

我国土壤环境质量监测技术路线研究

王业耀, 赵晓军, 何立环 (中国环境监测总站, 北京 100012)

摘要: 土壤环境质量监测技术路线根据“十二五”主要任务目标, 设计了土壤环境监测国家、省、地(市)三级网络构架和以县级采样、地(市)级分析、省级质控、国家发布的网络运行模式, 明确了每年监测一类重点区、5年完成一个监测周期的全国总报告, 确立了以基本农田、蔬菜和果树基地、饮用水源地、重污染企业周边、规模化养殖场周边等为重点区域的约2.5万个国控采样点; 对土壤重金属和有机污染物的分析测试与评价方法进行了优化筛选, 制定了质控措施, 对深入开展土壤环境质量例行监测具有重要意义。

关键词: 土壤环境; 技术路线; 例行监测

中图分类号: X833

文献标识码: A

文章编号: 1002-6002(2012)03-0116-05

The Research of Technique Route for National Soil Environment Monitoring

WANG Ye-yao, et al. (China National Environmental Monitoring Centre, Beijing 100012, China)

Abstract: Based on the goal of soil environmental quality monitoring during Twelfth-Five-Year period, three-grade network including national, provincial and city of soil monitoring and operation mode of county-level sampling, city-level analysis, provincial-level quality control and national-level publication were both designed. About 25 thousand state-controlled sampling sites from key monitoring areas such as, basic farmland, vegetable and fruit base, drinking water sources, surrounding area of heavily polluting enterprises and large-scale farms were selected. The paper also suggested to annually monitor one kind of key monitoring area and to compose the reports of national soil environmental quality at a five year monitoring cycle. Furthermore, the optimized methods of analysis, evaluation and quality evaluation of heavy metals, organic pollutants were also described. It is important to deeply carry out soil environmental routine monitoring in future.

Key words: Soil environment; Technology roadmap; Routine monitoring

环境监测是环境管理的重要手段之一, 首要问题是制定出满足环境管理需求的科学先进而又切实可行的技术路线, 环境监测技术路线是在一定时期内, 为达到一定任务目标而采取的技术手

段和途径^[1]。在党和国家高度重视下, “十一五”以来, 全国通过开展土壤污染状况专项调查, 提高了全民对土壤环境质量重要性的认识, 带动了我国土壤环境监测和污染治理的全面进步。研究完

收稿日期: 2012-01-06; 修订日期: 2012-02-20

作者简介: 王业耀 (1965-), 男, 广西北流人, 博士研究生, 研究员。

通讯作者: 赵晓军

4 结论

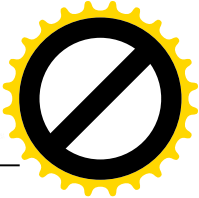
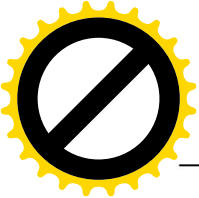
通过对标准样品和实际样品的分析, 建议质量控制指标: 在 $0.3 \sim 1.5 \text{ mg/L}$ 范围内, 标准样品 $RSD \leq 3.0\%$, $RSD' \leq 10.0\%$, 重复性限在 0.03 mg/L 以下, 再现性限在 0.4 mg/L 以下; 浓度小于等于 0.5 mg/L 时 RE 在 $-10.0\% \sim 10.0\%$ 范围内, 浓度 $0.5 \sim 1.5 \text{ mg/L}$ 时 RE 在 $-5.0\% \sim 5.0\%$ 范围内。实际样品浓度小于等于 0.05 mg/L 时, $RD \leq 20.0\%$; 浓度 $0.05 \sim 3.5 \text{ mg/L}$ 时, $RD \leq 5.0\%$ 。加标回收率控制范围

为 $85\% \sim 110\%$ 。

致谢: 本文得到了河南省、黑龙江省、辽宁省、内蒙古自治区、上海市、江苏省、天津市、云南省、浙江省、广东省、新乡市、沈阳市、九江市、南昌市、宁波市、南京市环境监测中心(站)和环保部标准样品研究所等单位的大力支持, 在此一并表示感谢。

参考文献:

- [1] 蒋子刚. 分析检验的质量保证和计量认证 [M]. 上海: 华东理工大学出版社, 1998.
- [2] 中国环境监测总站《环境水质监测质量保证手册》编写组. 环境水质监测质量保证手册 [M]. 2版. 北京: 化学工业出版社, 1994.



善新形势下我国土壤环境质量监测技术路线,对于满足新时期环境管理的需要和创新发展,完成时代赋予的历史任务,具有十分重要的意义。

1 我国土壤环境污染状况

全国土壤环境保护形势严峻,在世界人口从 60 亿增长到 70 亿的 12 年间,我国人口增长了 8000 万,耕地减少了 1 亿多亩,我国已从粮食净出口国变为粮食净进口国。耕地数量减少的同时,土壤环境质量也不容乐观^[2]。由于土壤污染途径多、原因复杂、控制难度大,呈现出了无机有机复合污染、新老污染物并存、土壤污染类型多样化的复杂局面。土壤安全是农产品安全的重要基础,土壤环境质量状况直接影响到国民经济发展。在重污染企业、工业密集区、工矿开采区以及周边地区的工业“三废”直接导致土壤污染和农作物减产,出现了土壤重污染和高风险地带。

据环保部调查统计,我国受污染的耕地约有 1.5 亿亩,占 18 亿亩耕地的 8.3%,近年来,重金属污染事件呈高发态势,长三角、珠三角、京津冀、辽中南和西南、中南等地区,土壤污染面积较大,损害群众健康的环境问题比较突出。国土资源部的全国多目标区域地球化学调查结果显示,系列地球生态化学问题突出,局部地区土壤污染严重。如长江中下游某些区域,普遍存在镉、汞、铅、砷等异常;我国城市及其周边普遍存在汞、铅异常,部分城市明显存在放射性异常;我国湖泊有害元素富集,土壤酸化严重。另据农业部全国污水灌溉区调查显示,全国污水灌溉面积由 1978 年约 4000km² 增加到 2003 年的 30000km²,污水灌溉田中有 64.8% 受到重金属污染。由于土壤污染具有累积性、滞后性、不可逆性的特点,将长期影响经济社会的发展。截至 20 世纪末^[3],每年因土壤污染而减产粮食 1000 万吨;因重金属污染的粮食达 1200 万吨,造成的直接经济损失超过 200 亿元;如豫北地区某金属冶炼厂下风向 650m 内铅、镉含量分别高达 400、50mg/kg 以上^[4]。

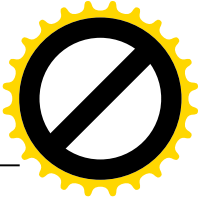
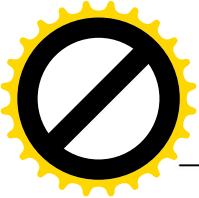
目前,我国土壤污染防治经费投入不足,防治基础薄弱,措施缺乏针对性,土壤科学研究难以深入,防治土壤污染的法律还是空白,有相当部分的干部群众和企业界对土壤污染的严重性和危害性缺乏足够认识。20 世纪 90 年代以来,因农药残留和重金属含量超标,农产品出口被外方退货、索

赔和终止合同的事件时有发生,部分传统大宗农产品也被迫退出国际市场,造成了相当大的经济损失和不良国际影响。

2 国外土壤环境监测网及监测

从 20 世纪 60 年代开始,美国首先开展了土壤环境监测的研究^[5]。日本、英国、瑞典、德国、法国、俄罗斯等国也相继展开了土壤背景值、农用土壤环境等监测工作,并建立了相关的土壤环境监测系统,颁布了有关法律、法规。瑞士于 20 世纪 80 年代建立了国家土壤环境监测网(NABO),在全国设立了 120 个土壤监测点。监测点的选择原则是农用地占 50%,森林土壤占 30%,其他广泛使用的土壤占 20%。从 1985 年开始监测,其中 20 个监测点 5 年后又进行了监测。每个监测点的面积为 100m²,样品采集深度为 20cm,每次在 2~3m 的间距采集 4 个样品组成一个混合样品。所有采集的样品都要入库贮存。测定项目包括 Pb、Cu、Cd、Zn、Ni、Cr、Co、Hg 和 F。金属元素采用沸腾的 2mol/L HNO₃ 提取。除此之外,还测定了土壤 pH、CaCO₃、有机碳、粒度、铁和铝的氧化物、阳离子交换量(CEC)、有效态磷和土壤密度等指标。建立土壤环境监测网的目的在于:①评价土壤污染和相关的生态毒性风险;②了解土壤污染的空间分布;③了解土壤污染随时间变化趋势。

美国在大陆本土上以 80km×80km 间隔采集了 1218 个土壤和地表物质样品,采样深度为 20cm。此项研究分为两个阶段进行:第一阶段(1961—1971 年),对 863 个样点采集样品,以光谱半定量为主,分析测试了 35 个元素。第二阶段(1971—1984 年),又补采了 355 个样品,前后共分析了近 50 个元素。1984 年发表了《美国大陆土壤及地表物质中元素浓度》的专项报告,讨论了 46 个元素的土壤背景值,并绘制了各元素点位分级图。1988 年,美国地质调查所又完成了阿拉斯加州土壤环境背景值的调查研究报告,其中涉及到 35 个元素的环境背景值。至此,美国完成了全国土壤背景值的调查研究。美国自 1980 年以来又根据《综合环境反映、赔偿和责任法》(CERCLA 超级基金法案),对全国有害废物造成的土壤污染进行了调查,结果表明共有 1.3 万处污染土地需要采取清理措施。英国的英格兰、威尔士



土壤调查总部于1979年按网格设计,间隔5km采集一个表土样品,在英格兰和威尔士共采集了6000个样品,采用王水消解法测定了19个元素。日本于1978—1984年在全国25个道、县采集表土和底泥样品687个,用 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{SO}_4\text{-HClO}_4$ 消解法测定了Cu、Pb、Zn、Cd、Cr、Mn、Ni和As 8种元素。俄罗斯、罗马尼亚、加拿大、挪威等30多个国家和地区也都开展了土壤背景值的调查。

3 我国土壤环境质量监测现状

我国在“六五”、“七五”和“八五”期间曾完成了全国土壤环境背景值调查和土壤环境容量研究,在全国范围内采集了近5000个剖面的11500个土壤样品,主要分析测试了砷、镉、钴、铬、铜、氟、汞、镍、锰、铅、硒、钒、锌、pH、有机质和土壤粒度等项目。建立了一批近代土壤元素分析方法。出版了《中华人民共和国土壤环境背景值图集》,建立了全国土壤环境背景样品库。2003年起原国家环境保护局,组织全国对53个“菜篮子”基地、13个污灌区和22个有机食品生产基地土壤环境质量进行了连续3年的调查监测,并发布了监测报告。中国环境监测总站于2003年《中国环境监测技术路线研究》中提出了“以农田土壤环境监测为主”的我国土壤环境监测的技术路线。我国现已发布的标准规范主要有《土壤环境质量标准》(GB 15618—1995)、《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166—2004)、《农田土壤环境质量监测技术规范》(NY/T 395—2000)等。农业部、水利部也相继开展了多次农田污水灌溉土壤的监测工作。2009年,国土资源部通过土壤大调查,出台了《中国耕地质量等级调查与评定》。据悉,江苏省在全省范围内全面开展耕地质量等级变化监测工作,在全省已建立了1880个耕地质量监测点。环境保护部在“十一五”期间组织完成了全国土壤污染状况调查,通过调查首次获得了较为完整的全国土壤环境质量状况信息,建立了全国土壤样品库,编制了一系列土壤调查监测的相关技术文件,培训了大批技术人才,提升了土壤环境质量监测的硬件能力水平,为进一步开展全国土壤例行监测打下了坚实的基础。

当前,我国土壤环境质量监测仍存在许多问题。第一,土壤环境质量监测的评价及分析方法等技术体系尚不健全,信息发布不规范,难以满足

新时期环境管理的需求。第二,现行标准中采用的技术方法较为落后,许多标准实施后长期没有修订,缺少先进的监测技术方法,现行标准中监测污染物的数量不足,尤其有机污染物数量过少。第三,全国城乡之间、东中西部地区之间监测能力差异大,部分基层监测站人才匮乏,经费短缺,远不能适应新时期环境管理的需要,监测能力整体水平亟待提高。第四,土壤环境监测的基础性研究开展较少,对标准的完整性、系统性、科学性的技术支持不足。

4 土壤环境质量监测技术路线

以科学发展观为指导,以基本说清土壤环境质量状况、实现土壤环境质量科学监管、保障农产品安全为目标,以统筹规划、突出重点、规范监测、确保质量为原则,以合理布点、现场采样、实验分析为技术手段,以农田土壤和工业污染土壤中有毒有害污染物为监测重点,建立以地市级环境监测站为骨干的监测网络和运行模式,开展土壤环境质量例行监测工作。不断探索新技术新方法、完善土壤环境质量监测技术体系和网络体系,逐步建立全国土壤环境质量监测预警体系,为土壤环境管理提供技术支撑。

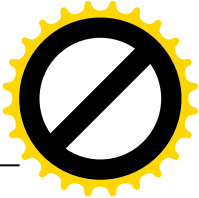
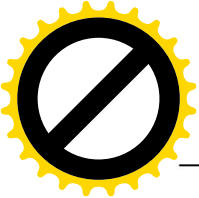
4.1 监测点位

按照《国家环境监测“十二五”规划》中“在全国开展土壤环境质量标准项目和特征污染物的监测,有条件的逐步开展固体废物、危险废物和污染场地监测”的要求,在土壤污染调查的基础上,坚持科学性、代表性、可比性、连续性的布点原则,重点选择基本农田、蔬菜和果树基地、饮用水源地、重污染企业周边以及规模化畜禽养殖场周边等区域确定国家监测点位,5年为一个周期,以地市行政区域为基本采样单元,设定约2.5万个监测点位。另对重要敏感区和土壤污染高风险区进行加密跟踪监测,对土壤污染进行环境风险评价。

4.2 采样和制样方法

采样:样品采集前首先记录点位坐标,拍摄数码照片,然后在采样点采集0~20cm表层土壤。根据污染物迁移情况也可以采集剖面样品。采样过程中,注意认真填写采样记录并存档。

风干:在风干室将土样放置于风干盘中,除去土壤中混杂的砖瓦石块、石灰结核,根茎动植物残体等,摊成2~3cm的薄层,经常翻动,置阴凉处



自然风干。

粗磨并分样：粗磨后过 2.0mm 筛的样品用四分法弃取、称重，保留 3 份样品，其中 1 份为国家样品库样品（2mm）；另 1 份为省级样品库样品（2mm）；剩余样品称重，继续研磨过 1.0mm 尼龙筛后分成两份。

细磨并分样：用玛瑙球磨机或手工研磨到土样全部通过孔径 0.25mm 的尼龙筛，四分法弃取，保留足够量的土样、称重、装瓶备分析用（0.25mm）；剩余样品继续研磨至全部通过孔径 0.15mm 的尼龙筛，装瓶备用（0.15mm）。

新鲜样品的制备：为分析测定挥发性和半挥发性有机项目，应采集新鲜土样，土样采集后应始

终在低于 4℃ 暗处冷藏，并在 7 天之内进行前处理，40 天之内完成分析。

4.3 监测指标和评价方法

全国土壤环境监测网建成后，按照国家《重金属污染综合防治“十二五”规划》和《国家环境监测“十二五”规划》中的目标要求，结合“十一五”全国土壤污染状况调查成果，现阶段首先要开展全国土壤 5 种类型近 2.5 万个点位 18 个项目的例行监测工作（见表 1），以满足国家土壤环境管理的需求。评价执行《土壤环境质量标准》（GB 15618—1995）二级标准和环境保护部《全国土壤污染状况评价技术规定》（环发〔2008〕39 号）（见表 2）。其主要技术方法筛选如下。

表 1 监测技术方法

序号	重点区类型	点位数量	监测指标	前处理方法	分析方法
1	企业周边	每年监测 5000 个点位；5 年为一个周期，共计 25000 个点位	土壤 pH、阳离子交换量、铅、汞、镉、铬、砷、铜、锌、镍、钒、锰、钴、银、铊、锑等元素总量；苯并〔a〕芘；多氯联苯类（总量）	无机样品以 1+1 王水消解和四酸消解为主；有机样品以加速溶剂提取为主	理化性质：ISE、VOL；无机样品：AAS、HG-AAS、GF-AAS、ICP-AES、ICP-MS、XRF；有机样品：GC、LC、LC-MS、GC-MS
2	基本农田				
3	蔬菜和果树基地				
4	饮用水源地周边				
5	规模养殖场周边				

表 2 评价参考标准值

序号	评价项目	参考标准值 (mg/kg)				来源	
		耕地、草地、未利用地			林地		
		pH < 6.5	6.5 ≤ pH ≤ 7.5	pH > 7.5			
1	镉	0.30	0.30	0.60	1.0	土壤环境质量标准 (GB 15618—1995)	
2	汞	0.30	0.50	1.0	1.5	土壤环境质量标准 (GB 15618—1995)	
3	砷	旱地	40	30	25	40	土壤环境质量标准 (GB 15618—1995)
		水田	30	25	20		土壤环境质量标准 (GB 15618—1995)
4	铅	250	300	350	500	土壤环境质量标准 (GB 15618—1995)	
5	铬	旱地	150	200	250	400	土壤环境质量标准 (GB 15618—1995)
		水田	250	300	350		土壤环境质量标准 (GB 15618—1995)
6	铜	50	100	100	400	土壤环境质量标准 (GB 15618—1995)	
7	锌	200	250	300	500	土壤环境质量标准 (GB 15618—1995)	
8	镍	40	50	60	200	土壤环境质量标准 (GB 15618—1995)	
9	锰*		1500			澳大利亚保护土壤及地下水调研值	
10	钴*		40			加拿大土壤环境质量标准 农用地标准	
11	钒*		130			加拿大土壤环境质量标准 农用地标准	
12	银*		20			加拿大土壤环境质量标准 农用地标准	
13	铊*		1			加拿大土壤环境质量标准 农用地标准	
14	锑*		20			加拿大土壤环境质量标准 农用地标准	
15	苯并[a]芘*		0.10			加拿大土壤环境质量标准 农用地标准	
16	多氯联苯类 (总量)		0.10			《土壤环境质量标准》(修订草案) 农业用地标准值	

注：* 评价参考值。

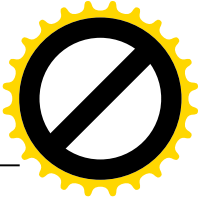
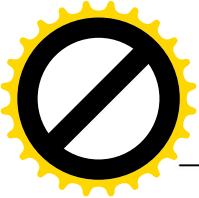
4.4 质量保证

监测质量是执行监测路线的根本，建立健全质量管理责任制，是保证土壤环境质量报告科学可信的基本保障。监测工作必须按有关技术要求，在实验室采取密码平行样、标准样、空白试验等质控措施；必须做到采样记录、样品交接记录、前处理记录、分析记录、数据处理、报告等记录齐

全；同时，建立土壤样品档案，保证每个样品都可以进行再现性的样品复测。

4.5 报告编写

全国土壤环境质量例行监测采用每年监测一类重点区域的监测频次，国家每年度完成一份全国土壤环境质量专题报告；5 年为一个周期，5 年完成一份完整的全国土壤环境质量例行监测国家



报告。各省级站每年完成一份土壤环境例行监测报告,5 年完成一份完整的土壤环境质量例行监测省级报告。

5 保障措施

5.1 构建国家土壤环境质量例行监测网

国家土壤环境质量例行监测网由国家站负责组织开展监测;省级环境监测站负责本辖区内各网站的业务管理,完成全省(市、区)土壤监测技术的质量保证和质量控制,并负责省级报告的编写;地市级环境监测站负责组织县级站采样,并完成本辖区土壤样品的实验室分析测试等工作;形成以县级采样、地(市)级分析、省级质控、国家发布的网络运行模式。

5.2 建立土壤环境质量监测技术方法体系

由于我国土壤环境质量监测相对于水、气等环境要素起步晚,当前存在的突出问题是缺乏完整的技术方法体系,现行的国标《土壤环境质量评价标准》(GB 15618—1995)无论有机或无机项目都严重偏少,难以全面正确反映我国土壤的污染和变化趋势^[6]。因此,应在开展全国土壤环境质量例行监测的同时,及时总结经验,建立和完善土壤环境质量监测技术方法体系,重点解决先进仪器设备的前处理和综合评价等配套技术方法。

5.3 加强土壤环境质量监测能力建设

各地要按照全面强化省级站、重点加强地市级站的思路,重点解决人员、经费和场地不足等问题,加强土壤环境监测仪器设备等基础能力建设,逐步建立土壤环境质量监测网络经费保障机制。国家和省级网站主要依靠国家投资,地市级网站主要依靠地方财政投资建设。

5.4 建立土壤环境监测质量保证体系

全国土壤环境质量监测必须建立统一的质量保证体系,保证全程序质量控制,土壤环境监测的质量控制工作一定要高起点,不断提高监测人员持证上岗率、分析仪器设备合格率,定期开展土壤

环境质量监测数据监督检查等工作。

5.5 建立土壤环境质量监测数据库系统

为了更好地开展土壤环境质量监测,建立土壤监测的全国数据库系统十分必要^[7]。制定土壤监测的数据管理、数据报送、信息通报等管理规则,逐步完善土壤环境质量监测信息网络体系。

5.6 建设土壤环境质量监测技术人才队伍

切实做好土壤监测人才的培养和储备工作,鼓励优秀人才充实土壤环境监测技术队伍,逐步提高准入门槛,要每年安排专项经费,开展技术培训,不断拓展人才培养途径,形成基础培训和特色培训相互补充的培训体系,多种形式培养土壤环境监测学科带头人,促进土壤环境监测技术队伍专业化。

参考文献:

- [1] 万本太. 中国环境监测技术路线研究 [M]. 长沙: 湖南科学技术出版社, 2003: 274 - 292.
- [2] 吴邦灿, 齐文启. 环境监测管理学 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 253 - 277.
- [3] 李国刚. 中国土壤环境监测的现状、问题与对策 [J]. 环境监测管理与技术, 2005, 17(2): 9 - 10.
- [4] 王春艳. 当前我国建立土壤环境监测网络的重要性 [J]. 黑龙江环境通报, 2003, 27(3): 107 - 108.
- [5] 李忠良. 中外土壤环境监测现状及对策建议 [J]. 中国国土资源经济, 2005(3): 19 - 21.
- [6] 夏家淇, 骆永明. 我国土壤环境质量研究几个值得探讨的问题 [J]. 生态与农村环境学报, 2007, 23(1): 1 - 6.
- [7] 郇宗智, 郑梅. 土壤污染现状及监测体系浅析 [J]. 现代农业科技, 2007(1): 84 - 85.
- [8] 万本太, 蒋火华. 关于“十二五”国家环境监测的思考 [J]. 中国环境监测, 2011, 27(1): 5 - 8.
- [9] 万本太. 浅谈国家环境监测网建设 [J]. 中国环境监测, 2011, 27(6): 1 - 4.
- [10] 李国刚, 万本太. 中国环境监测科技发展需求分析 [J]. 中国环境监测, 2004, 20(6): 1 - 4.
- [11] 魏复盛. 关于总站历史性转型的几点意见 [J]. 中国环境监测, 2009, 25(1): 1 - 3.
- [12] 王国庆, 骆永明. 土壤环境质量指导值与标准研究 [J]. 土壤学报, 2005, 42(4): 666 - 673.