

经济发展与

农用地重金属

时空变化研究

周生路 李如海 吴绍华◎等著

JINGJI FAZHAN YU NONGYONGDI ZHONGJINSHU
SHIKONG BIANHUA YANJIU

环境出版人

农用地重金属

时空变化研究

王成斌 王成华 王成刚 等著

中国环境科学出版社
CHINA ENVIRONMENTAL SCIENCE PUBLISHING HOUSE

经济发展与农用地 重金属时空变化研究

周生路 李如海 吴绍华 等著

中国大地出版社

· 北 京 ·

内 容 简 介

本书基于 GIS、RS 以及数值计算技术,以土壤重金属为重点对象,从省域农用地环境质量的时空变化,典型代表区农用地重金属的空间分异、来源解析与区划,农用地重金属不同形态含量的空间变化及作物-土壤系统重金属的空间分布,经济快速发展典型过程影响下农用地环境的时空变异,经济快速发展典型过程对农用地重金属累积的影响及通量提取,典型区域农用地重金属的时间变化与累积速率,以及农用地环境时空变化与风险预测预警示范研究八个方面,系统地介绍了经济快速发展形势下农用地环境时空变化与风险情况,并从土地利用、管理、调控等方面提出改善农用地环境的相关措施建议。

本书可供国土资源、经济管理、生态环境保护、农林、城市与区域规划等方面的科研、教学及管理,以及有关企事业单位的科技工作者参考。也可作为高校土地资源管理、资源环境城乡规划与管理、自然地理、经济地理、城市规划、资源与环境科学等专业的教学研究参考资料。

图书在版编目 (CIP) 数据

经济发展与农用地重金属时空变化研究 / 周生路等著. —北京: 中国大地出版社, 2011. 2
ISBN 978-7-80246-414-8

I. ①经… II. ①周… III. ①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 (2011) 第 015406 号

责任编辑: 赵 芳 蔡 莹

责任校对: 杜 悦

出版发行: 中国大地出版社

社址邮编: 北京市海淀区学院路 31 号 100083

电 话: 010-82324508 (邮购部) 82329120 (编辑部)

传 真: 010-82329024

网 址: www.chinalandpress.com 或 www.中国大地出版社.中国

印 刷: 北京天成印务有限责任公司

开 本: 787mm × 1092mm $\frac{1}{16}$

印 张: 24.25

字 数: 600 千字

版 次: 2011 年 2 月第 1 版

印 次: 2011 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-80246-414-8

定 价: 88.00 元

版权所有·侵权必究

前言

本书是在“江苏省典型区域农用地土壤重金属时空变化与土地利用对策研究”项目成果报告的基础上，经补充调整、修改完善编写而成。该项目是在“江苏省农用地资源分等研究”成果的基础上，依托江苏省国土科技项目“江苏农用地质量动态监测”以及国家基础研究规划项目（“973”项目）课题“长三角典型区土壤、作物中重要化学物质的时空分布规律和风险预测”、江苏省与国土资源部合作重大项目专题“苏南典型区农用地土壤重金属时空变化与预测预警”等的支持，以江苏省典型区为例，开展经济快速发展形势下农用地环境的时空变化、预测预警与土地利用对策的应用性基础研究，旨在探索经济发展对农用地环境质量的影响及其合理化管理问题，以适应国土资源管理按照科学发展观思想，从数量管理为主向数量质量并重管理，从资源型向资源、资产与生态环境综合型管理转变的新的形势要求。

土壤重金属具有残留时间长、隐蔽性强、迁移性小、毒性大、化学行为和生态效应复杂等特点，经作物吸收后进入食物链，并会通过某些迁移方式进入水体、大气，严重威胁人类健康及动植物繁衍生息，当前我国经济快速发展地区其污染普遍存在并受到广泛关注。因此，本项目把土壤重金属作为重点对象开展研究。项目研究的主要内容包括以下九个方面：经济快速发展形势下江苏省农用地环境质量空间变化的总体格局；典型代表区农用地重金属的空间分异、来源解析与区划；典型代表区农用地重金属不同形态含量的空间变化；典型代表区农用地作物—土壤系统重金属的空间分布；典型过程影响下农用地环境的空间变异；典型过程对农用地重金属累积的影响及通量提取；典型地段农用地重金属的时间变化与累积速率；经济快速发展形势下农用地环境时空变化与风险预测预警示范研究；农用地环境质量的土地利用对策。

通过研究发现，研究区农用地环境质量与经济发展水平显著相关，农用地土壤重金属与经济发展类型尤其是工业化关系密切；农用地土壤重金属含量、种类、形态受到人类经济的深刻影响，经济快速发展时期农用地土壤重金属累积明显、空间分异特征明显，人为来源重金属输入是农用地土壤重金属积累的主要原因；农作物系统重金属富集和污染风险的空间分布与局域产业活动密切相关，受自然和人为多源影响，其空间分布更加复杂；农用地环境质量状况总体处于安全与警戒的边缘，未来趋势不容乐观；农用地土壤重

金属污染治理修复应重视土壤理化性质的调控及工业废气的减排与控制，区分产业及经济发展过程的类型，采取相应的防治措施，其中，污染综合区划是重要的前提和基础。

本项目实证揭示农用地土壤重金属与经济发展之间的关系，从省域、县级代表区、典型地段等不同空间尺度，全量、有效态、弱酸溶解态、可还原态、有机结合态、残渣态等各种赋存形式，城市化、工业化、道路交通建设等经济快速发展典型过程，土壤、作物等不同介质，对农用地重金属含量空间变化进行多方位系统研究；提出并实证土壤重金属源组分的分离方法；采用空间转换时间结合年轮化学分析交叉检验的方法，建立土壤重金属积累时间序列，计算重金属累积速率和通量；建立并实证土壤重金属积累时空变化过程和风险预测预警模型框架；采样基于污染类型和孕污环境进行土壤重金属污染综合区划等方面研究，具有特色和创新性。项目研究的部分成果已在土地利用总体规划、基本农田保护规划、“十二五”国土规划以及其他相关规划、研究中得到广泛应用。根据项目研究成果，已发表学术论文 50 余篇，其中 SCI、EI、ISTP 收录 20 余篇。

本书由周生路、李如海拟订编写大纲并组织相关人员集体写作而成。具体分工如下：第 1 章，周生路、李如海执笔；第 2 章，李如海、万红友执笔；第 3 章，周生路、刘波、亓树思执笔；第 4 章，钟晓兰、周生路执笔；第 5 章，黄明丽、周生路执笔；第 6 章，周生路、王国梁执笔；第 7 章，吴绍华、周生路执笔；第 8 章，周生路、吴绍华、王国梁执笔；第 9 章，吴绍华、周生路执笔；第 10 章，周生路、李如海执笔。全书最后由周生路统稿。

本书的编写得到了赵其国院士、彭补拙教授的大力支持与鼓励，两位先生审阅了编写大纲和初稿，对书稿体系、内容写作与完善等进行了具体指导。在相关项目的研究中，得到了中国科学院南京土壤研究所骆永明研究员、孙波研究员、黄标研究员、董元华研究员、刘兆礼高级工程师、滕应研究员，江苏省国土资源厅宋玉波处长、朱锦旗主任、王黎明处长、刘斌处长、花盛主任、朱凤武博士，江苏省地质调查研究院廖启林研究员等的指导、支持与帮助。参与有关项目研究的还有李春华教授、褚维德教授、杨得志博士，以及当时在读的博士研究生叶方、廖富强、任奎、张红富、郑光辉、曹伟、徐明星、李志、隋雪艳、林晨、陆春峰、周华、吴巍，硕士研究生陈敬雄、陆跃进、沈秀峰、冯蓉晔、宋佳波、李爱军、林明昇、孙兆金、张一飞、朱青、季禾禾、陈东湘、柳葳、吕蕾、葛浩、陆长林、郑群英、金巨刚、皮啸菲、王亚坤、何佳、李达、汪婧、王晓瑞、李京涛、徐昌瑜、王炳君、刘丹、黄云等。统稿过程中，魏宗强博士、吴巍博士等付出了许多辛勤劳动，在此一并感谢！

本书编写时参考了大量国内外相关著作和研究成果，在此对著作作者和研究成果完成者表示衷心的感谢！

由于时间仓促，加之水平有限，书中恐有疏漏，恳切期望得到专家、学者及所有同行和读者们的批评与指正！

作 者

2010 年 9 月 10 日

目 录

1 绪 论	(1)
1.1 问题的提出	(1)
1.2 研究内容与技术路线	(3)
1.2.1 研究的主要内容	(3)
1.2.2 研究的技术路线	(4)
1.3 样点采集与测试	(5)
1.3.1 样点布设与采集	(5)
1.3.2 样品测试方法	(6)
1.4 研究区概况	(7)
1.4.1 自然与社会经济概况	(7)
1.4.2 土地利用概况	(8)
2 江苏省农用地环境质量空间变化的总体格局	(13)
2.1 研究思路与方案	(13)
2.1.1 研究技术路线	(13)
2.1.2 测试与分析方法	(14)
2.2 省域农用地环境质量的总体状况与空间格局	(21)
2.2.1 重金属含量与环境质量总体特征	(21)
2.2.2 重金属污染分区	(22)
2.2.3 重金属元素含量的空间分布格局	(24)
2.2.4 重金属土壤表层富集的空间变异	(26)
2.3 苏南、苏中、苏北三大区域农用地环境质量的空间对比	(28)
2.3.1 三大区域农用地环境质量状况	(28)
2.3.2 重金属含量空间分布的区域差异	(30)
2.3.3 农用地环境质量区域差异影响因素分析	(33)
2.4 经济发展类型县级代表区农用地环境的空间变化	(36)
2.4.1 沿海滩涂开发利用代表区农用地环境质量空间变化	(36)
2.4.2 重化工业代表区农用地环境质量空间变化	(40)
2.4.3 中小企业与综合农业代表区农用地环境质量空间变化	(43)
2.4.4 快速工业化代表区农用地环境质量空间变化	(47)
2.5 本章小结	(50)
3 典型代表区农用地重金属的空间分异、来源解析与区划	(51)
3.1 研究思路与方案	(51)
3.1.1 研究技术路线	(51)
3.1.2 分析与评价方法	(52)

3.2	农用地重金属含量的空间分异	(54)
3.2.1	重金属含量的空间结构特征	(54)
3.2.2	重金属含量空间结构的各向异性	(55)
3.2.3	不同产业类型区农用地重金属的含量差异	(57)
3.2.4	不同地貌区农用地重金属的含量差异	(59)
3.2.5	土壤理化参数对农用地重金属含量的影响	(60)
3.3	农用地重金属污染指数及潜在生态风险的空间变化	(65)
3.3.1	单元素污染及潜在生态风险指数的空间分布	(65)
3.3.2	生态风险综合指数的空间分布	(71)
3.4	农用地重金属的来源解析与分离	(72)
3.4.1	因子克立格分析	(73)
3.4.2	重金属来源组分分离	(80)
3.5	农用地重金属污染区划	(84)
3.5.1	土壤污染区划的原则	(84)
3.5.2	研究区农用地土壤重金属含量数据提取与分析	(86)
3.5.3	土壤重金属污染初次聚类分区	(89)
3.5.4	基于孕污环境的土壤重金属污染二次聚类分区	(92)
3.5.5	区划结果分析	(97)
3.6	本章小结	(99)
4	典型代表区农用地重金属不同形态含量的空间变化	(102)
4.1	研究思路与方案	(102)
4.1.1	研究思路	(102)
4.1.2	研究方案	(103)
4.2	重金属有效态含量的空间分布	(104)
4.2.1	重金属有效态含量的总体状况	(104)
4.2.2	重金属有效态含量的区域分异和空间分布格局	(111)
4.3	重金属其他形态含量的空间分布	(126)
4.3.1	重金属各形态含量的总体状况	(126)
4.3.2	重金属不同形态含量的空间变化特征	(129)
4.3.3	土壤重金属不同形态含量的空间分布格局	(139)
4.4	各形态含量的影响因子及其相互关系	(143)
4.4.1	有效态含量的相关影响因子	(143)
4.4.2	其他形态含量的相关影响因子	(148)
4.4.3	各形态含量之间的关系	(152)
4.5	本章小结	(154)
5	典型代表区农用地作物-土壤系统重金属的空间分布	(157)
5.1	研究思路与方案	(157)
5.1.1	作物样品的采集与制备方法	(157)
5.1.2	作物重金属的测定方法	(157)

5.2	作物重金属含量的空间分布	(158)
5.2.1	作物重金属含量空间分布的总体状况	(158)
5.2.2	不同产业类型区作物重金属含量的比较	(167)
5.2.3	不同地貌区作物重金属含量的比较	(172)
5.3	作物重金属风险的空间分布	(176)
5.3.1	小麦重金属污染评价	(176)
5.3.2	水稻重金属污染评价	(182)
5.4	作物-土壤系统重金属富集特征的空间变化	(186)
5.4.1	研究区作物-土壤系统重金属富集特征空间变化的总体状况	(186)
5.4.2	不同产业类型区作物-土壤系统重金属的富集特征	(195)
5.4.3	不同地貌区作物-土壤系统重金属的富集特征	(199)
5.5	作物-土壤系统重金属富集来源关联分析	(202)
5.5.1	作物重金属含量与土壤理化特征的相关性分析	(202)
5.5.2	作物籽粒重金属含量的多元回归分析	(205)
5.5.3	作物籽粒重金属污染的源解析	(206)
5.6	本章小结	(210)
6	典型过程影响下农用地环境的空间变异	(212)
6.1	研究思路与方案	(212)
6.1.1	城市化影响的研究思路与方案	(212)
6.1.2	工业化影响的研究思路与方案	(213)
6.1.3	道路交通影响的研究思路与方法	(214)
6.2	城市化影响下农用地环境的空间变异	(215)
6.2.1	农田土壤重金属含量的描述性统计分析	(215)
6.2.2	土壤重金属含量的空间变异性分析	(216)
6.2.3	土壤重金属含量的克立格插值分析	(222)
6.3	工业化影响下农用地环境的空间变异	(225)
6.3.1	工业企业点源污染影响下土壤重金属污染的空间变异	(225)
6.3.2	工业型城镇面源污染影响下土壤重金属污染的空间变异	(228)
6.4	道路交通影响下农用地环境的空间变异	(233)
6.4.1	交通道路周围土壤重金属含量的描述性统计分析	(233)
6.4.2	土壤重金属含量的空间变异性分析	(234)
6.4.3	土壤重金属含量的克立格插值分析	(239)
6.5	本章小结	(241)
7	典型过程对农用地重金属累积的影响及通量提取	(243)
7.1	研究思路与方案	(243)
7.1.1	采样区设置	(243)
7.1.2	含量分离方法	(243)
7.1.3	积累通量估算	(245)
7.1.4	不确定性估计	(245)

7.2	城市化对农用地重金属累积的影响及通量提取	(246)
7.2.1	重金属含量和土壤理化性质统计特征	(246)
7.2.2	含量分离与空间分布解释	(247)
7.2.3	城市扩张影响下重金属积累通量估算	(252)
7.3	工业化对农用地重金属累积的影响及通量提取	(253)
7.3.1	重金属含量及土壤理化性质统计特征	(253)
7.3.2	不同样带重金属含量差异及与风向的关系	(254)
7.3.3	含量分离及空间分布解释	(255)
7.3.4	积累通量估算	(258)
7.4	交通道路建设对农用地重金属累积的影响及通量提取	(260)
7.4.1	重金属含量与土壤理化性质统计特征	(260)
7.4.2	含量分离与空间分布解释	(260)
7.4.3	交通影响的积累通量估算	(265)
7.5	本章小结	(266)
8	典型地段农用地重金属的时间变化与累积速率	(267)
8.1	研究思路与方案	(267)
8.1.1	城市周边农用地重金属时间变化与累积速率研究方案	(267)
8.1.2	蔬菜基地土壤重金属时间变化与累积速率研究方案	(268)
8.2	城市周边农用地重金属时间变化及其累积速率和通量估算	(269)
8.2.1	研究区城市扩张历史	(269)
8.2.2	土壤重金属累积历史重建	(270)
8.2.3	重金属累积速率与通量估算	(272)
8.2.4	重金属元素的形态变化特征	(274)
8.2.5	重金属元素积累及形态演化的驱动过程	(277)
8.3	蔬菜基地土壤重金属时间变化及其累积速率与通量估算	(282)
8.3.1	有累积趋势的五种重金属元素含量的时间变化	(282)
8.3.2	无累积趋势的十种微量元素含量的时间变化	(290)
8.3.3	土壤重金属有效态含量的时间变化	(296)
8.4	本章小结	(301)
9	农用地环境时空变化与风险预测预警示范研究	(304)
9.1	研究思路与方案	(304)
9.2	区域农用地重金属累积时空过程的模拟	(305)
9.2.1	模型构建与评价方法	(305)
9.2.2	背景含量估算	(309)
9.2.3	重金属输入、输出通量测算	(311)
9.2.4	重金属积累的时空变化模拟	(313)
9.2.5	模型的验证与不确定性分析	(315)
9.3	区域农用地重金属时空变化及风险响应的预测	(321)
9.3.1	研究方法	(321)

9.3.2	土地利用变化模拟与预测	(326)
9.3.3	重金属积累的时空变化预测	(329)
9.3.4	重金属积累的风险响应	(333)
9.3.5	变异与不确定性分析	(339)
9.4	区域农用地重金属时空变化的风险预警与管理	(343)
9.4.1	研究方法	(343)
9.4.2	重金属积累风险预警	(345)
9.4.3	临界负荷量	(347)
9.5	本章小结	(351)
10	农用地环境质量的土地利用对策	(353)
10.1	江苏省农用地环境质量整体态势	(353)
10.1.1	社会经济发展尤其工业化是造成江苏省农用地土壤重金属污染及南高北低格局的根本原因	(353)
10.1.2	产业类型是决定农用地土壤重金属分布、污染种类与风险水平的关键因素	(353)
10.1.3	农用地土壤重金属环境健康风险进一步加剧	(354)
10.1.4	调整产业结构、加强供地管理是扭转土壤重金属污染加剧形势的根本对策	(354)
10.1.5	转变土地利用方式、提升土壤耐污净污能力是减缓土壤重金属污染影响的有效手段	(355)
10.1.6	农用地环境质量管理体系建设是农用地永续、健康利用的基本保障	(355)
10.2	农用地环境质量的土地利用对策	(356)
10.2.1	总体思路	(356)
10.2.2	调整转变经济发展方式,减缓农用地环境压力	(357)
10.2.3	改革完善农地产权制度,稳定土地保护投入	(358)
10.2.4	建设完善农地管理制度,保障农地永续利用	(361)
10.2.5	加强土地规划控制引导,形成农地安全格局	(362)
10.2.6	构建农用地环境监测网,实施动态监测预警	(363)
10.2.7	重视土壤理化性质调控,增强防治的针对性	(365)
	主要参考文献	(367)

1 绪 论

1.1 问题的提出

全球人口、经济的高速增长以及资源的高消耗利用深刻地影响着地球系统的变化,产生了全球变暖、环境污染、土地退化等一系列的全球性的重大问题。过去 100 年来,全球的 Cd、Cu、Pb、Zn、Hg 等重金属年产量分别增加了 10 倍、18 倍、3.6 倍和 14 倍,到 2000 年,年产量分别达到 0.02 百万 t、13.2 百万 t、3.10 百万 t 和 7.20 百万 t^[1,2]。这些蕴藏在矿物中的重金属被暴露于地表环境中,通过物理、化学和生物过程在地球系统中传递,危害到生态系统和人体的健康。重金属元素及其他有害元素污染地球生态系统已成为一个全球性的问题。其中,土壤承担着 50% ~ 90% 的来自不同污染源的重金属污染负荷^[3]。研究土壤重金属污染,特别是人类活动导致的土壤重金属污染的发生机理与迁移转化动态、时空分布规律及其防治和修复措施,是土壤环境质量的重要基础科学问题,不但关系区域环境质量与区域可持续发展,还关系到农业资源面临保障 21 世纪 80 亿 ~ 100 亿人口生存的可持续性^[4,5],已经成为国际研究全球变化的最重要的内容之一^[6~8],也是 21 世纪国土资源管理及环境科学、土壤学、农学和地理科学等学科共同关注的热点问题。部分发达国家随着经济增长方式改变、产业转移以及人为调控的增强,一些重金属元素的排放量已经开始下降。而我国正处出于城市化和工业化高速发展阶段,重金属的污染问题比西方发达国家面临更严峻的挑战。部分地区农用地土壤污染严重,在重污染企业或工业密集区、工矿开采区及其周边地区、城市和城郊地区出现了农用地土壤重污染区和高风险区,由重金属污染引发的农产品质量安全隐患和群体性事件逐年增多,成为影响群众身体健康和社会稳定的重要因素^[9]。

农用地重金属不仅存在于无机物、有机物和生物体中,还与农用地中各种固相物质表面产生复杂的化学反应,其任何迁移和传输都是以一定的形态进行的。从土壤物理化学角度来看,农用地中不同形态的重金属处于不同的能量状态,它们在农用地中的迁移性不同,迁移性大小又决定了重金属的生物有效性和对生态环境的危害程度。因此,土壤重金属生物可给性及其在生物体中的积累能力与该土壤中重金属存在的物理形态和化学形态密切相关,重金属总量虽然能够一定程度上表达土壤重金属的污染程度,但土壤重金属的迁移转化规律、生物有效性、毒性及可能产生的环境效应更大程度上取决于其赋存形态^[10],如 Cr^{3+} 是人体必需的,而 Cr^{4+} 具有高毒性,其生理毒性比 Cr^{3+} 高出 100 倍; As^{3+} 的毒性高于 As^{5+} ,游离态的 Cu 对生物的毒性大于有机络合态的 Cu,其络合物越稳定,毒性就越低。农用地土壤中重金属元素在介质中的存在形态是衡量其环境效应的关键参数,不同形态的重金属被释放的难易程度不同,生物可利用性也不同,产生的环境效应和生态效应也不同,这直接影响到农用地中重金属的毒性、迁移及在自然界的循环。因此,对重金属化学形态的研究将有助于了解重金属在农用地中的分散富集过程、迁移转化

规律及其对植物营养和农用地环境的影响,对预测农用地土壤中重金属的临界含量、生物有效性和生物毒性,进而指导农业生产具有重要的实践意义。与此同时,对重金属赋存形态的研究也可以区分重金属的自然来源和人为来源,这将对土壤重金属污染的综合防治有重要的科学意义。

作为人类赖以生存的自然环境和农业生产的基础资源,农用地土壤本身只能缓慢地净化部分重金属,大部分重金属将在土壤中累积,并在植物体内残留,最终通过食物链进入人体而在人体内累积,从而对人类健康造成很大威胁^[11]。在美国环保署(U. S. Environmental Protection Agency, USEPA)研究的污染物危害人类健康的14种途径中,土壤—植物—人体是主要途径。近年来,随着我国经济的快速发展,人类与土壤的相互作用越来越重要,土壤—植物系统的重金属污染已成为制约农用地可持续利用及农业可持续发展、威胁生态环境质量和危害人体健康的重要因素之一^[12]。因此,针对当前研究对土壤污染问题关注较多,但对作物—土壤系统重金属污染及其关联研究较少的情况,本书除对土壤中的重金属进行研究外,还将对经济快速发展形势下作物—土壤系统中重金属及其空间分布、生物与环境安全、粮食安全问题进行研究。

虽然当前国内外学者对重金属含量的调查、元素化学行为、生态毒理与风险等进行了大量的、细致的研究,不同的国家对土壤、水、食物等重金属元素的含量已经制定了相应的标准。但这些研究大多关注的只是重金属污染在哪里、有何危害等静态问题,多数研究并未将土壤重金属的污染风险与经济发展特征结合起来。对于在社会经济快速发展驱动下,人为活动对农用地土壤重金属的积累过程的微观作用机制如何、有害元素的积累速率有多大、什么时候可能会对生态和人体健康产生危害等关键问题当前仍然难以清楚地回答。因此,这就要求我们整合经济发展的驱动过程、重金属毒理及健康效应的知识,去模拟农用地重金属污染的发生发展过程及其风险响应机制。这对农用地环境污染的风险管理及环境可持续发展有重要的理论和现实意义。

处于长江三角洲地区的江苏省,土地肥沃,物产富饶,被称为“鱼米之乡”,是我国著名的传统农业和现代农业的生产基地,其土壤质量状况直接影响到区域农业的可持续发展和人民群众的身体健康。与此同时,长江三角洲是我国最大的经济核心区,城市化水平很高,工业发达,但人类活动也对农用地土壤环境造成了巨大的影响。近年来,区域城市化进程的不断加快。各种企业的快速发展、工业“三废”和汽车尾气的大量排放、城市生活垃圾和污泥的不合理利用、含重金属的农药和化肥的不合理施用等都使得该区农用地环境质量形势严峻,威胁着农产品品质^[13~16]。及时了解、分析和跟踪国内外土壤重金属污染研究的最新发展方向和前沿,开展该地区农用地土壤重金属污染的研究和应用工作,并针对经济快速发展的城市化、工业化的特点选取相应的典型代表区,对其土壤重金属的污染现状及其空间变异规律进行深入的调查和研究,探讨与食物链密切相关的重金属时空分布、影响因素及其迁移转化规律,并进行污染的风险评价和预测预警,提出相应的改良措施和对策,为该地区农用地可持续利用和区域可持续发展提供科学依据和技术支撑,具有十分重要的实践意义。

1.2 研究内容与技术路线

1.2.1 研究的主要内容

综上所述,本书将在“江苏省农用地资源分等研究”成果的基础上,依托江苏省国土科技项目“江苏农用地质量动态监测”,以及国家基础研究规划项目(973项目)课题“长三角典型区土壤、作物中重要化学物质的时空分布规律和风险预测”的支持,以江苏省典型区为例,开展经济快速发展形势下农用地环境的时空变化、预测预警与土地利用对策的应用性基础研究。主要研究内容如下所述。

1.2.1.1 经济快速发展形势下江苏省农用地环境质量空间变化的总体格局

本书将江苏省农用地分等省级标准样地和典型代表区农用地质量加密监测点作为样点(共51个),通过采样测试分析各样点农用地土壤剖面各层次重金属含量数据,并结合有关面上的表层土壤样品测试数据,由“点一面一区”从省域、苏南苏中苏北三大区域、经济发展类型县级代表区三个空间尺度来研究比较江苏省农用地环境质量的空间分布状况,分析农用地污染的分布规律,探讨污染分布形成的影响因素。

其中,省域尺度重点分析重金属含量的空间分布格局;苏南、苏中、苏北三大区域尺度,重点比较农用地环境质量的区域差异,揭示其主要污染重金属元素,探讨农用地环境质量区域差异的影响因素;经济发展类型县级代表区尺度,重点研究不同类型经济发展影响下农用地重金属污染的分布规律。

1.2.1.2 经济快速发展典型代表区农用地重金属的空间分异、来源解析与区划研究

本书选择经济快速发展、受高强度人类活动尤其是快速工业化影响的D市为典型代表区,按产业类型在企业周边农用地进行野外土壤样品的采集,测试分析其重金属含量及土壤理化参数,分析各重金属含量的空间结构特征及其空间分布格局,分析不同产业类型区和地貌区土壤重金属的差异,以及土壤理化参数对农用地重金属的影响,探讨产业活动、地貌类型和土壤理化性质对土壤重金属含量和空间分布的影响,并对农用地重金属的来源解析与分离进行研究。然后在此基础上,对研究区农用地土壤重金属污染区划进行探讨,以期更好地为快速工业化和城市化地区农用地的持续利用与资源环境的科学管理提供理论依据与参考。

1.2.1.3 经济快速发展典型代表区农用地作物-土壤系统以及不同形态重金属的空间分布研究

根据对经济快速发展地区作物-土壤系统重金属及其现实的空间分布状况、发展变化趋势并没有一个清楚的认识和了解的情况,本书选取D市为研究区,根据实测数据和相关资料,对该地区作物-土壤系统重金属含量、风险及空间变化进行研究。

形态研究方面,选取D市作为研究区,首先从产业类型、母质和土壤类型等分布状况进行土壤样品采集,并测定重金属的不同形态含量;然后通过地统计学与GIS技术

相结合,采用普通克立格法、协同克立格法和因子克立格法探讨单个和多个重金属不同形态含量的区域分异,揭示其空间分布格局,并应用空间因子分析方法揭示引起这种分布格局的成因和污染来源;最后分析研究各形态重金属含量的影响因素,从而为农用地土壤重金属生态风险预测、评价、污染调控治理,土地资源的可持续利用及合理管理提供科学依据。

1.2.1.4 经济快速发展典型过程、典型地段农用地重金属的空间变异与累积变化研究

本书主要针对城市化、工业化和道路交通建设这三种典型过程,开展经济快速发展影响下农用地环境的空间变异研究。结合趋势分析和多元统计分析提出含量分离方法,将土壤重金属元素含量分人为来源分量、自然背景分量、残差三个组成分量。利用该方法来研究道路交通发展过程、工业化过程、城镇化过程中农用地土壤重金属积累的空间格局及其排放通量的空间表达方程,旨在定量表达典型经济发展过程对重金属积累的贡献。

典型地域研究方面,选取C市城市周边及已有50年以上种植历史的蔬菜基地,作为经济快速发展的典型地域代表区,开展近50年来高强度人为活动作用下农用地土壤重金属高时间分辨率的时间变化与积累速率研究。

1.2.1.5 经济快速发展下农用地环境时空变化与风险预测预警示范研究

以C市城市周边为研究示范区,从微观视角研究城市化、工业化、道路交通建设背景下的农用地土壤重金属积累过程;从时间维研究经济发展驱动下土壤重金属的积累历史、现状以及未来趋势;从空间维研究人为活动作用下土壤重金属积累的空间格局演化过程,关注重金属元素在社会经济系统与自然生态系统中的相互作用机制,探究经济增长及土地利用变化对重金属积累的驱动规律,预测经济快速发展背景下农用地重金属积累的时空变化过程,并对农用地重金属积累的生态和健康风险进行预测预警。

1.2.1.6 农用地环境质量管理的土地利用对策

在前述研究的基础上,总结经济快速发展下农用地环境与经济发展的关系、农用地环境质量变化的时空过程与特征、农用地环境质量变化的未来趋势与潜在风险,从土地利用及其管理、调控方面,提出改善农用地环境的对策措施。

1.2.2 研究的技术路线

综上所述,项目将从省域、苏南苏中苏北三大区域、县级典型代表区、典型地段四个空间尺度,城市化、工业化、道路交通建设三个经济快速发展典型过程,土壤、作物两种介质,全量、有效态、弱酸溶解态、可还原态、有机结合态、残渣态六个重金属含量指标,污染指数、生态风险指数、健康风险指数三个重金属影响评价指标,基于GIS、RS以及数值计算技术,以江苏省为例,开展经济快速发展背景下农用地环境的时空变化、预测预警和土地利用对策研究。研究的技术路线见图1.1。

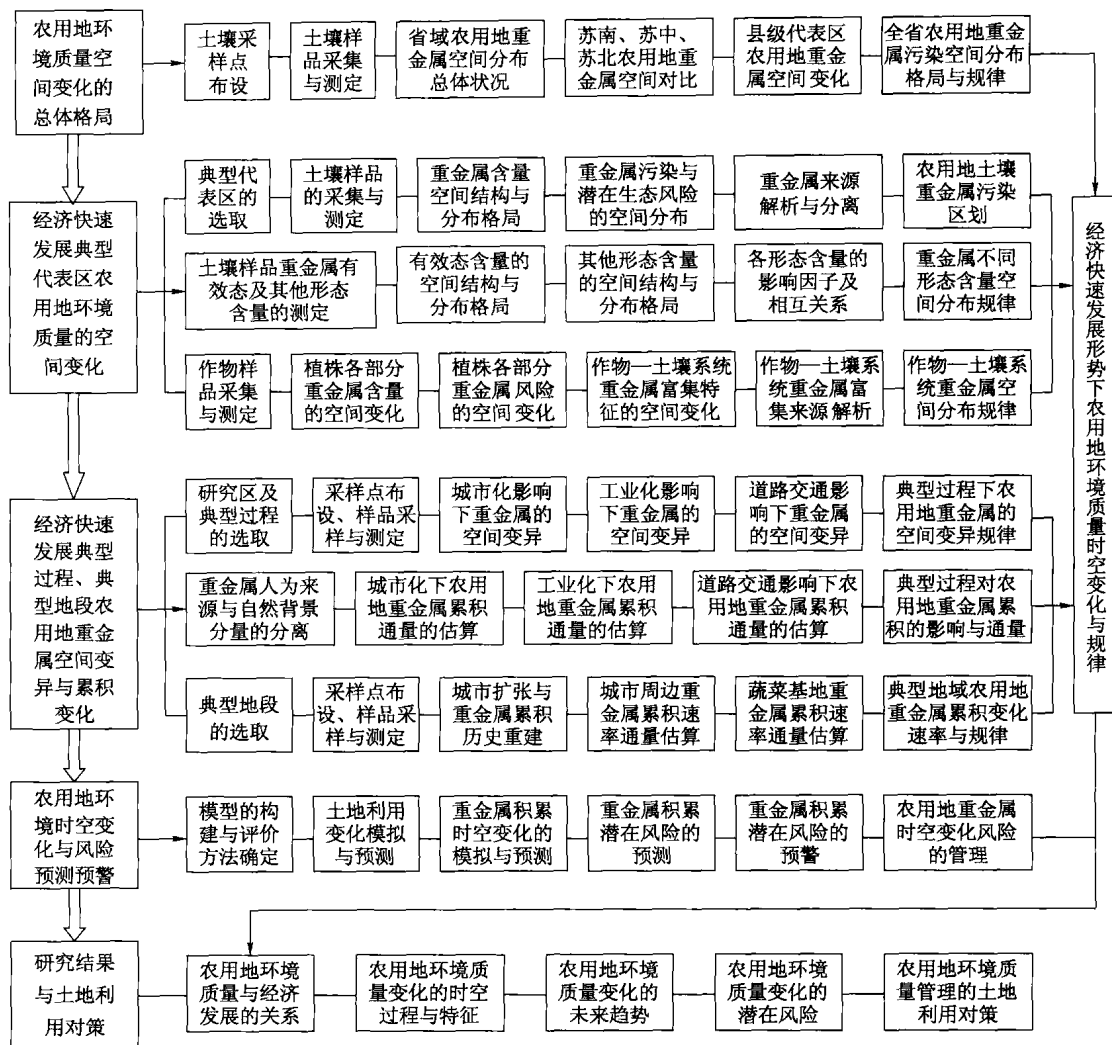


图 1.1 研究的技术路线

1.3 样点采集与测试

1.3.1 样点布设与采集

本书将按省级尺度和典型区域两个尺度进行样点布设。省级尺度样点由江苏省农用地分等省级标准样地和省级加密样点共 51 个样地组成。典型区域是研究的重点，本书选择了代表沿海滩涂开发的 A 市、重工业类型的 B 地区、中小企业与综合农业类型的 C 市和快速工业化的 D 市四个典型区域，共计土壤采样点 442 个，植物样点 63 个（各典型区样点的部分在相关章节中具体介绍）。

省级尺度样点主要按发生层采样。按土壤发生层自下而上取样，避免取上层样品对下层土壤的影响。典型区样点除工业电源污染样点按土壤剖面外，其他大部分采用 5 点混合