

浅谈土壤环境质量监测

王 龙

塔城生态环境监测站 新疆 塔城 834700

摘要：土壤环境质量监测是掌握土壤环境质量状况的重要措施。通过科学布点采样、分析测试，能精准获取土壤中污染物种类、浓度等信息。它不仅可评估土壤环境质量状况，为土壤污染防治提供依据，还能助力农业可持续发展，保障农产品质量安全。同时，监测数据有助于了解土壤环境变化趋势，为生态环境规划与管理提供支撑，对维护生态平衡和人类健康意义重大。

关键词：土壤环境；质量监测；应用

引言：土壤，作为生态系统的基础要素，是人类生存与发展的物质根基。它不仅孕育了万物生灵，支撑着农业生产，还对维护生态平衡起着关键作用。然而，随着工业化、城市化进程的加速，土壤面临着污染等诸多严峻挑战，其质量状况受到一定的干扰。在此背景下，土壤环境质量监测显得尤为重要。它如同土壤的“体检官”，能及时洞察土壤质量变化，为土壤保护、修复及合理利用提供科学依据。

1 土壤环境质量监测的理论基础

1.1 核心概念界定

(1) 土壤环境质量的定义与评价指标：土壤环境质量是指土壤环境对人类生存与发展的适宜程度，反映土壤中污染物的累积状况及对生态系统和人体健康的潜在影响。其评价指标体系涵盖物理、化学及生物学三类核心指标，物理指标包括土壤质地、容重等，化学指标涉及pH值、重金属含量、有机物浓度等，生物学指标则包含土壤微生物量、酶活性等，可全面表征土壤环境的质量状况。(2) 土壤污染类型：根据污染物性质可分为重金属污染、有机物污染、放射性污染及其他类型污染。重金属污染以汞、镉、铅等为主，具有累积性和难降解性；有机物污染包括多环芳烃、农药残留等，易通过食物链富集；放射性污染多源于核工业活动，会长期危害生态与人体健康；此外还存在病原菌、抗生素等新型污染类型。

1.2 监测的法律依据与政策框架

土壤环境质量监测以《中华人民共和国土壤污染防治法》为核心法律依据，明确了监测的法定责任、范围与要求，尤其强调了现场采样的规范性与质量控制的强制性要求。同时依托《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准》《土壤环境质量建设用地土壤污染风险管控标准》等系列国家标准，细化了现场采样的技术参数、质量控制流程及采样记录规范。此外，国家“土壤污染防

治行动计划”等政策文件，进一步明确了监测网络建设中采样点位的布设原则、跨区域采样协同要求及采样数据的溯源管理，形成了覆盖采样全流程的法律政策保障框架。

1.3 监测的科学原理

(1) 污染物迁移转化规律：污染物进入土壤后，会通过吸附-解吸、扩散、淋溶等物理过程，以及氧化还原等化学过程，在土壤固、液、气三相介质中迁移转化，其迁移速率与转化方向受土壤质地、pH值、微生物群落等因素影响。该规律为现场采样点位的布设、采样深度的确定及采样频次的设定提供核心依据，确保采样能精准捕捉污染物的时空分布特征。(2) 土壤-植物-人类健康风险评估模型：该模型以污染物在土壤-植物系统中的富集系数、人体暴露途径为核心参数，量化污染物迁移链条及健康危害程度，直接指导采样点位的优先级排序、特征污染物采样指标的筛选，确保采样工作针对性强、数据能有效支撑风险管控决策^[1]。

2 土壤环境质量监测技术体系

2.1 传统监测核心：现场采样与基础质量控制

传统监测技术的核心在于规范的现场采样及全流程质量控制，实验室分析仅作必要辅助验证。采样环节需严格遵循科学性布点原则，核心布点方式包括网格布点、随机布点、系统布点及针对性布点，其中网格布点适用于大面积均匀区域，随机布点需满足统计随机性要求，针对性布点则聚焦污染疑似区域；布点过程需结合土壤类型、土地利用方式、地形地貌等因素，确保样品代表性。采样实施需严格把控关键环节：采样工具需提前清洗，避免交叉污染；采样深度根据监测目的确定，农用地需覆盖耕作层与犁底层，工业场地需兼顾表层与深层土壤；质量需满足后续必要检测及留样要求，同时做好分层标记与采样记录^[2]。质量控制方面，需设置空白样、平行样，

空白样用于排查采样过程污染,平行样比例不低于10%,确保采样数据的可靠性;采样后样品需规范保存与运输,根据污染物特性选择合适保存条件,避免运输过程中污染物形态变化。实验室分析仅针对核心特征指标开展简约检测,保障数据基础有效性即可。

2.2 现代快速监测技术:现场采样赋能与高效管控

(1) 便携式检测设备与现场采样协同:以X射线荧光光谱仪、近红外光谱仪为代表的便携式设备,实现现场采样与快速检测一体化。采样人员在现场完成样品采集后,可直接利用设备进行检测,X射线荧光光谱仪数分钟内即可完成重金属定性定量分析,近红外光谱仪可快速筛查有机物污染物,无需将样品带回实验室,大幅缩短监测周期。该模式尤其适用于污染排查阶段的采样验证,可根据现场检测结果实时调整采样点位与采样范围,提升采样针对性。(2) 遥感与GIS技术支撑采样优化:遥感技术通过卫星或航空传感器捕捉土壤表层光谱信息,快速识别大面积污染疑似区域,为采样点位的初步布设提供宏观指引;GIS技术整合遥感数据、土壤类型数据、土地利用数据等,构建空间分析模型,精准规划采样点位的空间分布,规避采样盲区。同时,GIS可实时记录采样点位的空间坐标,实现采样数据的空间溯源,为后续污染范围分析提供支撑。(3) 生物监测辅助采样筛选:依托微生物、植物指示物种的生理响应,辅助判断采样重点区域。通过观察植物指示物种(如紫花苜蓿)的生长状态,可初步锁定污染区域,再在该区域内开展精准采样;分析土壤微生物群落结构变化,可辅助确定采样深度与频次,确保采样能捕捉到土壤污染的生态影响特征,提升采样的生态相关性^[3]。

2.3 新兴技术展望:采样智能化与全流程管控

(1) 物联网与智能传感器网络:通过在监测区域布设智能传感器,实现土壤指标的连续感知与采样需求精准触发。传感器实时监测土壤温湿度、pH值及污染物浓度变化,当数据出现异常时,自动发出采样预警,指导工作人员开展针对性采样。物联网技术将传感器数据与采样数据实时联动,构建“感知-预警-采样-验证”一体化体系,提升采样的时效性与精准性,减少盲目采样。(2) 大数据与人工智能优化采样策略:大数据技术整合历史采样数据、气象数据、污染溯源数据等,挖掘土壤污染演变规律;人工智能算法通过分析海量数据,预测污染扩散趋势,提前规划采样点位与采样频次。同时,AI可对采样数据进行实时校验,识别采样过程中的异常数据,辅助排查采样误差,提升采样数据质量。

3 土壤环境质量监测的应用

3.1 农业土壤监测:采样聚焦农业生产耕地

(1) 耕地质量监测与安全利用:采样工作聚焦耕地耕作层与犁底层,核心监测指标包括土壤肥力指标、重金属含量及关键理化性状。采用网格布点与针对性布点结合方式,在连片耕地实施网格布点,在化肥农药高施用区域、污水灌溉区域增设针对性采样点。通过长期动态采样,掌握耕地质量演变规律;采样过程严格设置平行样与空白样,确保数据可靠。针对不同污染等级耕地,基于采样数据制定安全利用方案,轻度污染区域优化采样频次,重点监测污染物变化趋势;中度、重度污染区域加密采样点位,跟踪修复措施实施效果。(2) 农药化肥残留动态监控:采用“定期常规采样+随机抽查采样”模式,常规采样按种植周期开展,覆盖播种前、生长期、收获后关键节点;随机抽查采样聚焦农产品采收前关键期,针对高风险地块开展突击采样。采样过程中需规范保存样品,避免残留污染物挥发或降解;结合便携式设备现场快速检测,实时判断残留超标情况,及时调整采样范围。基于采样数据划定农药化肥施用安全阈值,为科学种植提供指导,降低残留污染风险。

3.2 工业污染场地监测:采样精准检测与管控

(1) 重金属管控地评估:采样采用“对照点+监测点”布设模式,对照点设置在未污染区域,监测点按修复区域网格布设,重点覆盖厂界、环境敏感点。采样深度需覆盖污染层与未污染层,跟踪重金属在不同土层的迁移变化;采样频次按修复阶段设定,修复初期加密采样,后期按周期常规采样。通过长期采样监测重金属总量及有效态含量变化,结合土壤理化性质指标,综合研判治理效果;针对采样数据不达标的区域,调整治理方案并优化采样点位^[4]。(2) 工业废弃地风险管控:采样核心是构建三维污染空间分布,采用系统布点与加密布点结合,在废弃地周边、地下水流向上下游增设采样点,采样深度根据场地地质条件确定,确保覆盖全部污染深度。通过多点位、多深度采样,精准识别高风险区域;采样数据与场地地质数据结合,构建三维污染模型,为风险管控措施制定提供依据。高风险区域采样需增加平行样比例,确保数据可靠性,为土壤治理、隔离阻断等措施提供支撑。

3.3 城市土壤监测:采样聚焦交通与绿地核心场景

(1) 交通源污染分布特征:采样沿城市主干道、交叉口、停车场等交通密集区域梯度布设,设置不同距离梯度采样点,覆盖道路两侧0-50米范围;采样深度分为表层(0-20cm)与深层(20-60cm),分析污染垂直分布差异。结合交通流量、道路年限数据,同步记录采样点位的交通相关参数,量化交通源污染贡献度。采样频次

按季节开展,重点监测交通高峰期后污染变化;通过连续采样掌握污染扩散范围与衰减规律,为交通污染防治提供依据。(2)城市绿地土壤健康评价:采样按绿地类型分类开展,覆盖公园绿地、道路绿地、居住区绿地等,采用随机布点方式,每个绿地类型设置不少于3个采样单元。采样指标涵盖土壤理化指标、生物学指标及污染物含量,采样深度聚焦绿地植物根系分布层。通过综合采样分析,构建健康评价体系;针对不同绿地土壤状况,制定养护改良方案,采样数据为增施有机肥、植物种植等措施提供依据,提升绿地生态功能。

4 土壤环境质量监测的挑战与对策

4.1 当前面临的主要问题

(1)采样网络与数据溯源不足:监测采样网络区域布局失衡,偏远农村、山区等薄弱区域点位稀疏,存在采样盲区,难全面捕捉污染时空变化;采样与监测数据分散于多部门,缺乏统一溯源平台,点位坐标、采样记录等数据无法有效联动,制约整合分析价值。(2)采样标准与质控薄弱:不同部门、地区采样规范不统一,布点方法、采样深度等标准差异大,导致数据缺乏可比性;基层采样质控不到位,平行样、空白样设置不规范,采样工具清洗钝化不足,存在交叉污染风险,影响数据可靠性。(3)人才短缺与设备老化:基层采样人员专业素养参差不齐,缺乏系统培训,复杂场地采样能力不足;基层采样设备老化,便携式检测设备配备不足,工具精度欠缺,影响采样效率与数据质量。

4.2 改进策略与建议

(1)完善标准与网络规划:明确不同场景采样布点、参数等要求,保障数据统一性;科学规划采样网络,薄

弱区域增设点位,借助遥感、GIS优化布局消除盲区,建立点位动态调整机制。(2)强化质控与数据协同:建立全流程质控体系,加强人员操作培训,规范空白样、平行样设置,定期开展质量抽查;搭建跨部门数据共享平台,整合多类数据实现溯源与联动分析,公开信息畅通公众监督,提升公信力。(3)推进技术创新与人才培养:加大研发投入,推广智能、便携式采样设备,提升智能化水平;开展地州、省市之间的技术与经验交流和专业培训培养复合型人才,加强基层人员培训与考核,提升采样规范化水平。

结束语

土壤环境质量监测是守护土壤健康的前沿防线。通过持续、精准监测,我们得以清晰把握土壤污染动态,为防治工作提供坚实数据支撑。尽管当前监测技术不断进步,但仍面临诸多挑战,如复杂污染物识别、长期监测成本等。未来,需进一步加强技术研发与创新,完善监测体系,提升公众土壤保护意识。唯有如此,才能更好地维护土壤生态平衡,保障可持续发展,为子孙后代留下肥沃、健康的土地资源。

参考文献

- [1]王红梅,李晓明,陈志强.土壤环境监测中化学分析方法的优化与实践[J].环境科学研究,2021,34(7):168-169.
- [2]张建国,刘芳,赵伟.仪器分析技术在土壤污染物检测中的最新进展[J].分析化学,2022,50(5):765-768.
- [3]周丽,吴昊,孙婷.生物监测法在土壤生态环境质量评价中的应用研究[J].生态学报,2020,40(18):487-490.
- [4]杨军,李华,王强.遥感与GIS技术集成在土壤环境监测中的应用[J].测绘学报,2021,50(6):805-807.