



关于重金属污染土壤风险控制区划的研究与建议*

文 / 陈同斌 雷 梅 杨 军 周小勇
中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101

【摘要】我国的土壤重金属污染已经威胁到农产品质量和人体健康,全国约有19.4%的耕地调查样点超过土壤环境质量限量标准。由于我国土壤污染程度的区域尺度空间分布不均衡以及造成污染的重金属种类繁多、受污染的地区经济水平差异较大,因此需要通过风险控制区划实现不同地区的风险控制和土壤修复。文章在介绍土壤重金属风险控制区划的系统性原则、一致性原则、主导性原则和动态性原则的基础上,提出了区域土壤重金属风险控制区划方法体系,包括土壤重金属风险分区分级方法和重金属风险控制与修复区划方法。

【关键词】 土壤,重金属污染,修复,区划,风险控制

DOI 10.3969/j.issn.1000-3045.2014.03.009

土壤环境保护事关广大群众“菜篮子”、“米袋子”和“水缸子”的安全,事关农产品质量和人体健康,事关经济社会发展和国家生态安全。据2014年4月环保部和国土资源部联合发布的《全国土壤污染状况调查公报》(以下简称《公报》):“全国土壤环境状况总体不容乐观”,“耕地土壤环境质量堪忧”,尤其是重金属超标问题突出。目前,我国土壤重金属污染及其所引起的耕地抛荒和农产品健康质量问题已逐步凸现,并演化成为制约我国生态文明建设和“三农”发展的重要障碍。2013年,国务院办公厅发布《近期

土壤环境保护和综合治理工作安排》,围绕土壤环境风险来确定土壤环境保护优先区域,将初步控制被污染土地开发利用的环境风险作为近期土壤环境保护工作的一项重要目标。该文件要求各省级政府要明确本行政区域内优先控制区域的范围和面积,并在土壤环境质量评估和污染源排查的基础上,划分土壤环境质量等级。由此,对我国重金属污染严重的各省提出了建立土壤环境风险控制区划的明确要求。2014年,李克强总理在政府工作报告中明确部署了“实施土壤修复工程”。2014年3月18日,环保部审议并原则通过了《土壤污染防治行动计划》,该计划提出了依法推进土壤环境保护、

* 修改稿收到日期:2014年4月29日

实施农用地分级管理和建设用地分类管控以及土壤修复工程等主要任务。这些任务的实施和目标的实现,必须依托合理的区域土壤重金属环境风险控制区划。

1 土壤重金属风险控制区划是解决我国土壤污染问题的重要途径

近20多年来,随着工业化、城市化和农业集约化的快速发展,我国土壤环境面临着前所未有的挑战,各类土壤环境问题日益凸现,土壤污染引发的环境纠纷和群体性事件逐年增多,已成为影响社会稳定的重要因素。由于土壤污染具有隐蔽性、滞后性、累积性和地域性等诸多特点,我国对土壤重金属污染问题至今并未理性对待。面对严峻的土壤重金属污染局面,与各地日益高涨的土壤修复需求,我国必须开展相关的风险控制区划体系研究,主要表现在如下几个方面:

一是我国严重污染土壤在部分地区集中分布与我国土壤污染以轻度污染为主的状况并存,迫切要求开展区域层面的土壤风险控制区划,分别制定分区分级的风险控制与修复方案。由于我国经济发展方式粗放,产业结构和布局不合理,污染物排放总量居高不下,部分地区土壤污染严重,对农产品质量安全和人体健康构成严重威胁。在我国南方工矿开采区及周边地区、涉重企业及工业密集区存在着土壤重度污染区和高风险区。从区域分布来看,我国土壤重金属污染问题集中在西南矿业密集区和中南矿产资源丰富的粮食主产区。在广西、云南等西南地区,湖南、江西等中南地区及珠三角等局部地区土壤重金属污染问题尤为突出。一些金属矿区、冶炼厂周边地区土壤中砷、镉、汞、铅等重金属含量较高,农产品中主要污染物存在严重的超标现象,如广西环江、湖南石门和长株潭地区,云南个旧等;

二是土壤污染问题种类多,尤其是高毒性的砷、镉、铅等,需要针对不同的重金属分别采取相应的风险控制和修复技术,通过风险控制区划按照不同地区的污染特征分别制定分区分类的风险

控制和修复技术。据《公报》报道,我国土壤无机污染物(重金属)超标点位数占全部超标点位的82.8%。从污染物种类看,镉、砷、汞、铜、铅、铬、锌、镍的点位超标率分别为7.0%、2.7%、1.6%、2.1%、1.5%、1.1%、0.9%、4.8%。由于砷、镉、铅等多种重金属的健康风险较高,因此我国需重点关注的土壤重金属种类多,且地域分布各不相同;

三是我国土壤污染以耕地污染为主,同时不同污染地区之间土壤类型、经济水平、种植特点等差异较大,需因地制宜地制定风险控制与修复技术,通过风险控制区划实现不同地区耕地污染的土壤修复。我国耕地土壤点位超标率高达19.4%,估算受污染耕地的面积约3.5亿亩,已对我国保护耕地红线造成威胁。污染耕地中,轻微、轻度、中度和重度污染点位所占比例分别为13.7%、2.8%、1.8%和1.1%,由此可以看出,我国土壤修复任务十分艰巨。由于土壤污染的修复成本较高,为顺利实施修复技术,达到预期的修复目标,就必须结合当地的农业及经济发展特色和污染特征,因地制宜地制定最适合的风险控制与修复方案。

通过上述研究,才能确保完成《土壤污染防治行动计划》中明确提出的:“各省级人民政府要明确本行政区域内优先区域的范围和面积,并在土壤环境质量评估和污染源排查的基础上,划分土壤环境质量等级,建立相关数据库”,“实施农用地分级管理和建设用地分类管控以及土壤修复工程、以土壤环境质量优化空间布局和产业结构、提升科技支撑能力和产业化水平”等具体要求。

2 土壤重金属风险控制区划原则

开展土壤重金属风险控制区划,进行土壤环境风险等级划分是解决我国土壤污染问题的重要途径。我国区域土壤环境风险成因复杂、时空尺度多变且污染途径多样,污染概率空间分布局面复杂、环境影响大。土壤环境风险控制区划是确保区域土壤环境污染控制和保障粮食卫生安全为目标,基于土壤重金属风险管理相关人力、物力、财力有限,从区域土壤环境风险管理角度寻求最

优化的风险控制区划方案,即利用层次分析法确定不同控制措施的优先顺序,合理分配风险管理的人力、物力和财力等资源,以最优的效益控制和消减区域土壤环境风险水平。

区域土壤环境重金属风险控制区划首先应进行土壤重金属环境风险分级和分区,在合理分区之后,再针对每个地区主要环境风险特征制定针对性的风险控制对策。杨洁、毕军等人在《区域环境风险区划理论与方法研究》一文中系统地提出了关于区域环境风险区划的原则。我们认为,这些关于区域环境风险区划的思路比较系统、科学,因此,进行土壤中金属风险区划也同样应遵循下述区划原则^[5]:

(1)系统性原则。区域土壤重金属环境风险不是单一风险事件的简单加和,而是多种污染因素和影响因素相互作用、相互联系而形成的一个整体;同时,区域土壤重金属环境风险的发生、分析和管理的涉及自然、经济及社会多个系统。因此只有采取系统分析的手段,才能真正认识区域土壤重金属环境风险发生、发展和演化的规律。在系统分析的基础上,研究区域内各种土壤重金属的风险及内在联系和综合效应,才能真正揭示区域之间及区域内土壤重金属环境风险分布的差异性和相似性。

(2)一致性原则。区域之间及区域内部土壤环境风险分布的一致性土壤重金属风险控制区划的基础和依据。它可表现为土壤重金属环境风险性质和类型的一致性、环境风险源类型的一致性、环境风险转运空间的一致性、环境风险受体易损性及价值的一致性。土壤环境风险控制区划要根据区划指标的一致性与差异性进行分区。但必须注意这种特征的一致性相对一致性。不同等级的区划单元各有一致性标准。为

便于管理,在进行土壤重金属风险区划时应尽可能保证风险区的界线与行政区界线一致,这样就可以保证土壤重金属风险管理计划的制定和实施的可行性。基于一致性原则而得到的风险区划结果有利于土壤重金属环境风险管理计划的执行,在同一风险区内,可采纳相同或相似的风险管理对策,以提高管理的针对性及有效性。

(3)主导性原则。土壤重金属风险区划的一个重要任务就是为区域土壤环境风险管理制定优先顺序。所以,只有危害较大、发生频率较高的风险事件才是决策者及公众关注的对象,它们也是风险管理的优先内容。事实上,正是这些风险事件反映了特定区域内土壤环境风险的基本特征。因此,在土壤重金属风险区划过程中,必须筛选出主导风险,并以它们为基础进行风险区划。

(4)动态性原则。一方面,随着社会经济的发展,自然环境的变化,潜在环境风险源、风险转运空间及环境风险受体的时空特性及其他性质将发生一定的变化,即区域环境风险格局将有一定的改变;另一方面,人类的“风险观”会有所改变,对风险事件的判断标准也将发生变化,社会最大可接受风险水平和区域环境风险容量也会有所变化。因此,必须根据土壤重金属风险格局和风险容量的动态变化进行动态分析,实施动态风险区划,为区域土壤环境风险动态管理提供依据。

3 土壤重金属风险控制区划方法体系

土壤重金属风险控制区划方法是包括风险分级分区和土壤修复区划方法在内的方法体系。

3.1 区域土壤重金属风险分级分区方法

(1)区域尺度的土壤重金属调查布点方法:针对土壤重金属污染空间变异性较大的



中国科学院

特点,克服传统的网格布点样本量大等弊端,建立区域性土壤重金属污染调查的分层抽样误差控制布点方法,通过较少的样本量即可掌握不同程度污染区的分布。

(2)基于重金属空间变异特征的土壤重金属污染概率预报方法:利用统计方法分析土壤重金属含量的空间结构与分布特征,利用空间插值方法进行土壤重金属污染制图,利用离析克里格法预测土壤重金属污染区域及污染概率,从概率的角度对调查区域土壤的污染程度进行预测、预报。根据空间变异分析和概率预测的结果估算污染区域面积,使土壤污染的空间信息可视化,将土壤污染的不确定性进一步量化,提高区域土壤重金属污染评价的准确性。

(3)区域尺度土壤重金属污染演变趋势分析方法:土壤重金属污染受自然、人为等多重因素的叠加影响。同时,土壤对污染物的消纳能力与土壤基础条件密切相关。通过掌握土壤中重金属元素的背景含量和污染现状、不同赋存形态比例的变化及土壤环境的容量,系统评估土壤系统重金属污染的演变趋势。

(4)土壤重金属环境风险分等定级指标体系:以区域土壤环境风险分布为根据,按照区域自然环境和社会环境的结构、功能及特点,掌握地形地貌、土地利用、土壤类型、土壤重金属、土地农业经济特征、人口特征、水源地分布等因子的空间分布,计算土壤重金属污染导致的健康风险和生态风险,将风险控制对象划分成不同等级的区块,确定土壤环境风险管理的优先顺序,实现土壤环境风险分区管理。利用层次分析,定量分析与定性分析相结合,判断各因子对污染风险的重要程度,提出分级分类管理涉及的各项因素和因子的

取值。

(5)土壤重金属环境风险区划指标筛选技术:包括指标筛选原则、程序及方法,不同土地利用方式下土壤重金属环境风险评估指标体系、评价标准和评估方法,土壤环境生态敏感性评估技术,重金属污染土壤环境风险分区分级方法。

3.2 土壤重金属风险控制与修复区划方法

(1)针对重金属污染土壤环境风险分区分区划分结果,结合农业种植区划、植被分布、地形地貌、人口分布等风险控制主要决策因子,构建决策因子定性定量表达方法。

(2)根据现有的土壤修复技术应用效果,评估不同风险控制对策的适用性,从环境效益、经济效益等方面预测评估风险控制效果,分别针对不同风险水平区域提出修复区划模式。

(3)评估土壤环境风险控制区划与其他区划之间的衔接性。

(4)构建土壤环境风险管控信息平台,形成区划报告及图集,结合土壤风险分类分区控制对策,建立基于县级单元的土壤环境风险控制区划的土壤环境管理决策支持系统(图1),并实现区划结果的三维展示。

4 存在的主要问题及建议

目前我国尚缺少区域尺度的土壤污染风险控

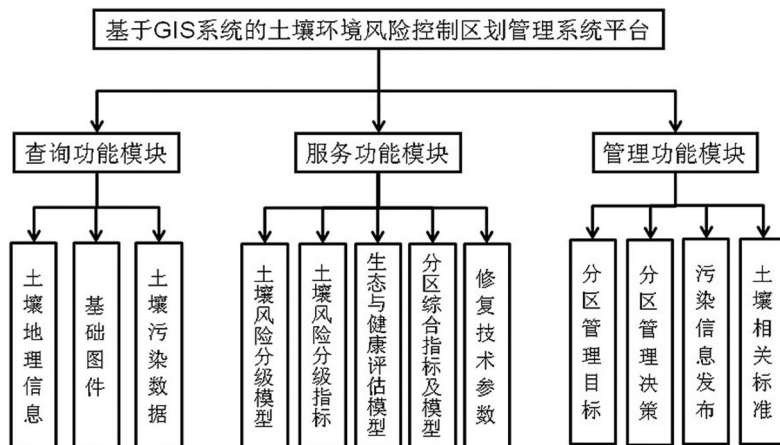


图1 土壤环境管理决策支持系统

制与修复区划。修复技术的选择和实施方式需根据污染地区的农业种植结构、污染程度、地形地貌等自然和社会经济特征因地制宜地制定。因此,区域土壤重金属污染风险与修复区划,就成为解决我国土壤污染问题的前提和重要内容。目前我国一些地区即将开展污染土壤修复,但尚未考虑土壤风险控制区划工作,即基于土壤污染程度,按照影响污染物迁移、转化特性的土壤类型、土壤酸碱度、土壤侵蚀程度、地形地貌、降水径流等控制因素,以及农业种植、人口特征、水源地分布等因子的空间分布,对土壤污染的环境风险进行分区分级,并提出分级分类管理策略;结合不同土壤修复技术的特点,提出适宜的修复技术路线和工程策略。目前,我国亟需开展区域尺度的土壤风险控制与修复整体区划。

为解决我国土壤污染问题,推动土壤修复技术的工程应用,实现我国土壤环境风险控制,建议近期开展区域土壤环境风险区划研究和制定。土壤环境风险区划是依据污染区域内及区域之间土壤环境风险分布的相似性和差异性,并结合区域土壤环境风险的空间分布规律,按照自然环境及社会环境的结构、功能及特点,将土壤环境风险划分成不同等级,依此确定环境风险控制的优先管理顺序,实现环境风险分区控制和管理,并进一步制定环境风险控制的地域分工、区

域战略、修复措施的空间布局。土壤环境风险控制区划是指导建立科学合理的土壤修复产业化模式的基础。

中科院下一步的研究工作可以以县级行政单元为基础,探索污染土壤风险控制和修复区划的方法体系:查明土壤污染状况,识别不同地区土壤重金属污染的主要风险因子,进而根据区划原则对土壤环境风险进行分区分类,制定污染土壤风险控制与修复区划方案,编制区划报告与图集,建立区域土壤风险控制信息系统,指导污染地区的土壤修复技术选择和工程投资,为土地安全利用的抉择提供决策信息。

参考文献

- 1 陈同斌, 韦朝阳, 黄泽春等. 砷超富集植物蜈蚣草及其对砷的富集特征. 科学通报, 2002, 47(3): 207-210.
- 2 谢景千, 雷梅, 陈同斌等. 蜈蚣草对污染土壤中As、Pb、Zn、Cu的原位去除效果. 环境科学学报, 2010, 30(1): 165-171.
- 3 Tang Yetao, Deng Tenghaobo, Wu Qitang et al. Designing ropping systems for metal-contaminated sites: a review. *Pedosphere*, 2012, 22(4): 470-488.
- 4 Tang Shirong, Mo Cehui. Phytoremediation in China. In *Phytoremediation Methods and Reviews*. edited by Neil Willey. Humana Press, 2007, 381-391.
- 5 杨洁, 毕军, 李其亮等. 区域环境风险区划理论与方法研究. 环境科学研究, 2006, 19(4): 132-137.



中国科学院

Discussion on Zoning of Soil Environmental Risk Control and Remediation Contaminated by Heavy Metals on Regional Scale

Chen Tongbin Lei Mei Yang Jun Zhou Xiaoyong

(Center for Environmental Remediation, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract The heavy metal contamination of soils has brought threat to the agricultural product quality and safety as well as to human health in China. The condition of approximately 19.4% of the sampling spots of plough around China exceeded the limitation of environmental quality standard. Research groups in the Chinese Academy of Sciences have gained some experiences on developing and applying of technology for remediation of heavy metal contaminated soils. However, deficiencies still exists in the application of the technology. In order to promote the applying of soil remediation technology as a solvent for the heavy metal contamination of soils in China, future promotions are recommended to be made in three major fields: 1, launch studies on the zoning of soil environmental risk control on regional scale; 2, the industrialization pattern of soil remediation should be explored according to local conditions, demonstration of industrialization should be set up; 3, the construction of soil remediation project should be enhanced as demonstration of soil remediation, and further setting up relevant technique codes and remediation standards.

Keywords soil, heavy metal contamination, remediation, zoning, risk management

陈同斌 中科院地理科学与资源所研究员,“国家杰出青年科学基金”、中科院“百人计划”、国家“新世纪百千万人才工程”入选者。主要从事土壤环境质量与健康、环境修复和土壤环境化学研究。曾主持国家“863”计划重点项目、国家自然科学基金重点项目等40多项国家级和省部级科研项目,主持完成工程和产业化项目20多项,先后在 *Environmental Science & Technology*、*Bioresource Technology*、*Environmental Pollution* 和《科学通报》等国内外著名期刊发表学术论文230多篇(*SCI*收录60篇、*EI*收录70余篇),申请发明专利26项(已授权17项),获得软件版权2项、省部级科技奖励6项。E-mail: chentb@igsnrr.ac.cn