究也甚少涉及耕地质量保护等具体需求。耕地土壤污染监控与修复技术研究是最具有挑战性的,从国内相关行业的实际需求来看,尚存在以下问题亟待解决。

(1) 对形成耕地污染的过程监管不够,实地监测耕地污染的方法技术急需提升。之前的相关研究对包括重金属在内的耕地污染成因认识不是很精准,许多污染现场都没有锁定污染源头,对耕地污染过程缺少持续的监测数据,在曾经开展的土壤污染监测中存在监测站点分布不合理、监测频次低、监测技术落后等问题,大部分监测都不是在现场获取数据,对土壤与水环境之间的联动监测需要突破。完善或研发针对耕地污染防治的实用监测技术不仅是治理耕地污染必不可少的环节,而且已经或即将成为制约耕地污染防治成败的重要瓶颈。

(2) 耕地污染风险评价及其实用治理技术急需提升。以往土壤污染调查普遍存在“重调查评价,轻机理研究,水土分离”的现象,导致了溯源不到位、成因机制不明、影响范围不确定的状况。对与耕地污染修复密切相关的河泥污染问题重视不够,而在一些河泥污染严重的地区,治理好了河泥污染对于保护耕地质量可能比修复污染耕地自身效果更明显。耕地污染使得有毒有害物质在土壤中不断累积,带来农产品安全和人体健康隐患。由于缺乏定量化技术手段,尚无法准确评估、及时预报耕地污染所造成的环境风险,制定可行的应对之策。修复技术的集成整合程度偏低,单一技术应用范围受限。

(3) 耕地污染甚有必要针对特定的行业需求。耕地污染防治需要政府主管部门担责,在我国目前的行政体制下,土壤环境牵涉到环境保护、国土资源、农村工作委员会、水利等多个政府部门。耕地污染防治是土壤环境保护的一项主要内容,又是耕地质量保护的重要内容,还牵涉到耕地的具体利用、耕种等,是一项与农业、环境保护、国土资源等政府职能部门都有联系的民生工作。之前开展的土壤污染防治(耕地是其主要方面)多突出学术性、研究性,与政府主管部门的具体需求结合得不是太紧密。自生态文明理念逐步为世人所接受或认同后,政府一些职能部门在耕地污染防治中的主动作为意识日益凸显。为了配合政府主管部门做好耕地污染防治,必须转变以往实验室模式下的研究思路,要将耕地污染防治研究与政府的管理功能、用户的具体需求密切联系起来。例如,研发一项具体修复技术,一定要考虑到它能在哪个行业被尽快推广应用,是在土地整治复垦中被应用,还是在河湖流域生态环境治理中被应用等。修复技术只有被成功推广应用,才能体现其真正的价值。

(4) 耕地污染防治急需实用的土壤修复技术及其工程示范。耕地污染范围一般不是仅仅局限在某个点,像我国湘江流域、珠江三角洲、长江三角洲等地所报道的耕地重金属污染都是成千上万亩甚至更大。据环境保护部与国土资源部 2014

年4月公布的《全国土壤污染状况调查公报》，全国中重度污染耕地面积约为5220万亩^①，说明用客土交换的物理方法治理全国的耕地污染不是根本之策。之前国内进行土壤污染修复技术研发，主要针对城市工业污染场地，专门针对耕地污染的不多。经验表明，之前的工业场地土壤污染修复技术不太适用于耕地污染修复，这类技术要么成本高、周期长、操作繁杂，要么就是大规模的客土交换，且缺少在农用地污染防治领域的工程示范。从目前国内采用的土壤污染修复技术及相关治理污染的经验来看，若要在类似于长江三角洲这样耕地破碎化程度高、人口密集的水网平原地区开展批量的耕地污染防治，必须扎扎实实从实用的修复技术研发与验证做起，从所优选的技术应用的工程示范做起。

万物土中生，食以土为本。对于用全球十分之一耕地养活全球五分之一人口的我国来说，对耕地资源的极端珍视和高效利用一直是当代中国带给全世界的重要奇迹之一。人口-资源-环境始终是我们这样一个全球最大发展中国家的永续发展所不得不面临的重大现实问题，充分保护好、利用好有限的耕地资源，必将是我国可持续发展要解决好的关键科技问题之一。生态文明的理念为我国的永续发展指明了战略方向，破解耕地污染防治这一当代资源环境领域的普遍性问题为各相关领域的科技人员献身生态文明建设这一伟大创新事业提供了平台。保护耕地资源、不断提升耕地环境质量的绿色发展需求，我国存在大片农用地土壤污染的客观现实，追求人-地和谐等生态文明建设的行业引领对策，构成了耕地污染防治及其深入研究的时代背景。

1.2 典型研究区选择及其概况

1.2.1 典型研究区选取

国土资源部中国地质调查局从1999年开始多目标地球化学填图试点以来，江苏省地质调查研究院就开始了土壤污染调查方面的资料积累及团队培育，并最早将研究重点部署在苏南地区。以此为起点，团队从土壤环境地球化学调查入手，逐步深入到耕地污染监测与防治领域的具体研究，并在苏锡常地区率先取得了相关资料积累，自然也就将苏锡常及其附近相关地区选择为本次开展“耕地污染监测与防治关键技术研究”的主要攻关区域。该区域作为我国著名的江南水乡，既存在地面沉降，又存在水土污染，是全国耕地污染比较集中的区域之一。

苏锡常地区包括江苏省境内的苏州市、无锡市、常州市三市，是我国改革开

^① 1亩 $\approx 666.7\text{m}^2$ 。

放之初乡镇企业发展的源头之一，也是我国当今经济社会发展最具活力的地区之一。该地区位于长江三角洲江苏省域的南部，东与上海市交界，南与浙江省、安徽省接壤，西临南京市和镇江市，北至长江，地理坐标为 $119^{\circ}08'E \sim 121^{\circ}18'E$ ， $30^{\circ}46'N \sim 32^{\circ}05'N$ （图 1-1），其行政区包括苏州市、无锡市、常州市 3 个地级市，所辖常熟市、张家港市、昆山市、太仓市、江阴市、宜兴市、溧阳市、金坛市等县级市，以及各市所辖的城区。全区现有土地面积 17660km^2 ，包括太湖湖泊面积约 2300km^2 ，另有少量基岩裸露的低山区、森林覆盖区等，扣除主要水域，可实施地表水土地质环境调查与土壤污染防治的工作区面积约 14400km^2 。全区拥有常住人口 2000 多万人，面积占江苏省土地面积的 17.2%、人口占江苏省总人口的 25.9%（据《江苏统计年鉴—2010》）。该区也是江苏省乃至全国经济发展速度最快、人口密度最大、城镇化水平高、土地资源特珍贵、生态地质环境问题暴露较多的地区之一。

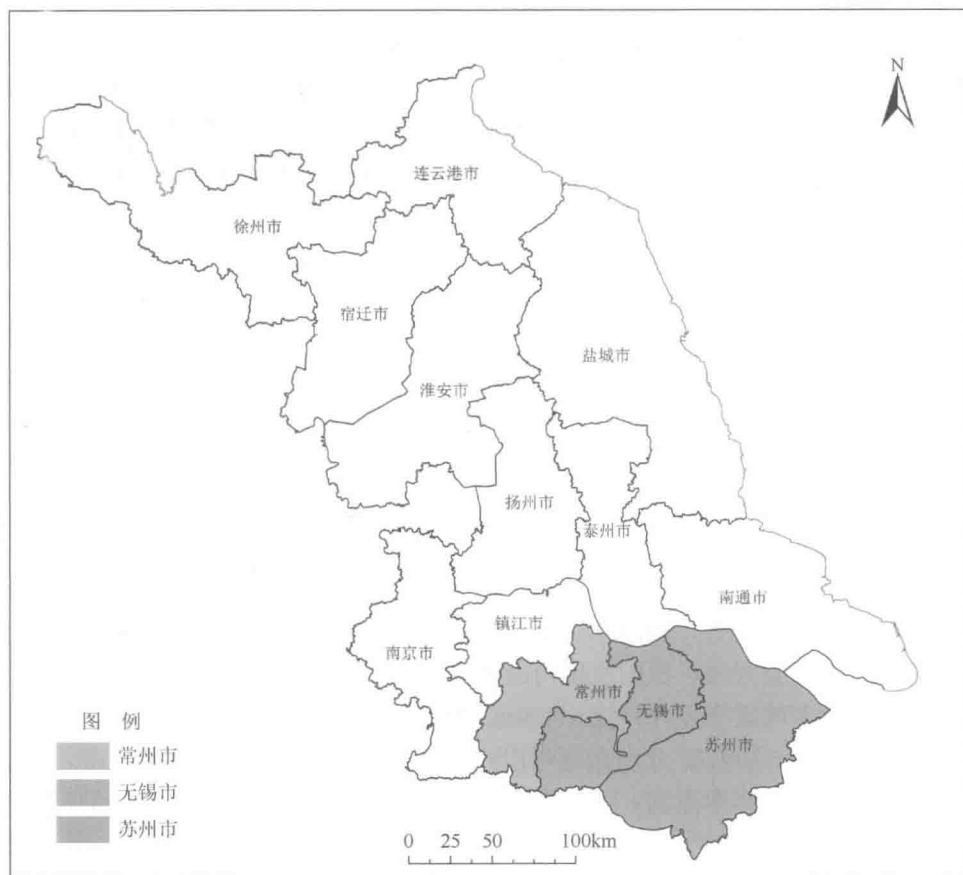


图 1-1 苏锡常地区在江苏省的位置