

土壤环境监测样品处理与分析方法探讨

吴梦 王无忌

云南坤发环境科技有限公司, 中国·云南 昆明 650034

摘要: 土壤环境的健康状况直接关系到生态安全与农业可持续发展, 科学、规范的样品处理与分析是确保土壤监测结果可靠性的关键环节。土壤样品采集需要考虑空间代表性、采样方法与环境条件的差异, 前处理环节包括干燥、粉碎、筛分及均质化, 对污染物稳定性和检测精度具有显著影响。土壤理化指标及污染物检测涵盖基础理化性质、重金属、有机污染物及微量元素测定, 分析仪器技术如光谱、色谱及质谱联用方法的应用提升了监测准确性和效率。同时, 样品分析的质量控制与数据处理是确保监测结果科学性的重要保障, 为环境管理与污染防控提供可靠依据。

关键词: 土壤监测; 样品处理; 污染物分析; 理化指标; 质量控制

Discussion on Sample Processing and Analysis Methods for Soil Environmental Monitoring

Wu Meng, Wang Wuji

Yunnan Kunfa Environmental Technology Co., Ltd., China Yunnan Kunming 650034

Abstract: The health status of soil is directly related to ecological security and the sustainable development of agriculture, and scientific, standardized sample handling and analysis are crucial to ensure the reliability of soil monitoring results. Soil sampling requires consideration of spatial representativeness, sampling methods, and environmental conditions, while pre-treatment processes such as drying, grinding, sieving, and homogenization significantly affect pollutant stability and analytical accuracy. Determination of soil physicochemical properties and pollutants covers basic soil characteristics, heavy metals, organic contaminants, and trace elements. The application of analytical instruments, including spectroscopic, chromatographic, and mass spectrometry-based coupled techniques, enhances the precision and efficiency of monitoring. Furthermore, quality control of sample analysis and data processing is essential for the scientific reliability of results, providing a solid basis for environmental management and pollution prevention.

Keywords: Soil monitoring; Sample handling; Pollutant analysis; Physicochemical properties; Quality control

0 引言

土壤作为生态系统的重要组成部分, 对水资源调控、养分循环及植被生长具有基础性作用。随着工业化与城市化进程加快, 土壤面临重金属累积、有机污染物残留及土壤退化等多重威胁, 环境质量监测成为防控污染和保障农业安全的必要手段。科学的监测不仅依赖合理的采样设计, 还需要严格的样品前处理、精准的理化指标测定及先进的分析技术支撑。仪器分析方法的持续优化和质量控制体系的完善, 能够显著提高监测数据的可靠性, 为土地资源管理、污染治理及环境政策制定提供科学依据。同时, 通过系统研究样品处理与分析方法, 可推动土壤环境监测技术的标准化和规范化, 为环境保护和生态修复提供技术保障。

1 土壤环境监测样品采集策略与技术优化

1.1 土壤采样点科学布设及代表性评价

土壤采样点的布设应根据监测目的、土地利用类型及

地形地貌特征合理规划, 以保证采集样品能够充分代表区域土壤环境的整体状况。应结合土壤类型、植被覆盖及潜在污染源位置进行空间布局, 同时考虑样品间距离、地形坡度及水文条件对土壤性质的影响。通过采用网格布点、分层随机或重点监测相结合的方法, 可以有效提升采样的科学性和代表性。在采样设计中需对区域异质性进行评估, 结合历史数据、土地利用信息及污染风险等级, 确定采样点数量和分布密度, 并通过统计学方法对采样代表性进行验证, 确保采样方案既可反映整体环境状况, 又能突出关键污染区域, 为后续分析提供可靠基础。

1.2 不同类型土壤的采样方法与工具选择

土壤类型不同, 其结构特性、含水量及颗粒组成存在显著差异, 采样方法的选择应适应土壤实际条件。黏土、砂土及壤土在采样时对工具和操作方式要求不同, 黏土采样需避免压实和破坏土壤团粒结构, 砂土则需防止流失和

颗粒分层。针对浅层表土可采用铲取、刮取或环刀采样, 深层土壤则需使用取芯器或钻孔设备, 并注意不同土层的分层采集。采样工具应保证不与土壤发生化学反应且易于清洁, 采样过程中避免交叉污染, 必要时使用一次性或经严格清洗的采样器具。采集过程中还需记录土壤层位、颜色、质地及现场环境条件, 确保样品信息完整, 为实验分析提供精确背景。

1.3 采样时间、频次及环境条件对结果的影响

采样时间和频次对土壤监测结果具有直接影响, 应考虑季节变化、降水条件及农作物生长周期等因素。雨季采样可能引起土壤水分波动, 影响污染物迁移和溶解度, 旱季采样则可能导致表层土壤干裂和样品取样困难。监测频次需根据污染风险、环境敏感性及管理需求进行科学安排, 高风险区域应增加采样频率以捕捉污染波动趋势, 而常规区域可适度降低频率以节约资源。环境条件如温度、湿度及风力对样品稳定性及污染物分布也有显著作用, 应在采样记录中详细记录并在分析时加以考虑, 以确保采样数据的可比性和科学性, 为环境管理提供准确依据^[1]。

2 土壤样品前处理及保存方法研究

2.1 土壤样品干燥、冷藏与长期保存技术

土壤样品在实验室分析前必须采取适当的干燥或低温保存措施, 以保证样品的物理化学性质和污染物稳定性。空气干燥适用于一般理化指标的测定, 通过控制温度在30-40℃范围并保持通风顺畅, 可避免水分干扰, 同时减少有机污染物的热降解或挥发。对于易降解的有机物或微生物指标, 低温冷藏或冰冻保存是必要的, 可将样品温度控制在4℃或-20℃, 减缓生物降解及化学反应速度, 从而保持样品的真实性。长期保存则需要使用密封容器, 尽量排除空气或充入惰性气体, 如氮气或氩气, 以防止污染物氧化、挥发或交叉污染。样品在储存过程中应进行系统编号和标签管理, 并记录环境条件如温度、湿度和存放时间, 确保样品信息完整可追溯。规范的保存方法能够维持土壤样品在不同分析阶段的稳定性, 保障后续实验结果的可靠性和可比性, 为科学监测和环境评价提供坚实基础。

2.2 样品粉碎、筛分及均质化对分析精度的作用

粉碎、筛分与均质化是土壤样品前处理的重要环节, 直接影响分析精度和结果重现性。通过粉碎可将土壤颗粒破碎至适宜粒径, 有效消除样品颗粒差异引起的分析偏差。针对热敏感或易挥发污染物, 应采用低温粉碎和轻柔研磨, 避免操作过程中产生热量而造成污染物损失。筛分能够去除大块杂质及不均匀颗粒, 使样品粒径分布一致, 保证仪

器分析的准确性和数据可比性。均质化处理可使样品各组分充分混合, 确保污染物在整个样品中均匀分布, 有助于多指标同步测定和重复实验。处理完成后, 样品应进行充分混匀并分装储存, 以减少分析过程中样品差异对结果的影响。科学规范的粉碎、筛分及均质化流程能够显著提高土壤理化指标和污染物测定的精确度和可靠性, 为环境监测提供坚实的数据支持^[2]。

2.3 样品前处理环节对污染物稳定性与检测准确性的影响

土壤样品前处理过程对污染物的稳定性和分析准确性具有关键影响, 不当操作容易导致污染物的挥发、降解或迁移, 从而影响监测结果的可靠性。针对不同类型污染物, 应合理选择酸化、萃取、浸泡或衍生化处理方法, 避免在处理过程中损失目标物或引入干扰。水分控制、温度调控以及光照屏蔽可降低易挥发或光敏污染物的损失风险, 确保样品特性不发生变化。前处理操作需严格遵守实验规程, 保证样品信息完整, 防止交叉污染, 确保分析数据可重复。通过系统评估和优化前处理流程, 可以提高污染物分析的科学性和精度, 实现对土壤中各类污染物的准确检测。规范化的前处理方法不仅保障实验结果可靠, 也为土壤污染监测、环境风险评估及管理决策提供科学依据。

3 土壤理化指标及污染物测定技术

3.1 土壤基础理化性质精确测定方法

土壤理化性质测定是土壤监测的基础环节, 涉及土壤质地、pH值、有机质含量、全氮、全磷及阳离子交换量等指标。土壤质地通过粒度分析法测定, 常用的湿筛分与激光粒度仪结合, 可测定土壤砂、粉砂和粘土含量, 粒径精度可达1微米, 数据可用于表征土壤颗粒分布和结构特性。pH值测定采用1:2.5土壤水比悬液法, 通过精密pH计测量, 可达到±0.01的精度。土壤有机质含量采用重铬酸钾氧化-滴定法或快速元素分析仪测定, 可提供百分比精确数据, 同时可通过干燃法测定有机碳含量。全氮和全磷采用凯氏定氮法和硫酸-过氧化物消解结合分光光度法, 氮含量可精确至0.01%, 磷含量可检测至0.1 mg/kg。土壤阳离子交换量使用NH₄OAc置换法测定, 结合原子吸收光谱或离子色谱分析, 可获得钙、镁、钾、钠等阳离子浓度, 精度达到0.1 mmol/kg。通过以上方法系统测定土壤理化指标, 能够为污染物迁移规律、土壤肥力评价及环境管理提供精确、可靠的数据支持^[3]。

3.2 重金属、农药及有机污染物含量分析技术

土壤重金属测定通常采用酸消解与原子吸收光谱法或

电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 联合, 酸消解过程中使用 $\text{HNO}_3\text{-HClO}_4\text{-HF}$ 混酸体系, 将土壤中金属元素完全溶解。分析仪器对 Cd、Pb、As、Cu、Zn 等金属元素可实现 $\mu\text{g/kg}$ 级精度检测, 线性范围 0.1-500 mg/kg, 数据可反映土壤污染累积水平。农药残留检测采用固相萃取 (SPE) 或 QuEChERS 前处理结合气相色谱-氮磷检测器 (GC-NPD) 或液相色谱-串联质谱 (LC-MS/MS), 可同时检测多种有机氯、有机磷及拟除虫菊酯类农药, 检出限可达 0.01-0.05 mg/kg。土壤有机污染物如多环芳烃 (PAHs)、多氯联苯 (PCBs) 及挥发性有机化合物 (VOCs) 采用索氏提取、固相微萃取 (SPME) 及超声辅助溶剂提取结合 GC-MS 或 LC-MS 分析, 能够提供高精度浓度数据, 检测下限可至 $\mu\text{g/kg}$ 级。通过严格的前处理和高灵敏仪器分析, 监测结果能够准确反映土壤中重金属与有机污染物的分布特征和环境风险。

3.3 土壤微量元素、有机质及碳氮比测定方法

微量元素如 Mn、Fe、Ni、Cr、Co 在土壤中含量低但生态效应显著, 常通过酸消解结合 ICP-MS 或电感耦合等离子体原子发射光谱 (ICP-OES) 测定, 数据精度可达到 0.1-1 mg/kg。土壤有机质含量可采用重铬酸钾氧化滴定法或元素分析仪直接测定有机碳, 检测精度 $\pm 0.1\%$, 可反映土壤肥力及微生物活性。全氮含量通过凯氏定氮法测定, 精确到 0.01%, 与有机碳数据结合可计算土壤碳氮比 (C/N), 碳氮比能够评价土壤分解速度、养分循环和污染物降解潜力^[4]。土壤微量元素分析需要结合标准物质校正, 保证数据可比性, 同时采用重复测定和空白对照消除干扰。碳氮比和有机质含量与微量元素分析结合, 为土壤质量评价、污染风险分析及环境管理提供科学依据, 能够准确揭示土壤营养状态和污染状况。

4 土壤污染物分析仪器与先进检测方法应用

4.1 光谱分析技术在土壤监测中的应用与优化

光谱分析技术广泛用于土壤元素及污染物含量测定, 包括原子吸收光谱 (AAS)、电感耦合等离子体发射光谱 (ICP-OES) 和等离子体质谱 (ICP-MS)。AAS 适用于单元素检测, 操作简便, Cd、Pb、Cu 等元素检测精度可达 0.1 mg/kg。ICP-OES 可同时分析多种元素, 波长选择 0.2-2 nm 范围, 检测线性范围 0.01-500 mg/kg, 可对土壤中主要和微量元素进行快速定量。ICP-MS 具备极高灵敏度, 能够测定 ppt 级微量元素, 适合复杂土壤样品分析。光谱技术在实际应用中需优化样品前处理, 酸消解完全溶解土壤颗粒和有机质, 消除基体效应, 同时通过标准加入

法和内标校正提高精度。结合软件处理和多元联合分析, 光谱技术能够提供高精度、高通量的数据, 为土壤污染监测和环境评价提供可靠技术支撑。

4.2 色谱分析技术及其土壤污染物检测适用性

色谱技术在土壤有机污染物分析中应用广泛, 常用方法包括气相色谱 (GC)、高效液相色谱 (HPLC) 及其串联质谱联用方法。GC 配合火焰光度检测 (FPD) 或氮磷检测器 (NPD) 可检测有机磷、硫磷及有机氯农药, 检测下限可达 0.01 mg/kg。HPLC 结合紫外或荧光检测器可检测多环芳烃 (PAHs) 及其他热不稳定有机物, 浓度可检测至 0.05 mg/kg。土壤样品通常需经过溶剂萃取、净化及浓缩处理, 固相萃取或 QuEChERS 法可提高回收率至 80-95%, 降低基体干扰。色谱条件如流速、柱温及溶剂体系对分离效果影响显著, 通过优化梯度洗脱程序和检测器参数, 可实现多组分污染物的高精度同时检测, 为土壤有机污染物监测提供可靠数据。

4.3 质谱及联用技术在复杂土壤样品分析中的应用

质谱及联用技术是复杂土壤样品分析的核心手段, 包括 GC-MS、LC-MS/MS 及 ICP-MS 与液质联用技术。GC-MS 适用于挥发性和半挥发性有机物, 能够提供结构信息和浓度数据, 检出限可达 $\mu\text{g/kg}$ 级。LC-MS/MS 用于热不稳定或极性有机物, 如农药及药物残留, 可实现多组分同时分析, 回收率一般为 85-95%, 相对标准偏差低于 5%。ICP-MS 与液质联用技术可同时分析土壤微量元素及同位素组成, 灵敏度高、线性范围宽, 检测限可低至 ppt 级^[5]。联用技术在实际应用中可有效消除基体干扰、提高选择性和准确性, 通过优化进样系统、色谱分离条件及质谱检测参数, 实现土壤中复杂污染物的精确定量和特征分析, 为环境监测、污染源追踪及风险评估提供高水平数据支撑。

5 结语

土壤环境监测样品处理与分析方法的科学性直接决定监测数据的准确性和可靠性。合理的采样策略、规范的前处理措施以及精确的理化指标和污染物测定技术, 为土壤质量评价提供了坚实基础。光谱、色谱及质谱等先进分析仪器的应用, 不仅提升了监测精度, 也增强了复杂样品中微量元素和有机污染物的识别能力。通过严格的质量控制和数据处理, 监测结果能够真实反映土壤环境状况, 为污染防治、土地管理和生态保护提供可靠依据。系统化、标准化的方法体系是推动土壤监测科学化和环境管理精细化的重要保障。

参考文献:

[1] 陆燕. 土壤环境监测样品采集与保存要点分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2026, 7(04):178-180.

[2] 孙家骏, 孙雨薇, 解倩. 土壤环境监测工作中的样品采集要点分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6(03):79-80+86.

[3] 黄国芳, 孙东山, 崔永峰等. 土壤污染环境监测的

质量控制方法研究[J]. 环境与生活, 2024(11):78-81.

[4] 王淑丽. 土壤环境监测的重要性及实践分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(18):62-64.

[5] 周柳茵. 土壤环境监测及全过程质量管控措施分析[J]. 皮革制作与环保科技, 2024, 5(17):86-88.

作者简介: 吴梦(1997.07.16), 女, 汉族, 云南省昭通市, 本科, 助理工程师, 研究方向: 环境检测。