



青年科技创新人才学术文库

GIS支持的土壤重金属污染 评价与分析

李 向 李玲玲 著

 郑州大学出版社



青年科技创新人才学术文库

GIS支持的土壤重金属污染 评价与分析

李 向 李玲玲 著



郑州大学出版社

郑 州

图书在版编目(CIP)数据

GIS 支持的土壤重金属污染评价与分析/李向,李玲玲著. —郑州:郑州大学出版社,2012.6

ISBN 978-7-5645-0844-9

I. ①G… II. ①李… ②李… III. ①地理信息系统-应用-土壤污染-重金属污染-污染物分析 IV. ①X53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 095201 号

郑州大学出版社出版发行

郑州市大学路 40 号

出版人:王 锋

全国新华书店经销

郑州文华印务有限公司印制

开本:787 mm×1 092 mm 1/16

印张:9.25

字数:222 千字

版次:2012 年 6 月第 1 版

邮政编码:450052

发行部电话:0371-66966070

印次:2012 年 6 月第 1 次印刷

书号:ISBN 978-7-5645-0844-9

定价:30.00 元

本书如有印装质量问题,由本社负责调换

前言

重金属的污染与危害已成为人类所面临的重要环境问题之一,尤其是土壤中重金属污染。这是由于随着现代城市化进程和工业生产的迅速发展,工业“三废”排放量逐年增加,含重金属的化肥、杀虫剂和除草剂被大量使用,使土壤受到不同程度的重金属污染。重金属污染会影响土壤的正常功能,严重威胁着其上生长的植物农产品的安全,从而对环境安全造成威胁。

随着环境科学、土壤科学的发展,土壤重金属污染研究越来越受到人们的广泛关注。研究土壤、植物、大气、水等环境要素中重金属循环和累积的过程及规律,不仅具有重要的理论价值,而且对防治重金属污染、保障人体健康具有实际指导意义。

在国土资源大调查项目“不同景观城市的生态地球化学环境调查与风险评估方法技术研究(项目编号 1212010660406)”的支持下,国家地质实验测试中心及有关单位开展了“典型地区土壤地球化学动态监测及预警预报”的研究。

国家地质实验测试中心刘晓端研究员所带领的课题组在城市环境地球化学调查技术方法研究方面作出了重要贡献。该研究是生态地球化学系统研究的一部分,所研究的城市生态系统的主要环境要素包括地质背景、水文地质、地理环境、土壤母质、社会环境等。在徐清博士的推荐下,郑州航空工业管理学院李玲玲博士所带领的“智能信息处理”研究团队参加了课题组的部分研究工作,利用遥感、地理信息系统(GIS)及生态地球化学技术对工业城市大气、土壤、水环境进行了监测,完成了“土壤地球化学环境重金属污染动态监测及预测/预警系统”的研究和开发。

本书介绍了“土壤地球化学环境重金属污染动态监测及预测/预警系统”研究工作的成果,主要内容包括土壤重金属污染评价技术、GIS 支持的土壤重金属污染评价、土壤重金属污染数据的空间分析、多种土壤重金属污染评价模型、土壤重金属污染预测模型、典型应用介绍等。

本书将 GIS 技术与土壤重金属污染研究相结合,实现了评价及预测模型。对于环境工程及评价人员而言,提供了方便有效的环境质量评价模型和软件平

台。对于 GIS 开发人员而言,从工程应用开发的角度介绍了以特定行业应用为导向的 GIS 软件二次开发方法。

本书在撰写过程中引用了大量的国内外相关领域的最新成果和资料,在此向这些专家、学者致以衷心的感谢。本书第一章至第六章、第十章由李向撰写;第七章至第九章、第十一章、第十二章由李玲玲撰写。最后,由李玲玲对全书进行审定。书稿的写作虽然已经数易其稿,但是由于作者能力和时间的有限,不足之处恳请广大读者批评指正。

李 向

2012.3

目 录

第 1 章 土壤重金属污染评价技术	1
1.1 重金属污染及其危害	1
1.2 土壤重金属污染评价方法	9
1.3 土壤样品的采集和制备	14
1.4 常见的微量元素分析仪器	16
第 2 章 GIS 支持的土壤重金属污染评价	17
2.1 土壤重金属污染评价系统	17
2.2 GIS 二次开发的准备	21
第 3 章 GIS 基本功能的实现	34
3.1 地图功能	34
3.2 选择功能	39
3.3 查询功能	44
3.4 其他功能	45
第 4 章 土壤重金属污染数据的统计分析	50
4.1 基本的统计分析方法	50
4.2 常用统计图	54
4.3 土壤重金属数据统计图	55
第 5 章 土壤重金属污染数据的空间分析	58
5.1 等值线和等值面	58
5.2 组件式土壤重金属剖面曲线模拟	63
5.3 土壤剖面线拟合	67
第 6 章 基于国标的土壤重金属污染评价	69
6.1 重金属污染单因子评价	69
6.2 重金属污染内梅罗评价	72
6.3 评价结果的等值线显示	74

第 7 章 基于神经网络的土壤环境质量评价	75
7.1 神经网络基本原理	75
7.2 BP 神经网络模型	78
7.3 BP 神经网络评价土壤环境质量	80
第 8 章 基于灰理论的土壤环境质量评价	86
8.1 灰理论基本原理	86
8.2 GRA 模型	87
8.3 GRA 评价土壤环境质量	91
第 9 章 基于数据挖掘的土壤环境质量评价	94
9.1 C 均值聚类算法	95
9.2 谱聚类算法	99
第 10 章 对评价方法的分析	105
10.1 对内梅罗指数方法的分析	105
10.2 对神经网络方法的分析	106
10.3 对灰色关联方法的分析	107
10.4 对数据挖掘方法的分析	109
第 11 章 典型应用	110
11.1 应用实例一	110
11.2 应用实例二	118
第 12 章 系统使用方法	121
12.1 工作空间的使用	121
12.2 GIS 空间分析的使用	124
12.3 专题分析的使用	125
12.4 评价及预测模型的使用	132
12.5 数据管理	138
参考文献	139

第1章

土壤重金属污染评价技术

土壤是连续覆盖在地球陆地表面具有肥力的疏松物质,是一种随着气候、生物、母质、地形和时间等因素发生变化的自然资源。典型的土壤随深度呈现不同的层次,通常将地面植被或覆盖物去除后,深度为0~20 cm的土壤称为表层。表层也称淋溶层,是土壤中生物作用最活跃的一层,有机质大部分在这一层,金属离子和黏土颗粒在此层的淋溶过程也最明显。

土壤污染是指人类活动产生的污染物进入土壤并积累到一定程度,超出了土壤自我吸附、分解、迁移、转化的能力,进而引起土壤自然功能失调、土壤质量恶化的现象。土壤污染物质的主要来源是过度耕作生产、工业废水、生活污水、污染气体以及固体废弃物。土壤污染具有隐蔽性、滞后性、累积性、持久性、难治理的特点。

土壤污染,尤其是土壤中重金属污染物的富集,将会对农作物、环境以及人体等造成很大的危害,例如导致种植物产品品质下降,造成严重的经济损失,生物食用后引发癌症及其他疾病,导致生态环境系统恶化。

1.1 重金属污染及其危害

日益严重的环境压力已经危及人们的生活质量和身体健康,尤其是重金属污染对人类生存及生态安全的威胁非常大。

1.1.1 重金属污染

重金属是指相对密度大于4或5的金属,约有45种。重金属一般以天然浓度广泛存在于自然界中,铜、铅、锌、铁、锰、镉、汞、钨、金、银等是较为常见的重金属。这些重金属中,锰、铜、锌等是生命活动所需要的微量元素,但是大部分如汞、铅、镉等并非生命活动所必需。特别要说明的是,所有重金属,只要超过一定浓度,都对生物体有毒害作用。由于人类对重金属的开采、冶炼、加工及商业制造活动日益增多,造成不少重金属如铜、铅、汞、镉等进入大气、水、土壤中,造成严重的生态环境污染。

重金属污染指由重金属或其化合物造成的环境污染,主要由采矿、废气排放、污水灌溉和使用重金属制品等人为因素所致。随着城市化进程的急速进展,各种产业竞相掠夺环境资源,这一趋势加剧了工业、生活废弃物的排放及城市污染。此外,人们生活消费形

2.5 支持的土壤重金属污染评价与分析 2

式的多样化带来农业种植方式的巨大变化,建设用地逐年增加、耕地面积锐减导致农药过多使用和化肥偏施等掠夺土地资源的现象加重,不可避免地加重了城市环境的重金属污染。

1.1.2 重金属污染的危害

重金属污染存在于水体、土壤、大气和固体废物中。以各种化学状态或化学形态存在的重金属,在进入环境或生态系统后就会存留、积累和迁移,对环境和人类健康造成很大的危害。重金属污染的危害程度取决于重金属在环境、食品和生物体中存在的浓度和化学形态。

大气颗粒物中,重金属是重要成分之一,主要来源于机动车尾气的排放、金属的冶炼、矿山的开采、建筑材料生产所产生的气体和粉尘等。除汞以外,重金属基本上是以气溶胶的形态进入大气,城市大气中的重金属通过呼吸作用和皮肤吸收进入人体,可导致高血压、心脏病发病率的上升,其中钒含量的增加与某些癌症的死亡率有着相关性。此外,大气中的重金属还经过自然沉降和降水进入土壤。

水体中的重金属主要来源于工业生产的废水。即使水体中重金属浓度再小,也可在藻类和底泥中积累,被鱼和贝的体表吸附,产生食物链浓缩,从而对人类产生危害。例如,日本的水俣病和骨痛病,前者由汞污染引发,后者由镉污染引起。水俣病是因氢氧化钠制造工业排放的废水中含有汞,再经生物作用转变成有机汞所造成的;骨痛病是由炼锌工业和镀镉工业所排放的镉所致。

土壤中重金属累积的外源因子很多,包括化肥和农药的使用、污水灌溉、污泥、城市垃圾、农业和工业废弃物排放、大气沉降等。已有研究表明,汞、铅等在一些区域,特别是工业集中或矿业发达地区的富集趋势已十分明显。进入土壤-植物系统中的重金属,在土壤中移动性很小,不易随水淋滤,不为微生物降解,通过食物链进入人体后,潜在危害极大。例如,土壤中汞能在植物体内累积,对植物产生毒害,引起植物汞中毒,严重情况下引起叶子和幼蕾掉落。经由食物链传递的重金属将直接危害人体健康。汞化合物侵入人体后,经血液循环迅速弥散到全身各器官,引起肾脏损害。又如,土壤中过量的镉会对植物的生长发育产生明显的危害,能使植物叶片受到严重伤害,生长缓慢,植株矮小,根系受到抑制,造成作物产量降低。种植在这样土壤之上的大米、蔬菜受到污染,被人食用后,会引起骨痛病,严重损伤肾小管,出现糖尿病,造成肺部损害、心血管损害,甚至致癌、致畸、致突变。因此,应特别注意防止重金属对土壤的污染。

由于大气-水-土壤生态系统是一个循环体系,所以有关陆地生态系统重金属污染物循环迁移累积规律的研究已成为环境科学领域的热点问题。据相关报道,许多工业发达国家,大气沉降对土壤系统中重金属累积贡献率在各种外源输入因子中排在首位。例如,日本的汽车尾气排放的铅经大气扩散等过程进入环境中,造成地表铅的浓度显著提高,致使近代人体内铅的吸收量比原始人增加了约 100 倍,严重损害了人体健康。

世界卫生组织和美国疾病控制与预防中心的研究都显示,一旦重金属摄入过量,不仅会引发胃病、恶心、呕吐、腹泻等症状,同时也会引发血液、肺、肾、脑、胰腺以及骨骼等

综合性疾病。此外,它还可能使得人类的免疫系统和神经系统受到损害,直至死亡。尤其是儿童以及未出生的婴儿,受到的伤害就更大。特别需要指出,幼儿及青少年接触重金属所造成的健康危害极有可能持续到青少年及成年阶段。例如,儿童血铅中毒,其最主要的影响是造成孩子的智力发育及生长发育滞后或停止,这种危害是不可逆转的。血铅中毒的临床表现有食欲不振、胃疼、失眠、学习障碍、便秘、恶心、腹泻、疲劳、智商低下、贫血等。重金属铅对人体的危害还远不止于此,人体铅中毒后,大约 10% 的铅存在于血液中,虽然这部分铅可以通过排铅治疗取得较好的效果,但是 90% 的铅存在于骨骼系统,毒性持久。在我国,血铅超标事件已经引起政府和公众的极大关注。2011 年 5 月,中国环境保护部公开通报了浙江湖州德清血铅超标事件查处情况。据通报,海久电池股份有限公司周边多名儿童及成人被检测出血铅超标,其中成人 233 人,儿童 99 人。

美国疾病控制与预防中心定期公布全国性的化学污染与人体健康报告,其中就包括各种重金属的健康危害及在人体中存在的剂量。我国于 2011 年 6 月启动“环境重点污染物健康危害的监测评价与控制专项”,由国家投入总经费 2 685 万元,其中关于重金属的项目投入为 800 万元,首次开展环境重金属检测技术标准化与人体负荷监测。该专项的目标是建立重金属污染与健康危害监测数据库。

综上所述,重金属污染已成为人类所面临的重要环境问题之一,尤其是土壤重金属污染。随着现代城市化进程的加快和工业生产的发展,工业“三废”排放量增加,含重金属的化肥、杀虫剂和除草剂被大量使用,使土壤受到不同程度的重金属污染。重金属污染会影响土壤的正常功能,严重威胁着其上生长的植物农产品的安全,对环境安全造成威胁。生态环境四大要素中的大气受到污染后,其悬浮物沉降是土壤中重金属的重要来源。水体中的重金属通过生态圈的物质循环,影响重金属在土壤、大气中的含量变化。植物生长带来重金属迁移,被人类食用而直接危害人体健康。土壤中重金属不断积累,重金属在粮食、蔬菜等农产品中大量富集,对人体的伤害极大。土壤中的重金属天然分布十分广泛,多具有不可逆性,不能降解,但可以转化为金属有机物或在有些生物中高倍富集,可能经多种途径进入人体,并在人体内蓄积毒性。因此研究土壤、植物、大气、水等环境要素中重金属循环和累积的过程及规律,不仅具有重要的理论价值,而且对防治重金属污染、保障人体健康具有实际指导意义。

1.1.3 重金属污染的国内外研究现状

国内的污染生态学 (Pollution Ecology) 和国外的环境保护生态学 (Ecology for Environment Protection),都把重金属作为环境中的一种污染物优先进行研究。重金属污染研究领域很多,主要研究内容有重金属元素形态分析、生物有效性分析、生态风险评估、植物修复、植物富集等。各方面的研究,都有相应的分析和评价方法。

在这些研究中,由于土壤是人类赖以生存的基本自然资源,土壤污染中的重金属污染尤其需要人们的关注,得到了深入和广泛的研究。就我国而言,“十二五”规划提出了“提高生态文明水平”的主题和“加快建设环境友好型社会”的主线,根据生态友好和可持续发展的战略需求,工作重点之一是解决当前国内水域重金属污染、土壤重金属污染、

GIS 支持的土壤重金属污染评价与分析
.....
4

大气重金属污染等问题。下面对国内外土壤重金属方面的研究现状进行简要概述。

1.1.3.1 对土壤重金属含量的研究

国内外已有研究中,对土壤重金属污染的研究主要侧重于自然过程和技术角度。从 20 世纪 50 年代开始,发达国家相继发生了由化学污染引起的严重危害事件,金属污染监测成为必要,重金属的分析技术应运而生。

对土壤重金属含量进行监测的方法很多,主要分为异位监测法和原位监测法。

土壤重金属异位监测法是比较传统的监测方法,其监测的时间相对较长,精度较高。其一般步骤是样品田间采样,然后进行实验室分析和数据处理。实验室分析方法分为化学分析法和仪器分析法两种方法。

土壤重金属原位监测是指在不影响被测物状态及周围环境的前提下,对目标物含量进行实时在线跟踪测定。其思路多为利用全球定位系统定位被测区域,依靠原位分析技术,结合遥感技术获取光谱信息,通过对光谱信息整合计算获得被测物含量,进而用地理信息系统技术确定重金属空间分布特征。在土壤重金属原位监测中,将土壤遥感、全球定位、空气传播、卫星遥感、光学侦测和修正(LIDAR)、地理信息系统和数据库管理系统、处理多维环境数据的计算力量、先进的多元统计和地理统计方法等多学科整合,逐步实现连续、高密度监测,方便了土壤特性在时间和空间分布上的准确映射。目前支持原位分析法的技术主要有三大类,即高光谱分析技术、环境磁学技术和生物量间接测定技术。

最早开始收集世界各地大量土壤分析数据的是 Swaine,他在 1955 年首次概述了世界土壤微量元素的平均含量,同年苏联学者对岩石、土壤等物质中元素的丰度做了进一步研究。

1961 年美国地质调查局(United States Geological Survey)开始对美国本土的土壤开展背景值的调查研究工作。1972 年美国环境质量委员会(Council on Environmental Quality)给出的报告指出,美国平均每人每天的镭摄取量为 0.02 ~ 0.1 mg/kg。1976 年美国环境保护署(United States Environmental Protection Agency,负责维护自然环境和保护人类健康不受环境危害影响的独立行政机构)根据土壤阳离子交换量的不同,制定了重金属的最高容许含量。

1.1.3.2 对土壤重金属污染或环境质量评价方法的研究

环境质量评价就是依据一定评价标准和方法对一定的区域内的环境质量进行评定和预测。由于环境质量评价涉及评价指标的选择、评价方法的确定以及评价结果的展示等诸多方面,因此,被用于环境质量评价的数学方法相对较多,但仍没有一个全面、统一的评价指标体系和定量方法。

土壤环境质量评价属于环境质量评价的大范畴,在环境日益恶化的今天,具有非同一般的作用和意义,是当前环境研究的一项重要内容。

20 世纪六七十年代,国外关于土壤重金属污染的评价取得了重要进展。1969 年德国科学家 Muller 提出了地积累指数法评价,并在欧洲被广泛采用。1980 年瑞典科学家 Hakanson 基于元素丰度和释放能力的原则,提出了潜在生态危害指数法,广泛地应用于分析评价重金属的潜在生态影响。

国内外学者针对不同地区已经开展了很多土壤环境调查及土壤环境质量评价方面的研究。例如,1998年,澳大利亚科学家 Lottermoser 等对 New South Wales 东北部的 Gulf Creek 铜矿区进行环境地球化学调查,研究结果表明,该地区土壤中重金属 As、Cu、Pb 和 Zn 的含量明显高于背景值。2002年,土耳其科学家 Sponzaa 和 Karaoglu 对 Aliaga 金属工业区的环境地球化学质量进行了调查,对该地区的土壤、水体、水系沉积物中多种重金属的含量都进行了调查研究,并使用污染指数法评价了该区域的土壤环境质量。

我国自 20 世纪 80 年代开始开展土壤污染监测和治理技术方面的研究工作,对重金属背景值也有较多研究。1982年,国家科委将土壤背景值调查研究列入“六五”重点科技攻关课题,选择湘江谷地和松辽平原开展了土壤环境背景值研究。早期研究的区域范围仅限于几个重点城市。1986年国家再次将这一课题列为“七五”重点科技攻关课题,调查范围则扩大到了除台湾省以外的全国各省区。1988年,中国完成了全国土壤背景值的调查研究工作,出版了《环境背景值数据手册》、《中国土壤元素背景值》等专著。

随着科技的迅猛发展,很多研究对土壤环境质量进行了评价,各种评价方法层出不穷,各具特色。从评价方法学的角度来说,对这些评价方法可以进行归类,主要有:①数理统计法,这是早期的环境质量综合指数法,是采用特定的统计方法对原始数据鉴别的综合性指标法。土壤质量指数、污染物标准指数等都是具有代表性的数理统计法。②层次分析法,是将评价主体分成若干层次,再把同一层次各因子以上一层因子为准则,进行比较,并计算出权重。由于该法较成熟,且较为科学,因此被广泛采用。③主成分分析法,就是采用最少量的综合指标,客观地确定其权重。对土壤有效态、有机质或某种重金属进行研究和评价,多用主成分分析法。④模糊数学法,主要是应用模糊综合评判模型,对环境质量进行综合评价。其优点是采用模糊的、不确定的、综合的指标来评价环境质量。⑤灰色关联法,被广泛应用于各领域。灰色关联法具有良好的评价环境质量等级的优越性。⑥BP 神经网络法,被认为具有运算速度快、容错能力和自学能力强等特点,该法不仅综合评价各个指标的作用,还特别表现了主要影响因素的作用,具有较好的评价效果。

从 20 世纪 80 年代末开始,我国对土壤重金属污染问题开始进行较为深入的研究。1989年,吴玉燕等报道了沈阳张士灌区土壤 Cd 污染状况,揭开了中国土壤重金属污染调查的序幕。1992年,夏增禄提出了中国主要土类的 Cu、Pb、Cr、As 4 种重金属元素的土壤临界含量。1995年我国颁布了《中华人民共和国土壤环境质量标准》(GB 15618—1995),为进行土壤环境质量评价提供了重要依据。1996年,张民等研究了我国菜园土壤中某些重金属元素的含量与分布,为预测和防治菜园土壤的重金属污染提供了依据。其他相关研究也很多,特点是针对某一区域,侧重某种重金属的研究。例如,2003年,郑袁明等以北京市为例,研究了 Cr 和 Ni 两种重金属的空间分布,并对区域的土壤环境质量做出评价。2004年,王素琴对江苏典型农业区的土壤进行了本底调查,并使用单项污染指数法对该地区的土壤环境质量做出评价。相对来说,已有研究中对土壤重金属污染空间分布的研究较少。

1.1.3.3 对土壤环境质量标准制定的研究

在土壤环境质量标准制定及研究方面,许多国家的土壤标准采用“基于风险的标

支持土壤重金属污染评价与分析
6

准”。例如,1996年,美国环保总署颁布了旨在保护人体健康的土壤筛选导则(Soil Screening Guidance,SSG),还颁布了旨在保护生态受体安全的土壤生态筛选导则(Ecological Soil Screening Guidance,ESSG),美国许多州都据此制定了各州的土壤质量指导值。2002年,英国环境署颁布了考虑不同土地利用方式下人体健康暴露风险而制定的土壤质量指导值。2009年,英国环境署修订后发布了最新的污染土地健康风险评估的技术方法。1994年,荷兰研究提出了开展污染土壤健康风险评估的技术方法,探讨了人群对土壤污染的暴露途径及模型评估方法,并将该方法用于保护人体健康的土壤基准的制定,2008年荷兰环境部修订印发了最新的污染土壤风险管理和修复技术文件。此外,加拿大、澳大利亚、法国、瑞典、日本、越南、丹麦等国,也都制定了各自国家的土壤质量保护值。

有专家指出,目前国际上对土壤质量指导值或者说标准的命名方式各不相同。例如,加拿大谓之土壤质量指导值,美国谓之土壤筛选值,英国谓之土壤指导值,澳大利亚谓之土壤调研值,荷兰谓之目标值和干预值等。各国命名中均未直接包括“环境”二字,但实际却涵盖了两方面内容:一方面,为了保护土壤的生态功能,指导值基于生态毒理数据制定;另一方面,为了保护人体暴露于土壤污染物的无显著健康风险,指导值基于人体的健康暴露风险评估制定。

鉴于问题的复杂性和一些学术争议,我国从2006年开始,投入大量人力财力,用很长的时间,获得了全国大范围的土壤污染基础数据,并正在对相关标准草案进行整理和修改,以期得到科学、客观的标准。

1.1.3.4 对土壤重金属修复技术的研究

土壤重金属污染的修复方法主要有物理化学法、化学修复法、微生物修复法和植物修复法等。

物理化学法主要通过化学固化、土壤淋洗等过程修复。化学固化即在土壤中加入固化剂,改变土壤的理化性质,使重金属被吸附在土壤中或者形成沉淀,从而一定程度上降低重金属的生物有效性,降低毒性。但是重金属在固化之后仍滞留在土壤中,并且土壤中必需的化学元素也因固化剂的作用发生沉淀,土壤性质很难恢复。土壤淋洗主要是用能提高重金属可溶性的试剂,如有机或无机态酸、碱、盐和螯合剂等,将土壤固相中的重金属转移到液相中从而修复污染土壤。

化学修复法主要包括化学改良和有机质改良,通过向土壤中添加一些改良剂,使土壤的pH值改变,从而减轻重金属污染程度。例如,石灰就是一种很好的改良剂。常用的改良剂还有磷酸盐、硅酸盐、海泡石等。

微生物对重金属的生物富集主要表现在胞外络合、沉淀以及胞内累积。一些微生物如动胶菌、蓝细菌、硫酸还原菌以及某些藻类,能够产生具有大量阴离子基团的胞外聚合物(如多糖、糖蛋白等),与重金属离子形成络合物,从而将其从土壤中有效去除。微生物通过对重金属进行生物氧化与还原、甲基化与去甲基化以及重金属的溶解度和有机络合配位降解转化重金属,改变其毒性,从而形成某些微生物对重金属的降解机制。中科院微生物所的研究人员在实验中发现,烟草头孢霉F2对汞量减少有明显作用。

植物修复法主要指使用植物使重金属固定、挥发及提取。植物在土壤重金属修复中有着重要的作用。耐重金属污染的植物及其根系微生物能够分泌物质使重金属在其根、

茎、叶、果实等部位吸附整合形成沉淀,从而固定土壤中的污染物。Baker 等人在英国的 IACR-Rothamsted 试验站进行了植物积累的首次田间试验,结果显示,*T. carulercens* 在净化 Zn 污染土壤方面有极大的成效。目前,国际上报道的超积累植物已有 500 多种,例如苎麻对土壤中的汞具有良好的吸附作用,蜈蚣草对土壤中的砷有良好的吸收能力。植物修复技术是一项有前途的新技术,与其他修复技术相比其费用较低。

目前寻找治理重金属污染的生物修复途径,主要是从对土壤重金属超富集和非富集作物两个方向着手找寻,但从目前来看,国内科学家还没有找到一种经济、有效、适合大规模农田治理的科学修复模式,大多数土壤重金属治理模式还处于实验室摸索阶段。

所有的污染修复手段起到的都仅是补救作用,不可能将环境完全恢复到污染前的状态。因此,对待重金属污染最关键的应该是从源头着手,加强对相关污染企业的管理,从总量上控制重金属污染物的排放;同时应抓紧制订重金属污染综合整治方案,以更加积极地应对突发性重金属污染事件。

1.1.3.5 我国土壤污染状况专项研究

2006 年 7 月,我国投入了 10 亿元专项资金,开展全国土壤污染状况调查工作。这具有十分重要的现实意义,是制定土壤污染防治对策、做好土壤污染防治工作的基本前提。该专项研究历时 3 年半。其目的是通过分析土壤中重金属、农药残留、有机污染物等项目的含量及土壤理化性质,结合土地利用类型和土壤类型,摸清全国土壤环境状况,掌握土壤污染情况,研究基于土壤环境风险的土壤环境质量评价。截至 2010 年底,全国共采集土壤、农产品等各类样品 213754 个,获得有效调查数据 495 万个,点位环境信息数据 218 万个、照片 21 万张,制作图件近 11000 件,建成全国土壤污染状况调查数据库和样品库,数据总量达 1 TB,入库样品数量为 54407 份。该专项还组织完成全国土壤污染状况调查总报告和专题报告。针对重金属类、石油类、多氯联苯类、化工类污染场地和污灌区农田土壤等开展试点研究,完成 12 项试点工程、18 份研究报告和 7 部污染土壤修复技术指南草案,最后完成了《土壤保护战略研究报告》。

我国土壤污染状况调查工作还组织开展了土壤污染防治立法调研,起草了《土壤污染防治法》文本草案及法律条款编制说明;提出了中国土壤环境保护标准体系框架建议,形成了《土壤环境质量标准》修订草案。这是自《土壤环境质量标准》GB 15618—1995 颁布以来,二十多年后的第一次修订。土壤环境质量标准修订工作是一项艰巨而富有挑战性的任务。作为标准,其制定是一项十分严肃的工作,是在大量前期工作的基础上进行的,应具有科学性、政策性、实用性和可操作性。这不仅应有科学的制定方法,还应有大量资料,尤其是国内资料。

1.1.3.6 对国内相关研究的思考

国内对“水域-土壤-植被-大气”系统尺度上的重金属污染生态环境宏观研究较少,急需构建基于重金属元素循环迁移机理模型、遥感和 GIS 等先进技术的现代化立体监测系统与生态风险管理系统。这将是宏观尺度重金属污染监测和治理研究的重要发展方向。

对土壤重金属污染进行分析和评价,进而预测污染的发展趋势,制定合理的防污治污方法,这些研究对生态环境保护具有非常重要的意义,也是目前重金属污染研究的热



GIS 支持的土壤重金属污染评价与分析
.....
8

点之一。一方面,分析现状需要大量的基础数据;另一方面,评价需要统一的标准,而我国新的标准和评价方法尚未出台。在本书后文中,将不对术语“土壤环境质量评价”和“土壤重金属污染评价”做严格区分,可以理解成是对土壤环境质量的专项评价,即对特定的重金属污染物的评价。

对土壤重金属污染空间变异进行研究,有利于对植物生产进行合理布局,有效减少对食物链的污染。但是,由于土壤本身并非一个匀质体,而是一个具有高度空间连续性的变异体,因此,土壤类型的分布、土壤污染的演变都具有高度的空间异质性,也就是说,土壤组分的性质、污染程度的变化随着空间位置不同而发生较大变异。高度复杂的空间异质性,使得我们对土壤中重金属污染变化的空间动态的研究变得十分困难。这将是今后研究的重点和难点。

结合未来土壤学的新技术,应考虑到土壤中重金属污染物的迁移与城市空间形态特征密切相关,现代 GIS 技术能为土壤污染的空间形态研究提供有利的分析工具;土壤中重金属污染物的迁移和时-空演变是一种具有空间特征的复杂系统,而智能信息处理技术适用于模拟复杂系统和预测发展趋势。

1.1.4 GIS 技术

地理信息系统(Geographic Information System,简称 GIS)是随着地理科学、计算机技术、遥感技术和信息科学的发展而诞生并迅速发展起来的一门新兴技术。从计算机科学的视角而言,GIS 是一个能够对空间相关数据进行采集、管理、分析和可视化输出的计算机信息系统。

GIS 技术萌芽于 20 世纪 60 年代初,1972 年加拿大地理信息系统全面投入运行,这标志着第一个 GIS 系统的产生。此后,地理信息系统在全球范围内获得了快速发展。目前,在西方发达国家,GIS 应用已经渗透到社会经济生活的各个方面,包括资源管理、环境保护、灾害预测、投资评价、城市规划建设、人口和商业管理、交通运输、石油和天然气、教育、军事等众多领域。

随着国内经济建设的迅速发展,GIS 在城市规划管理、环境保护、交通运输、防灾减灾、农业、林业等领域发挥了重要作用。具体来说,GIS 技术在环保领域的应用包括以下几个方面:

1)应用 GIS 制作环境专题图。与传统周期长、更新慢的手工制图方式相比,利用 GIS 建立起地图数据库,可以达到一次投入、多次产出的效果。它不仅可以输出全要素地形图,而且可以根据用户需要分层输出各种专题图。GIS 的制图方法比传统的人工绘图方法要灵活得多,快速高效,并可以根据实际需要从符号和颜色库中选择图件,使之更好地突出专题效果和特性。

2)应用 GIS 建立各种环境地理信息系统。使用 GIS 技术建立各种环境空间数据库,把各种环境信息与其地理位置结合起来进行综合分析与管理,以实现空间数据的输入、查询、分析、输出和管理的可视化。

3)GIS 应用于环境监测。利用 GIS 技术可对实时采集的数据进行存储、处理、显示、

分析,直观显示和分析环境现状、污染源分布、环境质量评价,追踪污染物来源,为环境决策提供辅助手段。

4)GIS 应用于自然生态现状分析。利用 GIS 可以比较精确地计算生态量,客观地评价生态破坏程度和波及的范围。通过生态环境的空间分布与空间统计分析生态环境质量状况和生态环境变化的空间规律特点,为各级政府进行生态环境综合治理提供科学依据,为该地区经济的可持续发展与资源环境的可持续利用提供科学依据。

5)GIS 应用于环境应急预警预报。建立重大环境污染事故区域预警系统,对事故风险源的地理位置及其属性、事故敏感区域位置及其属性进行管理,提供污染事故的大气、河流污染扩散的模拟过程和应急方案。

6)GIS 应用于环境质量评价和环境影响评价。充分利用 GIS 的集成性,管理与生态环境密切相关的数据,利用 GIS 的空间分析功能,可以综合性地分析建设项目各种数据,帮助确立环境影响评价模型。由于 GIS 系统具有分层的结构,可将不同的环境影响进行计算并叠加,因此,GIS 是综合分析评价的有力工具。

环境信息系统在环境保护管理和决策工作中发挥着越来越重要的作用。而 GIS 技术的出现为环境保护工作迈向信息化、现代化提供了技术支持。GIS 技术在环境保护中应用的技术要点是建立环境 GIS 专用系统。其实质是在数据库管理系统(DBMS)和计算机辅助下,融合两个比较成熟的软件技术,并附加了对空间数据进行管理和分析的特殊功能。GIS 技术以其混合数据结构和独特的地理空间分析功能而别具一格。它还采用工业标准的组件对象模型(COM)技术,支持二次开发,从而为用户进行功能和结构定制拓展了空间。

综上,利用 GIS 结合智能信息处理技术来研究土壤重金属污染土壤质量评价指标和安全预警技术体系,能够在可视化环境对土壤重金属污染数据进行分析,准确地对污染情况做出评价,实现土壤重金属污染的预警预测。进而为深入研究土壤环境质量、合理利用土壤资源提供参考,对于政府制定针对性措施、平衡城市化发展和实施土壤环境保护具有非常重要的现实意义。

1.2 土壤重金属污染评价方法

土壤重金属污染评价是在对土壤现状及基础数据定量研究的基础上,对污染程度评价的定性研究,具有现实性和参考性。

1.2.1 土壤重金属污染分析工作流程

评价土壤重金属污染程度,首先应该对土壤中的各种污染物含量进行分析,这属于土壤环境评价监测工作的内容。这项工作通常以 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》为原则,依据 HJ/T 166—2004《土壤环境监测技术规范》,由专业技术人员对常规项目、特定项目、选测项目的土壤实施监测。监测频次从“必要时”到“3 年一次”不等,但不应低于 5 年一次。

土壤污染物分析具体的工作流程如图 1-1 所示,主要包括野外调查和实验室分析两个阶段。

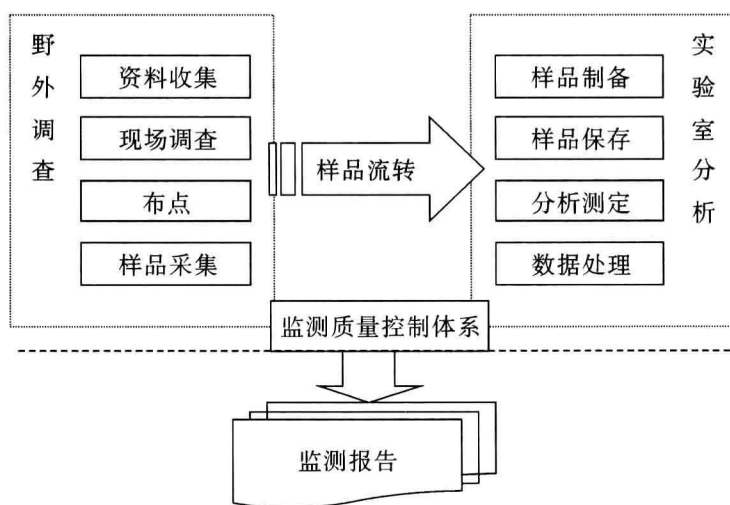


图 1-1 土壤污染物分析工作流程图

野外调查环节的工作重点是采集土样。出野外前要组织人员学习技术规范,并准备相关资料,包括交通图、土壤图、地形图等,还要有相关的土壤环境研究资料、历史资料、水文资料、气候资料等。现场调查可能需要多次踏勘,将调查得到的信息进行整理和利用,丰富采样工作图的内容。

野外工作需要携带的器具包括:①工具类,如铁锹、铁铲、取土钻(圆形、螺旋形)、刮刀、皮榔头及特定采样工具等。②器材类,如 GPS、罗盘、照相机、卷尺、样品袋、样品箱等。③文具类,如标签纸、采样记录表、铅笔、资料夹等。④安全防护用品,如工作服、安全帽、工作鞋、药品箱等。⑤交通类,如运输车辆。

野外现场的布点原则是:采样点的土壤类型特征明显,所采土样既可以作为采样区域总体的代表,土样间又互相存在一定程度的异质性。常用的布点方法有:简单随机布点法、分块随机布点法和系统随机布点法。样品采集过程可以采集表层土样,也可根据调查精度要求采集土壤剖面。采集过程严格按照《土壤环境监测技术规范》所要求的各环节规程,并注意填写样品标签和采样记录。

野外调查环节获得的土样经过样品流转环节,进入实验室分析。在流转过程中,工作人员需注意装运前核对,运输中防损,最后还要交接善后。

实验室分析的首要步骤是样品制备。这项工作主要通过制样、风干、研磨、过筛,获得可以用于仪器实验分析的土样。工作人员要按照样品名称、编号和粒径对土样分类保存。土样实验前的预处理方法有酸溶解法、碱熔法、高压密闭分解法、微波炉消解法、干灰化法和溶剂提取法。土壤中污染物的分析测定常用仪器有原子吸收光谱仪、分光光度计、气相色谱仪、液相色谱仪等。分析测定后,要对实验数据进行必要的加工处理,由质控人员保证实验室测定数据的精密度。只有“平行双样测定”结果符合误差范围要求的