



简述土壤环境监测质量控制问题及应对方法

张璐¹ 赵维娜¹ 方明月²

1 浙江信捷检测技术有限公司 宁波 315000

2 宁波天一绿色生态科技有限公司 宁波 315200

摘要: 为提升土壤环境监测的数据质量与结果准确性, 本文聚焦腐殖质中腐植酸组分在采样、实验分析及监管环节中的干扰机制, 深入剖析质量控制体系存在的薄弱环节, 并提出全过程质量保障路径。研究发现, 腐植酸作为腐殖质的主要组分, 因其官能团活性强、络合能力强, 在样品采集、保存与检测中均可能对目标污染物的提取与检测造成系统性干扰。通过优化采样材质、构建分层消解体系与引入全过程数字溯源手段, 可显著提升数据的稳定性与可靠性, 为提升土壤环境监测的技术支撑能力提供路径依据。

关键词: 土壤环境监测; 质量控制; 腐植酸干扰

中图分类号: TQ314.1, X53

文章编号: 1671-9212(2025)06-0107-04

文献标识码: A

DOI: 10.19451/j.cnki.issn1671-9212.2025.06.014

近年来, 在工业点源污染与农业面源污染叠加影响下, 土壤污染问题日益凸显, 对环境监测工作的覆盖范围、技术精度和数据质量等提出了更高要求。提升监测数据的科学性和准确性, 已成为推动土壤污染防治向体系化、精细化发展的关键, 也是推动生态环境治理现代化的重要技术支撑。腐殖质是土壤有机质的主要组成部分, 而腐植酸是腐殖质中最活跃的部分。腐植酸因其含有丰富的羧基、酚羟基等活性官能团, 具有较强的络合与吸附能力, 尤其在监测样品前处理过程中, 腐植酸易与重金属离子形成稳定络合物, 或包裹有机污染物, 若处理不当, 将导致目标污染物提取效率下降、测定结果偏低。土壤环境监测中, 需对腐植酸干扰进行有效识别与控制, 以保障数据质量。同时, 腐殖质、酶活性等理化参数的动态监测, 可辅助量化污染物的生物有效性及赋存形态, 揭示其在土壤—植物系统中的迁移规律^[1]。同时, 监测还能早期识别酸化、盐渍化或污染胁迫导致的土壤功能退化信号, 为环境质量标准适时修订与污染地块的风险精准管控提供支撑。

1 土壤环境监测质量控制问题

1.1 采样环节规范性不足, 源头数据失真风险高

在采样布点方面, 现有方案常忽略土壤类型空间异质性及腐殖质分布的分异特征, 仅依据网格法或随机法布设点位, 导致监测点位难以精准覆盖污染敏感区域或土壤属性突变带。采样工具材质选择也存在明显偏差, 部分操作使用普通碳钢采样器, 其表面易与土壤中游离态腐植酸和活性金属离子发生络合反应, 甚至释放铬(Cr)、镍(Ni)等微量元素, 直接干扰后续样品中目标污染物的检测准确性。样品采集深度控制缺乏统一标准, 多数情况下仅凭经验确定采样深度, 未能结合土壤发生层结构(如腐殖质层、淀积层)及污染物的垂直迁移规律进行科学调整, 导致所获混合样品中目标土层占比失衡, 进一步降低样品对监测区域土壤真实状况的代表性^[2]。

在样品保存方面, 容器选择未充分考虑土壤理化特性, 部分场景使用普通聚乙烯容器, 其内壁残留的增塑剂易溶出并污染土壤样品, 或与腐植酸发

[收稿日期] 2025-10-29

[作者简介] 张璐, 女, 1992年生, 工程师, 研究方向为监测与分析, E-mail: 2409645330@qq.com。

生特异性吸附, 改变腐植酸氧化分解速率, 破坏样品原始化学状态。样品转运过程中缺乏恒温恒湿控制, 温度波动会激发土壤微生物活性, 造成土壤 pH、电导率等易变参数发生不可逆变化; 湿度差异则可能导致水分蒸发或吸湿, 引起污染物浓度假性升高或降低。更为关键的是, 采样记录完整性不足, 未详细标注采样点位的土壤质地 (如砂质土、黏质土)、腐殖质含量及周边环境条件 (如农田施肥、工业排污等情况), 导致数据异常时无法有效追溯误差来源。这些问题共同加剧了源头数据失真风险, 为整个土壤环境监测质量控制体系埋下核心隐患。

1.2 实验室分析精度把控薄弱, 数据准确性存疑

在样品前处理阶段, 土壤腐植酸去除工艺中存在参数设定不一致的问题, 部分操作仅采用单一浓度硝酸消解, 未能有效破坏腐植酸分子结构中的芳香环和羧基官能团, 导致消解液中残留的腐植酸胶体包裹目标污染物 (如重金属离子、有机污染物), 从而阻碍污染物与检测试剂的充分反应, 最终削弱检测信号强度。此外, 前处理所用试剂的纯度未满足高精度检测的要求, 部分实验室选用分析纯盐酸替代优级纯试剂, 其中微量铁 (Fe)、锰 (Mn) 等杂质会与土壤中原有元素叠加, 造成检测结果出现系统性正偏差, 这种现象在低浓度污染物检测中影响尤为显著。

仪器设备校准与维护亦存在疏漏。原子吸收分光光度计、高效液相色谱仪等核心检测设备, 未严格执行每日检测前校准的标准, 仅每周进行一次粗略校准, 导致仪器因光源稳定性下降和检测器灵敏度波动而在连续检测过程中出现随机误差, 主要表现为基线漂移; 实验室环境控制也未充分考虑腐植酸特性, 检测区域温湿度波动范围超过 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 和 $\pm 5\%$, 湿度变化易引起试剂潮解变质, 温度波动则会改变腐植酸的溶解度与缔合状态, 进一步干扰检测体系的稳定性。更关键的是, 质量控制样品的使用频率不足, 多数检测批次仅在开始阶段进行一次质控验证, 未在检测过程中安排平行质控样品的测定, 导致无法及时识别和纠正检测偏差, 最终严重影响数据的准确性和可靠性^[3]。

1.3 质量控制体系机制不健全, 全过程监管缺位

当前质量控制体系缺乏针对土壤腐殖质特性的专项管控条款, 现有体系多参照通用环境监测标准, 未明确土壤样品从采集到检测各环节中对腐植酸稳定性的调控要求, 既未规定腐植酸含量较高土壤样品的特殊保存条件 (如低温避光环境下的保存时限), 也未制定腐植酸干扰情况下检测数据的校正方法, 导致不同实验室对同一土壤样品的检测结果出现显著偏差^[4]。同时, 体系内质量审核机制存在断层。内部审核仅侧重实验室分析数据的计算准确性, 未能覆盖采样点的布点合理性、样品转运过程中温湿度记录完整性等; 而外部审核周期过长 (通常每年仅 1 次), 难以及时发现体系运行中的动态缺陷, 使得质量问题长期潜伏、无法得到有效纠正。

全过程监管在关键环节存在明显缺失。采样阶段的现场监管多依赖人工巡检, 未广泛采用土壤墒情传感器、采样点定位记录仪等数字化监控手段, 难以实时核验采样深度、样品分装规范性, 尤其对腐殖质层与非腐殖质层样品的分装与隔离情况缺乏有效监控。实验室环节尚未实现检测数据的全链条追溯, 检测仪器生成的原始数据 (如腐植酸消解效率、污染物响应值等) 未与样品信息 (包括采样点位、土壤类型等) 实时关联, 出现数据异常时, 无法快速定位是样品前处理缺陷还是仪器误差导致。更关键的是, 监管结果与整改措施之间未形成有效闭环。所发现的质量问题仅以报告形式反馈, 缺乏明确的整改时限与复核标准, 导致同类问题屡次发生, 进一步加剧了全过程质量风险。

2 土壤环境监测质量控制问题的应对方法

2.1 规范采样全流程, 筑牢源头数据质量防线

在采样布点阶段, 首先依据土壤类型分布图与腐殖质含量预监测数据, 参考《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166—2004)^[5], 将研究区域划分为若干均质化采样单元, 然后采用“梅花形布点法”在各单元内布设 5 个采样点, 确保覆盖腐殖质高、中、低含量区域。采样工具的选择应与土壤属性相



匹配。针对腐殖质含量 $> 50 \text{ g/kg}$ 的土壤，选用内壁经抛光处理（粗糙度 $Ra \leq 0.8 \mu\text{m}$ ）的聚四氟乙烯材质采样器，以避免与腐植酸发生络合反应。采样器内径统一设定为 50 mm ，保证单次采样量 $\geq 100 \text{ g}$ ，满足后续分样需求。采样深度应结合土壤发生层剖面确定，按腐殖质层（ $0 \sim 20 \text{ cm}$ ）和淀积层（ $20 \sim 60 \text{ cm}$ ）分层采集，每层采样厚度误差不超过 $\pm 1 \text{ cm}$ ，且每层样品单独装入经 10% 硝酸浸泡 24 h 并烘干处理的棕色玻璃容器中，以消除残留杂质干扰。

在样品保存与转运环节，技术人员需在采样后 1 h 内完成样品的分装，将每个样品分为检测样与备份样，备份样保存于 $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ 低温冰箱中，期限为 6 个月；转运过程中需使用带恒温功能的采样箱，箱内温度应控制在 $4 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ ，相对湿度维持在 $50\% \sim 60\%$ ，箱内放置温度记录仪每 15 min 自动记录一次温湿度数据，确保全程温湿度波动符合要

求。此外，采样记录需包含关键参数，除包括点位坐标、采样时间等常规信息外，还需记录采样区域土壤质地（如砂粒、黏粒含量占比）、腐殖质碳氮比（ C/N ）及采样工具清洁度验证结果。所有记录采用电子表单实时上传至监测平台，实现采样数据的即时溯源，从细节上降低源头数据失真风险。

2.2 强化实验室全要素管控，提升分析数据准确性

在样品前处理阶段，应依据土壤环境中腐殖质含量与赋存状态的空间差异，构建与土地类型相适应的腐植酸去除工艺，使预处理流程兼顾样品代表性与腐植酸干扰清除效率。特别是在高腐殖质样品中，腐植酸的芳香环结构与络合能力对重金属与有机物提取造成显著干扰，需通过精细化控制酸液浓度、消解温度及保温时间加以消除。表 1 列出了不同腐殖质含量等级土壤样品的腐植酸去除工艺参数，具体工艺已通过实验验证，腐殖质去除率可达到 $\geq 95\%$ ，为后续分析检测提供准确性保障。

表 1 不同腐殖质含量等级土壤样品的腐植酸去除工艺参数表

腐殖质含量 (g/kg)	酸液组合	消解温度 ($^\circ\text{C}$)	保温时间 (min)	升温速率 ($^\circ\text{C}/\text{min}$)	说明
高 (> 50)	$\text{HNO}_3 10\% + \text{H}_2\text{O}_2 30\%$	130	90	5	需多步加入，防止快速氧化导致泡沫冲击损失
中 ($20 \sim 50$)	$\text{HNO}_3 10\% + \text{H}_2\text{O}_2 20\%$	120	60	5	酸液总量可按样品量适当调整
低 (< 20)	$\text{HNO}_3 5\%$	110	45	5	可采用一次性加酸方式处理

注：表中参数按土地实际环境条件设定。

此外，所有酸液均需使用优级纯试剂（杂质含量 $\leq 0.0001\%$ ），标准溶液选用电子级别并经 ICP-MS 验证纯度，防止引入背景干扰。在常规操作中，土壤样品须先经风干、粉碎、过筛等处理。残渣需经去离子水洗涤至中性后，于 $50 \text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干并密封保存，避免吸湿与二次氧化。实验室还应加强检测设备的校准与环境管控。原子荧光光度计每日启用前，必须用 10 、 50 、 $100 \mu\text{g/L}$ 标准溶液绘制校准曲线，相关系数 R^2 不低于 0.999 ，否则需重新配制。高效液相色谱仪在每批次检测前应用甲醇水混合溶剂（ $50 : 50$ ）冲洗色谱柱 30 min ，确保系统稳定性。实验室环境需维持温度波动不超过 $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ，

湿度波动不超过 3% ，并于每日 $8:00$ 、 $14:00$ 、 $20:00$ 定时记录。每批次样品必须同步进行空白实验，其空白值应低于方法检出限的 $1/3$ ，如超标则需复核试剂与器皿清洁度。

腐植酸的存在会显著改变消解体系的氧化动力学，干扰目标污染物的释放与回收。需要评估前处理工艺在不同腐植酸含量条件下的适用性。为系统评估前处理工艺在不同腐植酸背景下的适用性，选取不同腐植酸含量的土壤样品（ $< 10 \text{ g/kg}$ 、 $10 \sim 30 \text{ g/kg}$ ），在联合氧化条件下进行加标回收实验。依据实际腐植酸赋存差异划分采样点，样品经风干、研磨、过筛处理后，分批加入已知浓度的



重金属（Cr、Pb）及典型有机污染物（PAHs）标准溶液，分别代表不同腐植酸含量背景下的污染物类型。实验在设定消解条件下进行 3 次平行处理，并使用 ICP-OES 与 GC-MS 仪器分别测定重金属与有机污染物回收率。加标回收率在 91.7% ~ 105.2% 之间，符合环境监测技术规范对土壤样品回收指标（90% ~ 110%）的要求（表 2）。对于腐植酸破

坏程度的定量评估，采用总有机碳（TOC）分析法测定样品（腐植酸含量 > 50 g/kg）消解前后溶液中 TOC 浓度变化率，TOC 去除率（92.4% ~ 96.1%）可以间接表征腐植酸的氧化率。可见，土壤中腐植酸经消解后，对污染物提取造成的包埋、络合等干扰可被有效削弱，从而保证污染物检测的准确性与方法的适用性。

表 2 不同腐植酸含量样品加标回收结果

腐植酸含量（g/kg）	加标污染物	回收率（%）
10 ~ 30	重金属（Cr、Pb）	93.3 ~ 105.2
< 10	有机污染物（PAHs）	91.7 ~ 103.4

2.3 完善质量控制体系建设，构建全过程保障机制

在质量控制体系建设方面，应针对土壤腐殖质的理化特性制定专项管控条款，明确从采样、保存到检测各环节中对腐殖质稳定性的控制要求。采样环节应设定腐殖质含量判定阈值，并规定高腐殖质样品需使用特定材质采样工具及独立密封容器分装，以防样品交叉污染。保存环节应建立统一标签标识制度，对腐殖质含量超标样品进行分类记录和优先检测；检测阶段应将腐植酸去除工艺纳入岗位

操作规程，要求技术人员严格执行分酸消解、温控处理及残留量复核等标准化步骤。数据管理环节应设立腐殖质样品专属档案，用于记录采样、消解、检测全过程参数，便于后续追溯和比对。体系审核应实行“外部半年一检、内部季度全程复核”的模式，审核范围覆盖采样布点匹配性、样品转运温湿度记录及腐殖质残留修正情况。审核结果以量化评分形式进行分级管理，并要求对发现问题实现 100% 闭环追踪和整改验证。主要管控要点见表 3。

表 3 质量控制体系关键环节管控要求

管控环节	核心指标	管控要点	核查频次
样品保存	腐殖质样品稳定性	依据腐殖质氧化速率及样品理化稳定性确定内部控制周期，防止腐殖质结构变化影响检测结果	每批次核查
数据修正	腐植酸残留量控制	需定期检测消解液中残留腐植酸比例，确保测定值未受残留干扰；若偏差超限，应重新进行预处理	按样品批次间隔检测
内部审核	体系运行完整性	审核范围应覆盖采样布点合理性、温湿度记录完整性及检测过程合规性	全流程审核，每季度开展一次
整改验证	问题闭环落实率	所有发现问题应形成整改台账，明确责任人、时限及验证方式，确保问题闭环处置	每次整改后复核验证

上述管控要求构成体系运行的技术基础，为后续全过程质量保障机制的实施提供制度支撑。在全过程保障机制建设中，应同步引入数字化监管手段。采样阶段应配置土壤养分快速测试仪，对采样点位的腐植酸含量进行现场测定，结果实时上传至监测

平台，并与布点方案预设数据进行比对，偏差超过 $\pm 10\%$ 时应自动触发复采流程。实验室阶段应建立检测数据全链条追溯系统，使腐植酸的消解效率、污染物响应值等原始检测数据能够自动关联采样坐标与土壤质地信息，并实时同步（下转第 128 页）



n1/2025/0719/c1004-40525423.html.

- [5] 农业部. 畜禽粪污资源化利用行动方案(2017—2020 年) [EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/XMYS/201707/t20170710_5742847.htm.
- [6] 农业农村部 财政部. 关于开展绿色种养循环农业试点工作的通知 [EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/202105/t20210514_6367691.htm.
- [7] 农业农村部 国家发展改革委 科技部 自然资源部 生态环境部 国家林草局. “十四五”全国农业绿色发展规划 [EB/OL]. http://www.moa.gov.cn/ztzl/ymksn/xhsbd/202109/t20210913_6376320.htm.
- [8] 临沂市生态环境局 临沂市农业农村局 临沂市行政审批服务局. 临沂市农业面源污染治理与监督指导实施方案(试行) [EB/OL]. <https://hbj.linyi.gov.cn/info/1043/52394.htm>.
- [9] 临沂市人民政府. 临沂市“十四五”推进农业农村现代化规划 [EB/OL]. <https://www.linyi.gov.cn/info/9319/322753.htm>.
- [10] 杜为研, 唐杉, 汪洪. 我国有机肥资源及产业发展现状 [J]. 中国土壤与肥料, 2020(3): 210 ~ 219.

- [11] 朱宁, 秦富. 蛋鸡粪有机肥生产效益分析 [J]. 黑龙江畜牧兽医, 2016(8): 6 ~ 8.
- [12] Wang R J, Pu P O, Du X Y, et al. The dynamic changes of nutrient and microbial succession in nanomembrane aerobic composting of tomato straw [J]. Polish Journal of Microbiology, 2025, 74(3): 347 ~ 362.
- [13] 杨金惠, 任兴超, 马爱玲, 等. 基于有机肥提质增效促进绿色种养循环技术研究 [J]. 农业开发与装备, 2024(11): 220 ~ 222.
- [14] 科技部 农业部. 农业废弃物(秸秆、粪便)综合利用技术成果汇编 [EB/OL]. https://www.most.gov.cn/xxgk/xinxifenlei/fdzdkgknr/qtwtj/qtwtj2015/201510/t20151020_122062.html.
- [15] 张静, 连炳瑞, 金亚茹, 等. 不同施肥处理对生菜产量、品质和经济效益的影响 [J]. 中国瓜菜, 2023, 36(10): 91 ~ 95.
- [16] 生态环境部. 规模化畜禽养殖场氨气减排量核算技术指南 [S/OL]. 征求意见稿. <https://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk06/202510/W020251012296507637932.pdf>.

(上接第 110 页)至平台,数据上传延迟不应超过 30 min。监管环节需建立“发现—反馈—整改—验证”闭环机制,要求在发现问题 24 h 内反馈至责任部门,整改方案应明确步骤和完成时限,整改完成后通过平行样检测进行验证,确保质量问题及时修正,实现全过程可控、可查、可追溯的监测质量保障体系。

3 结语

土壤环境监测质量控制体系的构建仍面临采样标准不统一、实验过程误差积累以及监管机制滞后等多重挑战,通过解决腐植酸干扰等关键问题,构建精细化、全过程的质控体系,是实现精准环境监测的必由之路。当前,尽管针对腐植酸干扰的精细化调控措施已初步形成体系,但在多源数据融合、实时追溯机制与区域联动响应等方面仍存在盲区。未来应进一步推动智能化监测设备在采样与分析环

节的应用,建立健全动态反馈与校正机制,推动土壤环境监测从静态合规向动态精准的转变,为复杂土壤系统中污染风险的前瞻性管控提供技术支撑。

参考文献

- [1] 高慧. 土壤环境监测质量控制问题及应对策略探究 [J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6(8): 27 ~ 29.
- [2] 程广兴, 牛勇, 王珑. 土壤环境污染监测与质量控制措施探讨 [J]. 皮革制作与环保科技, 2025, 6(6): 121 ~ 123.
- [3] 黄永强. 土壤环境监测质量控制问题及有效路径探析 [J]. 黑龙江环境通报, 2024, 37(5): 63 ~ 65.
- [4] 陈基圣. 关于土壤环境监测质量控制问题及有效路径探析 [J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2024(11): 230 ~ 233.
- [5] 国家环境保护总局科技标准司. 土壤环境监测技术规范: HJ/T 166—2004[S]. 北京: 中国环境出版社, 2004.