

土壤重金属污染的环境监测方法与风险评估研究

李学科

甘肃省定西生态环境监测中心

DOI:10.12238/eep.v7i11.2334

[摘要] 深入剖析土壤重金属污染的环境监测与风险评估技术,融合国内外前沿研究与实践,构建科学、系统且高效的监测评估体系。借助采样分析、地球物理勘查、遥感技术和数学模型,达成对污染的精准量化评估,重点阐述Monte Carlo模拟于人体健康风险评估之应用,并经实例验证方法的有效性与可靠性。

[关键词] 土壤重金属污染; 环境监测; 风险评估

中图分类号: X83 文献标识码: A

Study on environmental monitoring methods and risk assessment of soil heavy metal pollution

Xueke Li

Gansu Dingxi Ecological Environment Monitoring Center

[Abstract] This paper deeply analyzes the environmental monitoring and risk assessment technology of soil heavy metal pollution, integrates cutting-edge research and practice at home and abroad, and builds a scientific, systematic and efficient monitoring and assessment system. With the help of sampling analysis, geophysical exploration, remote sensing technology and mathematical models, an accurate quantitative assessment of pollution is achieved, focusing on the application of Monte Carlo simulation in human health risk assessment, and verifying the effectiveness and reliability of the method through examples.

[Key words] heavy metal pollution in soil; environmental monitoring; risk assessment

引言

在工业化与城市化迅猛发展的当下,土壤重金属污染已成为严重的环境问题,对生态平衡和人类健康产生了巨大威胁。重金属在土壤中具有累积性和不可降解性,其污染的隐蔽性强,一旦超过环境容量,可能引发一系列生态灾难,如植被破坏、土壤肥力下降等,同时通过食物链传递,危害人体健康。因此,迫切需要建立完善的环境监测与风险评估体系,为土壤重金属污染治理提供科学依据。本文围绕这一核心,从技术方案设计到技术工作实践总结,全面深入地展开研究。

1 技术方案

1.1 采样与分析方法

1.1.1 采样点布设的科学性

采样作为环境监测的关键起始步骤,其采样点的布设是确保监测数据准确性的重要前提。采样点的确定需要综合考虑多种因素。首先,污染源的位置是核心要素,若污染源位于工业区域附近,应在其下风向和周边区域加密采样点,以捕捉重金属的扩散路径和浓度变化。对于农业污染来源,如污水灌溉区,则需根据灌溉水流向和范围合理设置采样点^[1]。其次,地形地貌对重金属的迁移和富集有显著影响,例如在山谷地区,重金属可能因

水流汇聚而富集,采样点应覆盖这些易富集区域。土壤类型的差异也不容忽视,不同质地的土壤对重金属的吸附能力不同,如黏土对重金属的吸附能力较强,在这些区域的采样密度需适当调整,从而保证采集的样品能够全面、准确地反映土壤重金属污染的实际状况。

1.1.2 分析方法的精准性

采集的土壤样品送往实验室后,需要运用高精度的分析方法来测定重金属含量。原子吸收光谱法(AAS)利用原子对特定波长光的吸收特性来测定元素含量,对于铅、镉等常见重金属具有较高的灵敏度和选择性。原子荧光光谱法(AFS)则是基于原子在特定条件下产生荧光的原理,对汞、砷等具有良好的检测效果。电感耦合等离子体发射光谱法(ICPOES)和电感耦合等离子体质谱法(ICPMS)能够同时测定多种重金属元素,ICPMS的检测限更低,可检测到痕量的重金属,在复杂土壤样品分析中具有明显优势。这些分析方法相互补充,能够准确测定土壤中各种重金属的含量,为后续的污染评价提供可靠的数据支持。

1.2 地球物理勘查技术

1.2.1 电磁法的原理与应用

地球物理勘查技术中的电磁法是一种重要的手段。它基于

不同介质在电磁场中的响应差异来探测土壤中的重金属污染情况。当土壤中存在重金属污染时,其电导率、磁导率等电磁特性会发生变化^[2]。例如,一些重金属离子的存在会改变土壤孔隙水的导电性,通过发射不同频率的电磁场并测量其响应,可以绘制出土壤电磁特性的剖面图,从而推断重金属污染的分布范围和深度。这种方法对于大面积的污染区域初步筛查非常有效,能够快速确定污染的大致区域,为后续的详细调查提供方向。

1.2.2 电阻率法的优势与局限

电阻率法同样是通过测量土壤电阻率的变化来间接反映重金属污染状况。在无污染的情况下,土壤的电阻率具有一定的范围,而重金属污染会改变土壤的孔隙结构和离子浓度,进而影响电阻率。这种方法的优势在于操作相对简单,成本较低,能够非破坏性地获取土壤内部信息。然而,它也存在一定的局限性,例如,土壤湿度、温度等环境因素可能对电阻率测量结果产生干扰,需要在数据解释过程中加以考虑和校正。

1.3 遥感技术

1.3.1 多光谱与高光谱遥感的原理

遥感技术在土壤重金属污染监测中具有独特的优势。多光谱遥感通过获取不同波段的光谱信息,能够识别土壤表面的反射光谱特征变化^[3]。不同的重金属污染程度会导致土壤的光谱反射率在某些波段上出现差异,例如,某些重金属可能会使土壤在可见光波段的反射率降低,而在红外波段的反射率升高。高光谱遥感则具有更高的光谱分辨率,能够获取更详细的光谱曲线,进一步提高对重金属污染程度和范围的识别精度。通过分析这些光谱特征,可以快速、大面积地监测土壤重金属污染情况,为污染预警和宏观决策提供有力支持。

1.3.2 遥感技术在大尺度监测中的作用

在大尺度的土壤重金属污染监测中,遥感技术发挥着不可替代的作用。它可以快速覆盖大面积的区域,及时发现潜在的污染热点。与传统的地面监测方法相比,遥感技术大大提高了监测效率,降低了成本。例如,对于一个城市周边的农业土壤和工业废弃地的大面积监测,利用遥感影像可以在短时间内获取整个区域的土壤信息,通过建立合适的光谱模型,可以快速判断出哪些区域可能存在重金属污染,从而有针对性地进行地面采样和详细调查,实现对大尺度污染的有效监测和预警。

1.4 风险评估方法

1.4.1 单因子污染指数法的原理与评价

风险评估是土壤重金属污染管理的核心环节。单因子污染指数法是一种简单直观的评估方法,它通过计算土壤中某一重金属元素的实测含量与该元素的评价标准值之比来评价其污染程度^[4]。例如,对于土壤中的镉元素,如果实测含量为C,评价标准值为S,则单因子污染指数 $P=C/S$ 。当 $P \leq 1$ 时,表示该重金属元素未超标,土壤未受到污染。当 $P > 1$ 时,则表明土壤受到污染,P值越大,污染程度越严重。这种方法能够快速确定单一重金属元素的污染状况,为初步评估土壤质量提供依据。

1.4.2 内梅罗综合污染指数法的全面性

内梅罗综合污染指数法则是在单因子污染指数的基础上,综合考虑了土壤中所有重金属元素的污染情况。它通过特定的计算公式,将各个单因子污染指数综合起来,得到一个能够更全面评价土壤污染程度的指数。这种方法考虑了多种重金属元素之间的相互作用和综合影响,避免了单一元素评价的片面性。例如,在一个同时受到铅、镉、汞等多种重金属污染的土壤区域,内梅罗综合污染指数能够更准确地反映土壤整体的污染水平,为制定污染治理策略提供更科学的依据。

1.4.3 潜在生态危害指数法的内涵

潜在生态危害指数法不仅关注重金属元素的含量,还考虑了其生态毒性和环境敏感性。该方法根据重金属的毒性系数和污染程度,计算出潜在生态危害指数。不同的重金属具有不同的毒性系数,例如汞、镉等重金属的毒性系数较高,即使其含量较低,也可能对生态系统产生较大的危害。这种评估方法能够更深入地分析重金属污染对生态环境的潜在威胁,对于保护土壤生态功能和生物多样性具有重要意义。

1.4.4 健康风险评估法的应用途径

健康风险评估法主要针对土壤重金属通过经口摄入、皮肤接触和呼吸吸入等途径进入人体后对健康造成的潜在风险进行评估。对于经口摄入途径,需要考虑人们在日常生活中接触污染土壤的情况,如儿童在污染场地玩耍时误食少量土壤等。皮肤接触途径则涉及人们在接触土壤过程中重金属通过皮肤渗透进入人体的可能性。呼吸吸入途径主要针对土壤扬尘中的重金属被吸入人体的情况。通过对这些途径的分析和量化,结合重金属的生物可利用性等因素,可以评估土壤重金属对人体健康的潜在风险,为保障公众健康提供科学依据。

2 Monte Carlo模拟在人体健康风险评估中的应用

2.1 Monte Carlo模拟的原理

Monte Carlo模拟是一种基于概率统计的数值分析方法,它通过大量的随机抽样来模拟复杂系统的行为。在土壤重金属污染的人体健康风险评估中,人体健康风险受到多种因素的影响,这些因素具有不确定性和随机性,如重金属在土壤中的分布不均匀、人体对重金属的吸收效率差异等。Monte Carlo模拟通过对这些风险变量进行概率分布假设,然后进行大量的随机抽样计算,从而得到风险评估结果的概率分布,能够更准确地刻画人体健康风险评估系统的不确定性和随机性特征^[5]。

2.2 风险变量的识别与量化

在应用Monte Carlo模拟时,首先需要对风险变量进行识别和量化。风险变量包括土壤中重金属的含量、人体暴露参数(如暴露时间、暴露频率等)、重金属的生物可利用性等。对于土壤中重金属含量,通过前面提到的采样分析方法获取其分布情况,并确定其概率分布模型,如正态分布、对数正态分布等。人体暴露参数则需要根据不同的人群(如儿童、成人)和不同的环境场景(如居住、工作)进行调查和统计分析,确定其合理的取值范围和概率分布。重金属的生物可利用性受到土壤性质、重金属形态等多种因素的影响,通过实验研究和数据分析,量化

其对人体健康风险的影响,从而为Monte Carlo模拟提供准确的输入参数。

3 实践案例分析

3.1 甘肃某典型区域的调查

以甘肃省白银市某区域为例,其位于白银市区周边,曾是重要有色金属冶炼地,周边有农地且交通干线纵横,土壤重金属污染风险复杂。

开展现场调查,此地长期有色金属冶炼产生废渣废气,农业灌溉水源或受污染,工业污染源集中于废弃冶炼厂旧址及周边,交通干线带来重金属沉降。该地地势平坦但有洼地,土地利用类型多样。据此制定采样计划,在工业源、农田、交通要道及居民区周边合理布点。

3.2 采样与分析结果

按照既定采样计划进行现场采样,采集的土壤样品及时送往实验室进行分析。采用原子吸收光谱法(AAS)、电感耦合等离子体质谱法(ICPMS)等先进分析技术,对土壤中的多种重金属元素进行精准测定。

分析结果显示,土壤中主要的重金属污染物为铅、镉、砷、铜等。其中,部分靠近冶炼厂旧址和交通要道的采样点,铅含量最高达到了350mg/kg,镉含量最高达到了5mg/kg,均远超甘肃省当地的土壤环境质量标准(铅标准值为80mg/kg,镉标准值为0.3mg/kg)。地球物理勘查中,电磁法证污染区电磁特性变,电阻率法证地下电阻率异常,证实污染分布与采样分析吻合,表明土壤污染严重。

3.3 污染评价与风险评估

用内梅罗综合污染指数法和潜在生态危害指数法评估。内梅罗指数显示综合污染程度中度至重度,多种重金属协同影响大。潜在生态危害指数表明镉、砷等潜在危害极高,威胁土壤生态系统。

运用Monte Carlo模拟评估人体健康风险,考虑居民经口摄入、皮肤接触、呼吸吸入等途径。结果显示儿童和长期农田劳作成人风险较高,儿童因好动、卫生意识弱,玩耍时易接触污染土且有经手入口习惯,经口摄入重金属风险大增。

基于评估,应隔离污染区,开展土壤修复,如化学与植物修复结合,加强居民健康监测,重点关注儿童和高暴露人群,以保障居民健康和生态环境。

4 技术工作总结

本文提出的土壤重金属污染环境监测与风险评估体系,是多种技术手段的有机结合。通过合理布设采样点和运用先进的分析方法,保证了对土壤重金属含量数据的准确获取。地球物理

勘查技术作为一种非破坏性的大面积筛查手段,与遥感技术的高效大面积监测相互配合,能够快速定位污染区域和初步判断污染程度。多种风险评估方法从不同角度对土壤重金属污染的风险进行了全面评估,特别是Monte Carlo模拟在人体健康风险评估中的应用,提高了评估结果的准确性和科学性。

通过甘肃省白银市某区域实践,凸显该体系应对复杂土壤重金属污染的有效可靠。此体系具有高效、精准、经济优势,工业与农业污染区域均适用。该区域污染来源复杂,体系凭借多种技术结合成功应对。从采样到分析再到评估各环节紧密,AAS和ICPMS精准测重金属,指数法揭示污染程度风险,Monte Carlo模拟剖析人群健康风险。其为治理提供支撑,帮助资源分配与方案制定,保护生态与居民健康,推动区域可持续发展。

5 结论

本文深入探讨了土壤重金属污染的环境监测方法与风险评估技术,构建的科学、系统且高效的监测评估体系经实践证明,可准确识别污染状况并全面评估生态与人体健康风险,但鉴于科技发展和环保要求提高,该技术仍有完善空间。未来,要建立广泛的土壤重金属污染监测数据平台以促进数据共享,利于分析污染时空变化规律,完善评价标准时需考虑土地利用类型和区域环境特点等因素使结果更贴合实际,同时发展多元化评价方法,比如将生物监测指标纳入评估体系,研究土壤微生物、动植物对污染的响应来更全面评估土壤生态系统健康状况,此外,还可利用人工智能和大数据技术,探索机器学习算法对污染数据深度挖掘分析,提高监测评估精度和效率,为土壤重金属污染防治提供更强保障。

[参考文献]

- [1]胡兆鑫,罗为群,吴泽燕.基于土地利用的岩溶县土壤重金属污染风险评价与来源解析[J].中国地质,2024(6).
- [2]董鑫,胡浩然,张晓晴,等.基于Meta分析的矿区周边土壤重金属污染特征及风险评价[J].地学前缘,2024,31(2):93-102.
- [3]杨琰琰,陈潇涵,张晓晴,等.基于Meta分析的2000-2022年中国茶园土壤重金属污染风险评价与来源分析[J].茶叶科学,2024(001):044.
- [4]许青阳,肖凯琦,张俊,等.土壤-猕猴桃系统重金属污染研究及猕猴桃健康风险评估[J].环境化学,2024(3).
- [5]许浩瀚,蔡忠丽,丁佳雨.某肥料厂地块土壤重金属污染分布及风险研究[J].环境科学与技术,2024,47(S01):181-188.

作者简介:

李学科(1988--),男,汉族,甘肃定西人,硕士研究生,中级工程师,研究方向:环境监测和环境质量评价。