

成都平原区

典型重金属污染土地修复研究

梁 斌 徐志强 李忠惠
蒋 卉 阚泽忠 黎诗宏 李江涛 / 著

梁 斌



科学出版社

四川省国土资源厅“四川典型重金属污染土地修复试验”地勘基金项目(201402)

四川省国土资源厅“四川镉污染土地监测与修复试验”科学研究计划项目

(KJ-2012-3)

稀有稀土战略资源评价与利用四川省重点实验室研究项目

成都平原区典型重金属污染 土地修复研究

梁 斌 徐志强 李忠惠
蒋 卉 阚泽忠 黎诗宏 李江涛/著



科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书在对成都平原土壤重金属污染现状及生态效应调查研究的基础上,重点对成都平原以Cd污染为主的农田土壤,开展以原位钝化修复为主,植物修复、化学淋洗修复为辅的重金属污染土地修复研究。通过预试验、盆栽试验、大田试验,研发出以黏土矿物、生物质炭、石灰为主的复合钝化剂配方,显著降低了水稻等大宗农作物中重金属的含量;筛选出适合研究区重金属污染土壤的植物修复品种;采用化学淋洗的方法,对磷化工高重金属污染土地的修复进行了探索试验。

本书可供从事环境科学与环境工程相关领域的科研人员及高等院校相关专业师生参考阅读。

图书在版编目(CIP)数据

成都平原区典型重金属污染土地修复研究 / 梁斌等著. —北京: 科学出版社, 2018.2

ISBN 978-7-03-056660-7

I. ①成… II. ①梁… III. ①成都平原-土壤污染-重金属污染-生态恢复-研究 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 039817 号

责任编辑: 罗 莉 / 责任校对: 陈 珍
责任印制: 罗 科 / 封面设计: 墨创文化

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>

四川煤田地质制图印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 2 月第 一 版 开本: 720 × 1000 1/16

2018 年 2 月第一次印刷 印张: 9 1/2

字数: 196 560

定价: 69.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

土壤的重金属污染及修复问题早已受到全世界的广泛关注，近年来更是引起了社会的高度重视。成都平原（又称川西平原）位于四川盆地西部，是四川省社会经济最发达的地区，也是四川省和全国著名的商品粮、油生产基地。成都平原的农作物主要有水稻、小麦和油菜，水稻种植面积最大，属典型的水田农业区，水稻面积和产量均占全国的 10% 左右，产量居全国第五（肖志如等，2009）。成都平原区为第四系河流冲积物组成，土壤类型以水稻土为主。由于社会经济活动和农业生产，局部地区农田土壤镉（Cd）污染严重、生态效应显著，严重威胁了大宗农作物的食品安全和人们的身体健康。因此，探索出一套针对大面积农田重金属污染、环境友好、经济高效的土壤修复技术与方法，对于确保大宗农作物的食品安全具有重要的科学和现实意义。

一、研究思路和内容

1. 研究思路

在对成都平原区典型 Cd 污染土壤监测的基础上，针对研究区修复对象主要为农田土壤，具有 Cd 污染土地面积大、污染程度中等、酸性土壤、土壤-植物生态效应显著的特点，结合国内外相关研究成果，本次重金属污染土地修复试验主要选择复合钝剂原位修复技术，根据不同污染程度和用地类型，配合植物修复、化学淋洗修复等技术方法，开展实验室预试验、盆栽及大田试验研究，探索出一套以保障大宗农作物食品安全为目标，环境友好、经济高效、易于推广的 Cd 污染土地修复技术与方法，为四川省乃至我国类似地区重金属污染土地的修复提供可借鉴的技术与方法。

修复试验工作总体技术流程见图 1。

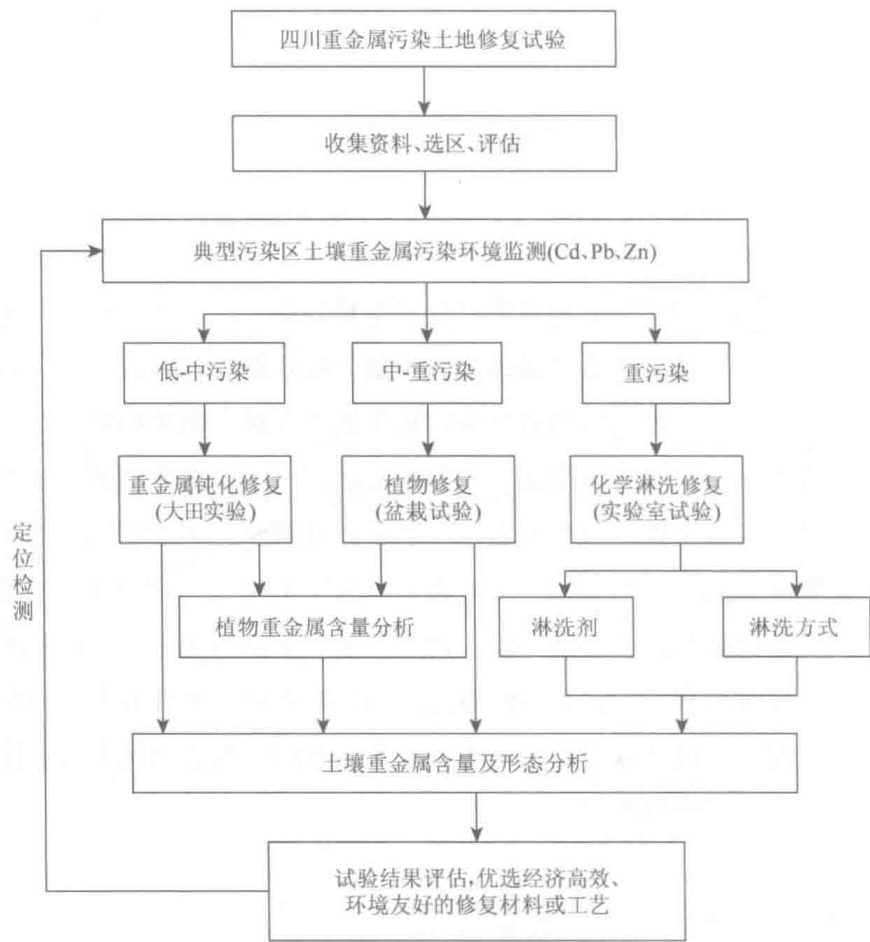


图1 成都平原典型重金属污染土地修复试验总工作流程图

2. 研究内容

根据成都平原区土壤重金属污染类型、污染程度及研究目标，具体研究内容和方法如下：

(1) 土壤重金属监测。分年度采集表层土壤以及植物（包括大宗农作物水稻、特色农产品川芎）、根系土样品，确定研究区表层土重金属污染类型、污染程度以及生态效应，评价农作物的食品安全性，分析影响土壤及农作物中重金属含量的地球化学因素，为重金属污染土地修复提供依据。

(2) 污染物来源。土壤污染既有地质背景因素，也有现代环境因素，其中现代工业生产所排放的“三废”是造成局部土壤污染的重要原因。在土壤重金属污

染修复治理中,如果不查明引起污染的原因,斩断污染来源,那么土壤修复将是无效的或效果不显著的。在研究区采集大气降尘、灌溉水等样品,分析引起土壤重金属污染的外部因素。

(3) 钝化修复试验。钝化修复重金属污染土地是本次污染土壤修复的重点和难点,其关键技术在于钝化剂配方的研制,包括钝化物质的选用、配方比例以及配方效果的持久性、经济性和可操作性等。本次试验针对成都平原区土壤重金属污染的特点、土壤理化性质及地球化学控制因素,采用能提高土壤 pH、降低土壤中 Cd 有效态含量的生物质炭、石灰、膨润土等物质,研制有机-无机复合钝化剂,通过钝化剂配方预实验、盆栽试验和大田试验,以是否能显著提高土壤 pH、降低土壤 Cd 的有效态含量,特别是降低大宗农作物中 Cd 的含量为检验标准,分步筛选出效果较好的钝化剂配方。同时,在大田试验中测定土壤的容重以及农作物的产量,更全面地评价钝化修复的效果。

(4) 植物修复试验。对研究区 Cd 污染程度较高的土壤,选用高积累植物龙葵以及研究区广泛种植的烟叶,通过盆栽试验,确定龙葵、烟叶等植物对土壤中 Cd 的吸收能力。植物修复的缺点是修复周期长、效率低,为提高植物修复的效率,在试验中加入了不同浓度的柠檬酸或 EDTA (乙二胺四乙酸),通过提高土壤中重金属的有效性来增加单季植物对重金属的吸收量。

(5) 化学淋洗试验。对研究区磷化工“三废”排放所造成的高污染土壤,采用化学淋洗方法,以有机酸、化学络合剂、稀酸作为淋洗剂,单独或联合使用,考察淋洗剂种类、浓度和淋洗时间对污染土壤中重金属的去除效果。

(6) 钝化剂效果的持续性。钝化剂效果的持续性是衡量钝化修复效果的重要指标,持续性较好的钝化剂可以减少土壤修复过程中的工作量,并降低修复成本,从而使修复技术更易推广。通过分析钝化修复后土壤中 Cd 的有效态含量、pH 以及农作物中 Cd 含量的变化,来检验钝化剂效果的持续性,以进一步确定本次研究的钝化剂原位修复的效果。

二、工作概况

本书是在四川省国土资源厅地勘基金项目“四川典型重金属污染土地修复试

验”(项目编号 201402)以及四川省国土资源厅科学研究计划项目“四川镉污染土地监测与修复试验”(项目编号 KJ-2012-3)等研究工作的基础上完成的。上述项目由四川省地质调查院承担,西南科技大学参与完成。在本书的撰写过程中,收集了由四川省地质调查院承担的中国地质调查局与四川省人民政府的“成都经济区生态地球化学调查”项目及四川省国土资源厅“金土地工程”农业地质调查项目的相关调查研究成果。

本次研究工作始于 2012 年,2016 年提交最终成果报告,完成的主要实物工作量见表 1。

表 1 完成主要实物工作量

工作项目	单位	技术指标	完成工作量	备注
土壤重金属监测	km ²	按 500m×500m 采集表层土壤样品	27	
供试土壤	件	As、Cd、Hg、Pb、Cu、Zn、Cr、Ni、N、P、K ₂ O、CaO、MgO、B、SiO ₂ 、Se、有机质、pH; 水解性氮、有效 Cu、有效 Zn、有效 P、有效 B、有效 Si、缓效 K、速效 K 和 CEC (阳离子交换量)	19	
表层土壤	件	Cd、Se、有机质、pH	188	
植物	件	Cd、Se、Pb、Zn	64	水稻、川芎等
根系土	件	Cd、Se、Pb、Zn、有机质、pH	64	
污染物样品	件	Cd、Pb、Zn	27	大气降尘、底泥、灌溉水
钝化剂预实验	件	Cd 元素有效态含量分析、pH	252	
钝化剂盆栽试验	盆	植物-Cd、Se、Zn; 根系土-Cd、Se、Zn、有机质、pH 值等 5 个指标, Cd 元素有效态含量分析	176	种植水稻、川芎
钝化剂大田种植试验	田块	植物-Cd、Se、Zn; 根系土-Cd、Se、Zn、有机质、pH, Cd 元素有效态含量分析	8	种植水稻 5 块、川芎 3 块, 共 58 个小田块
土壤容重测量	件		48	
植物修复盆栽试验	盆	植物-Cd; 根系土-Cd、pH	57	龙葵、烟叶
化学淋洗实验	组	Cd	186	

三、样品采集、测试及质量监控

1. 样品采集

本次研究工作涉及的样品采集主要有：表层土壤、植物（农作物）、根系土、大气降尘、灌溉水等。

表层土壤样品，在土地重金属污染监测工作中采集。于 2014 年、2015 年 10 月农作物收获后采集，按 4 件/ km^2 采集，采样面积 27km^2 。表层土样品采样深度为地表 0~20cm 土柱，每件样品由在设计点附近 20~50m 内采集同种土样 5 个点组合而成，样品原始重量在 1~1.5kg。样品干燥后，按照规范加工流程，用尼龙筛截取-0.8mm（-20 目）粒级的样品 500g。

植物样品采集，在土地重金属污染监测、钝化修复盆栽试验和大田试验、植物修复试验等工作中采集。土地重金属污染监测中，植物以水稻为主，兼顾中药材（川芎），水稻样品于 2014 年、2015 年 9 月采集，川芎于 2015 年 5 月采集，以对角线的方式在田块中采集水稻籽实、川芎地下茎块药用部分作为水稻、川芎样品，样品重量在 0.8~1kg；钝化修复盆栽试验中，采集全部水稻籽实、川芎地下茎块药用部分；钝化修复大田试验中，以对角线的方式在田块中采集水稻籽实、川芎地下茎块药用部分，样品重量在 0.8~1kg；植物修复试验中，采集全部烟叶叶片、龙葵地上茎叶部分。

根系土样品与植物样品同时采集。样品原始重量在 1~1.5kg。样品干燥后，按照规范加工流程，用尼龙筛截取-0.8mm（-20 目）粒级的样品 500g。

大气降尘、灌溉水等样品，在土地重金属污染监测工作中采集。大气降尘样品在较陈旧、较封闭的建筑物或民居内，用专用塑料采样袋收集灰尘，重量 30~50g/件。灌溉水样品主要布置在研究区主要灌溉水渠。灌溉水用 2kg 聚乙烯塑料桶作为装样容器，装入水样后，加入保护剂之后摇匀。

2. 样品测试及质量监控

1) 测试方法

研究中采集的土壤、植物及大气降尘等样品中的 Cd、Pb、Zn、Se、有机质、

pH 等，由成都综合岩矿测试中心承担样品测试工作；土壤中 Cd 的有效态含量、化学淋洗修复淋液中的 Cd 由西南科技大学测试中心测试完成。

成都综合岩矿测试中心所完成测试的样品，在分析检测工作开展前，对部分元素的分析检测方法以及整体分析检测配套方案进行了改进和优化，使其更适合该研究中各元素的分析技术要求，主要测试分析方法见表 2、表 3。

表 2 土壤样品元素分析配套方法

测试指标	处理方法		测定方法
Zn、Cu、Ni、Cr	5.0g 样品	粉末压片法	X 射线荧光光谱法（XRF）
Cd、Pb	0.0250g 样品硝酸、氢氟酸、高氯酸三酸溶样	定容 25ml 后直接测定	等离子质谱法（ICP-MS）
As、Hg、Se	0.5000g 样品王水（硝酸、高氯酸）溶样	KBH ₄ 还原、氢化法	原子荧光光谱法（AFS）
有机质	0.5000g 样品硫酸分解	重铬酸钾氧化	氧化还原容量法
pH	10.0g 样品，水浸取	直接测定	pH 计电极法（ISE）

表 3 生物样品分析方法配套方案

测试指标	提取方法	分析方法	检测依据
Pb、Cd、Zn、Se	微波消解法	ICP-MS	GB/T5009—2003

土壤中 Cd 的有效态含量、化学淋洗液中 Cd 元素含量，采用 ICP-MS 测试。

2) 质量监控

成都综合岩矿测试中心加强了国家一级标准物质、监控样、重复性检查、异常抽查的质量监控措施，对 GSS1-8、GSS11-14 国家一级土壤标准物质进行了 12 次重复测定，确保了分析方法的可行性和可靠性。

对 445 件土壤样品，插入国家一级标准物质 42 件；对 394 件根系土样品，插入国家一级标准物质 40 件。土壤样及根系土样品报出率均为 100%；国家一级标准物质的准确度、精密度合格率均为 100%；重复性检验合格率均为 100%。

对 379 件生物样品，插入国家一级标准物质 53 件，报出率均为 100%；国家一级标准物质的准确度、精密度合格率均为 100%；重复性检验合格率除 Cd 合格率为 96.7%、Pb 合格率为 95.2%外，其余各元素的合格率均为 100%。

对 445 件土壤样品进行了 20 件密码抽查分析, 抽查比例为 4.49%, 密码抽查分析数据的合格率均为 100%。

抽取 4 件稻米样品送国土资源部合肥矿产资源监督检测中心进行检测, 4 件样品的 Cd 和 Zn 外检合格率为 100%。

西南科技大学测试中心测试的土壤 Cd 元素有效态含量、化学淋洗液重金属含量等, 采用电感耦合等离子体光谱法 (ICP-AES) 完成, 每批样品均有 2~3 个空白样、重复样进行监测。

综上所述, 各类样品测试采用的分析方法检出限均满足或优于规范的要求, 准确度和精密度监控结果合格率均为 100%; 土壤样密码抽查合格率 100%; 重复性检查样品 (比例 5%); 土壤样品一次性合格率均大于 98%。元素含量的高、低异常点抽查合格率除 pH 为 96% 外, 其余均为 100%。植物外检合格率为 100%。各项质量指标满足《地质矿产实验室测试质量管理规范》(DZ/T0130.4—2006)。

四、研究进展

本次试验研究工作, 针对成都平原区典型 Cd 污染土壤, 在重金属污染监测的基础上, 根据引起大宗农作物 (水稻) 吸收 Cd 的地球化学控制因素, 通过预实验、盆栽试验和大田试验, 开展了以研发无机-有机复合钝化剂为核心的原位钝化修复试验, 同时也进行了植物修复、化学淋洗修复的探索。通过上述试验研究工作, 探索了一套适宜成都平原区农田土壤重金属污染修复的技术方法, 也为其他类似地区重金属污染治理提供了可借鉴的方法技术。本次研究主要取得了以下成果:

(1) 通过对表层土壤以及水稻等农作物样品的监测, 进一步查明了研究区土壤 Cd 污染的现状、变化趋势及大宗农作物的食品安全性。研究区土壤 Cd 污染严重, 环境质量分级为三级以上的样品占 85% 以上, 个别地方有污染加剧之势。Cd 污染生态效应显著, 稻米 Cd 超标严重, 超标率在 70% 以上, 且超标程度严重, 这表明土壤 Cd 污染已通过土壤-植物生态系统严重威胁了稻米的食品安全。

(2) 分析探讨了控制稻米 Cd 元素含量的地球化学因素, 为土壤重金属的修复与防控提供了科学依据。以研究区内不同年度土壤与稻米中 Cd、Zn、Se 等元素以及土壤的 pH、有机质含量等数据为依据, 分析探讨了稻米从土壤中吸收 Cd、Zn、Se 的地球化学控制因素, 确定了控制稻米 Cd 含量的主要地球化学因素。结果表明, 在成都平原区 Cd 污染土壤稻米中 Cd 含量水平主要受土壤 Cd 含量和 pH 的影响, 土壤中有有机质也在一定程度上影响稻米中 Cd 元素的含量。因此, 在成都平原 Cd 污染区进行土壤修复时, 提高土壤 pH 是一个关键途径, 同时增加土壤中有有机质的含量, 也将更好地降低稻米中 Cd 元素的含量水平。

(3) 来自磷化工厂的大气降尘是造成研究区土壤 Cd 污染的重要因素, 土壤 Cd 污染主要是由人类活动的外部因素引起的。研究区代表地质背景的深层土壤样品中 Cd 元素的含量都相对较低, 基本上属于土壤环境的自然背景; 大气降尘中 Cd 元素含量高, 研究 A 区大气降尘的年输入通量达 $8.33\text{g}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$, 研究 B 区年输入通量达 $55.14\text{g}/(\text{hm}^2\cdot\text{a})$, 相对贡献率分别在 68.0%、96.4%, 占有绝对的主导地位。大气降尘主要来源于磷化工厂的废气、烟尘。

(4) 通过钝化剂预实验, 确定了以生物质炭为主要成分, 配以石灰、膨润土和钙镁磷肥的有机-无机材料组成的复合钝化剂配方。钝化剂的预试验表明, 生物质炭和石灰对控制土壤 pH、Cd 的有效性具有重要作用, 而膨润土和钙镁磷肥起辅助作用。

(5) 盆栽试验、大田试验结果表明, 钝化剂显著地降低了稻米中 Cd 的含量, Cd 污染农田土壤钝化修复效果明显, 探索出了针对 Cd 污染农田土壤的钝化修复技术。钝化剂显著提高了土壤的 pH, 大部分配方使 Cd 有效态含量下降了 20%~40%, 最高下降约 60%; 稻米中 Cd 的含量下降率普遍在 10%~50%, 多集中在 30%~50%。同时, 保持了稻米 Se 含量水平, 提高或保持了水稻产量, 降低了土壤容重。做到了边修复、边生产、边治理, 不改变农业生产方式。这种以农作物秸秆生产的生物质炭为主要成分的钝化剂, 不仅钝化修复效果好, 同时也为农作物秸秆的综合利用提供了有效途径。

(6) 对钝化剂效果的持续性进行了初步研究, 为本次研究确定的钝化修复技术的推广提供了依据。在经历了水稻、后续小麦和川芎的种植后, 土壤中 Cd 的

有效态含量不但没有提高,反而大幅度下降,无论小麦籽粒还是川芎块根中 Cd 的含量都明显地下降了。这表明钝化剂效果的持续性较好,在农作物继续种植过程中,钝化剂仍然对 Cd 起到了良好的固定效果。

(7) 应用龙葵、烟叶等植物开展了污染土壤的植物修复试验,确定了适合研究区土壤类型及污染程度的修复植物。龙葵对 Cd 具有很强的富集能力,并且添加柠檬酸的生长与 CK 组(对照组)相比也未受到抑制,茎叶中 Cd 含量达到了 6.7~17.2mg/kg,生物富集系数(BCF)达到了 5.26~19.33,可用于遭受工业污染的、Cd 含量高的农用地、荒地的修复。烟叶对 Cd 具有很强的富集能力,烟叶中 Cd 含量达到了 20~50mg/kg,生物富集系数(BCF)达 12~30,是吸收 Cd 的超累积植物,在大面积种植烟叶的地区,可在种植过程中对土壤进行修复。

(8) 对研究区内磷化工企业“三废”排放所造成的高污染土壤,采用化学淋洗的方法去除 Cd,取得了显著效果。以柠檬酸和酒石酸为淋洗剂,采用振荡洗土的实验方法,Cd 去除率均能够达到 60%以上,如果多次重复淋洗,土壤中 Cd 的去除率还将有一定的提高。这表明采用化学淋洗对四川地区 Cd 污染土壤进行修复,从工程应用上来说是可行的。

本研究成果是项目组全体人员辛勤工作的成果。本书各章节分工如下:前言,梁斌、李忠惠;第一章,李忠惠、梁斌、阚泽忠;第二章,徐志强、梁斌、李忠惠、阚泽忠;第三章,黎诗宏、梁斌、李江涛;第四章,蒋卉,李江涛。本书由梁斌、李忠惠统稿和定稿。张跃跃、唐屹、朱梦婷、潘蒙、户双节、韩兆诣、文龙、燕中林等参加了野外调查、实验及资料整理工作。

五、致谢

本书所反映的研究成果,是四川省国土资源厅多年来所资助的农业地质调查研究的成果集成,是在四川省国土资源厅的支持和领导下完成的。在项目的实施过程中,得到了四川省地质调查院、试验区各级政府的领导和相关部门以及当地农民的大力支持;四川省地质调查院的陈德友教授级高级工程师、刘应平高级工程师以及成都理工大学的施泽明教授,对项目的技术方案

进行了具体的指导，对我们的工作给予了许多重要的帮助，在此一并表示衷心的感谢！

本次研究的样品测试工作主要由成都综合岩矿测试中心承担，西南科技大学测试中心、固体废物处理与资源化教育部重点实验室完成了部分测试工作。在此对上述测试单位表示衷心的感谢！

目 录

第一章 土壤 Cd 污染特征及生态效应	1
第一节 研究区概况	1
一、自然地理	1
二、土地资源及农业种植现状	2
三、表层土壤的元素背景值	2
第二节 土壤 Cd 污染特征	4
一、土壤环境质量评价	4
二、土壤 Cd 含量与 pH、有机质含量的关系	8
三、土壤 Cd、Se 元素含量的关系	9
四、Cd 元素的形态特征	10
第三节 Cd 污染的生态效应及农产品安全风险	13
一、稻米 Cd 元素含量及食品安全性评价	13
二、川芎中 Cd 的含量特征及安全性评价	16
三、稻米的食物安全风险	16
第四节 水稻吸收 Cd 的地球化学控制因素	21
一、土壤 Cd 含量对稻米吸收 Cd 的影响	21
二、土壤 pH 对稻米吸收 Cd 的影响	26
三、土壤有机质含量对稻米吸收 Cd 的影响	28
四、土壤中 Zn、Se 含量对稻米吸收 Cd 的影响	29
五、结论	31
第五节 Cd 污染的来源分析	33
一、成土母质	33
二、Cd 元素的外源输入	35
三、Cd 外源输入的贡献率	37
四、结论	38

第二章 重金属污染农田原位钝化修复	40
第一节 钝化剂的选择及试验方案	40
一、钝化剂配方的选择依据	40
二、钝化剂配方的组成	42
三、钝化剂配方物质的成分分析	43
四、技术路线	44
第二节 钝化剂初步筛选-培养试验	46
一、实验方法	46
二、实验结果分析	47
第三节 盆栽试验	53
一、水稻盆栽试验	53
二、川芎盆栽试验	64
第四节 大田试验	68
一、水稻大田试验	69
二、川芎大田试验	79
第五节 钝化剂效果持续性初步检验	83
一、试验田	83
二、试验结果分析	84
第六节 原位钝化修复试验的讨论与结论	87
第三章 植物修复试验	91
第一节 试验方法	92
一、供试土壤	92
二、超积累植物选择	92
三、重金属螯合剂	93
四、盆栽试验设计	93
第二节 龙葵植物修复结果及分析	95
一、龙葵生物量的变化	95
二、龙葵茎叶中 Cd 的含量	95
三、龙葵茎叶中 Cd 的吸收量	97
四、龙葵 Cd 的生物富集系数	98

五、根系土 pH 的变化	99
六、结论	100
第三节 烟草植物修复结果及分析	100
一、烟叶中 Cd 的含量	100
二、烟叶 Cd 的生物富集系数	102
三、根系土 pH 的变化	103
四、烟草用于修复重金属污染土壤的潜力	103
五、结论	104
第四章 化学淋洗修复	105
第一节 试验的技术方法	106
一、淋洗剂的选择	106
二、试验思路及流程	106
三、供试土壤	107
四、试验方法	107
第二节 试验分析结果	108
一、淋洗剂的筛选	108
二、有机酸浓度对土壤中 Cd 淋洗效果的影响	109
三、固液比对土壤中 Cd 淋洗效果的影响	112
四、振荡时间对土壤中 Cd 淋洗效果的影响	112
五、淋洗剂复合配方对土壤中 Cd 淋洗效果的影响	114
六、淋洗正交试验	114
七、化学淋洗前后土壤内部结构比较	121
八、结论	121
第五章 结语	123
参考文献	127

第一章 土壤 Cd 污染特征及生态效应

成都平原区土壤重金属污染主要是以 Cd 为主的农田土壤污染,污染区主要集中在平原北东部。根据本次土壤重金属污染修复主要是以大面积的农田土壤为主的研究目标,综合考虑 Cd 污染程度、污染来源、地质背景、用地类型等多种因素,研究区选择在成都平原北东部的两个乡镇(以下称为研究 A 区、研究 B 区),面积均在 12km^2 以上。这两个研究区是成都平原典型的农业生产区,土壤以 Cd 污染为主,农作物(水稻)Cd 含量普遍超标,但在污染程度上存在一定的差别,且土壤 Cd 污染来源明显不同。因此,在这两个研究区开展土壤重金属污染监测和修复工作,不仅可以探索出一套适合成都平原重金属污染土壤修复的技术与方法,而且将对四川省今后类似地区重金属污染防控提供可借鉴的技术与经验。

第一节 研究区概况

一、自然地理

两个研究区均位于成都平原的北东部。研究 A 区为成都平原的一级阶地平坝区,由河流的冲积物所组成,地势由西北向东南倾斜,平均坡降 0.68%,海拔 580~610m,相对高差 5~20m,研究 B 区主要为成都平原的一级阶地平坝区,北西部边缘分布有四级阶地组成的浅丘,地势由西北向东南倾斜,海拔 620~560m,相对高差 10~20m。

研究区属四川盆地中亚热带湿润季风气候区,四季分明,冬暖、春早,无霜期长,雨量充沛,但季节分布不均。多年平均气温 15.7°C ,全年 10°C 以上积温天数为 240~300d, $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 积温为 $5000\sim 5300^{\circ}\text{C}$,无霜期多为 285d,多年平均降水量 1053.2mm,年均相对湿度 81%,年均蒸发量 1100.8mm,多年平均日照时数 1011.3h,水热资源丰富,为作物生长提供了充裕的外部条件。