

毕节市煤矿区土壤中砷的环境调查及污染风险预测的研究

——土壤中砷元素的原子荧光法测定

姚娟, 骆肖, 王印, 杨颜滋, 吴永思

贵州工程应用技术学院化学工程学院, 贵州 毕节

收稿日期: 2025年2月21日; 录用日期: 2025年4月3日; 发布日期: 2025年4月21日

摘要

本研究采用原子荧光光谱技术对毕节市煤矿区周边土壤中的砷元素含量进行定量分析, 探讨煤炭中砷元素可能对人体健康造成的风险。基于环境中砷元素的污染浓度, 进一步建立了土壤砷的标准曲线, 为定量分析和环境风险评价提供科学依据。实验数据分析表明, 研究区域土壤中砷元素含量虽处于较高水平, 但仍低于国家土壤环境质量标准中的风险阈值。这一发现提示, 该地区应制定科学合理的土壤管理策略, 采取必要的防控措施以保障土壤资源的可持续利用。

关键词

土壤, 重金属, 砷, 原子荧光光谱法

Research on Environmental Investigation and Pollution Risk Prediction of Arsenic in Soil of Bijie City Coal Mining Area

—Determination of Arsenic in Soil by Atomic Fluorescence Spectrometry

Juan Yao, Xiao Luo, Yin Wang, Yanzi Yang, Yongsu Wu

School of Chemical Engineering, Guizhou University of Engineering Science, Bijie Guizhou

Received: Feb. 21st, 2025; accepted: Apr. 3rd, 2025; published: Apr. 21st, 2025

文章引用: 姚娟, 骆肖, 王印, 杨颜滋, 吴永思. 毕节市煤矿区土壤中砷的环境调查及污染风险预测的研究[J]. 土壤科学, 2025, 13(2): 97-105. DOI: 10.12677/hjss.2025.132012

Abstract

This study utilizes atomic fluorescence spectroscopy to quantitatively analyze the arsenic content in the soil surrounding the coal mining areas of Bijie City, investigating the potential health risks posed by arsenic in coal to human health. Based on the contamination levels of arsenic in the environment, a standard curve for soil arsenic was established to provide a scientific basis for quantitative analysis and environmental risk assessment. Analysis of the experimental data indicates that although the arsenic content in the soil of the study area is relatively high, it remains below the risk threshold specified in the national soil environmental quality standards. This finding suggests that the region should develop scientifically sound soil management strategies and implement necessary preventive measures to ensure the sustainable utilization of soil resources.

Keywords

Soil, Heavy Metals, Arsenic, Atomic Fluorescence Spectroscopy

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在国内电力需求的持续攀升，众多火电厂对煤炭资源的稳定供应依赖性日益增强，这推动了煤炭行业的快速发展并为其带来了显著的经济收益。在煤炭产业的扩张过程中，采矿活动及燃煤过程引发的环境问题日益凸显。煤炭企业在开采过程中对周边环境产生了多方面的负面影响，例如改变矿区的地质结构和生态景观、产生大量固体废弃物以及排放有害气体等，这些行为破坏了生态系统的平衡。为了有效保护生态环境和公众健康，开展土壤质量监测并制定科学的治理策略显得尤为重要。

砷元素在自然界中主要以砷化物的形态分布于岩石、煤炭、土壤及地下水等介质中。砷及其化合物在工业生产过程中可能通过多种途径进入土壤环境，而土壤作为农作物生长的基础和生态系统的重要组成部分[1]，其砷浓度直接关系到作物的安全性。研究表明，农作物尤其是蔬菜类对砷元素具有较强的生物富集能力。这种富集作用使得砷能够通过食物链在生物体内逐级传递，最终在人体内产生累积效应，可能会引发严重的健康问题。砷及其化合物通过呼吸道和皮肤接触等途径可进入生物体内，过量摄入可能引发急性或慢性砷中毒。慢性中毒症状包括脱发、皮肤黏膜损伤、消化功能紊乱等，急性砷中毒的临床表现主要包括消化系统和神经系统症状，具体表现为恶心、呕吐、剧烈腹痛及腹泻等消化道症状，同时伴有头痛、眩晕等神经系统症状，严重者可出现意识障碍甚至昏迷。鉴于砷及其化合物广泛应用于杀虫剂、除草剂、杀菌剂及防腐剂等产品中，加强对土壤中砷含量的监测显得尤为重要。

2. 实验材料与方法

2.1. 实验原理

在酸性介质中，向制备好的待测溶液中滴加还原剂，砷(As)在硼氢化钾(KBH_4)的还原作用下转化为砷化氢(AsH_3)。随后利用氩气作为载气，将生成的 AsH_3 导入预先设置的石英炉中。在高温环境中， AsH_3 经历热解反应转化为原子态的砷(As)。在砷空心阴极灯发射的光谱作用下，处于基态的砷原子会选择性地吸

收特征波长的光能,从而发生能级跃迁至激发态。这些受激原子在返回基态的过程中,会以光辐射的形式释放能量,产生特征原子荧光。实验表明,荧光辐射的光强与试样中砷元素的含量之间存在显著的线性相关性。通过标准曲线对比分析,可以准确测定样品中砷的含量[2] [3]。

2.2. 试剂

- ① 王水(Aqua Regia),按(1:3)比例配制,试剂级别为优级纯(GR)。
- ② 砷标准贮备液(As Standard Stock Solution),浓度为 1 mg As/mL。
- ③ 硼氢化钾溶液(Potassium Borohydride Solution);
- ④ 硫脲-抗坏血酸混合溶液(Thiourea-Ascorbic Acid Mixed Solution),质量分数为 5%。

2.3. 砷元素检测溶液的配制

王水的配制:先取浓硝酸与浓盐酸按照 1:3 的体积比例混合,充分搅拌使其反应均匀,随后加入蒸馏水稀释至原体积的两倍即得到所需王水溶液。

砷标准贮备液的制备:称取 0.6600 g As_2O_3 置于烧杯中,加入 10 mL 的氢氧化钠溶液(10%),加热搅拌到完全溶解。待测试样经室温平衡后,定量移入 500 mL 定容瓶中,采用去离子水定容至标准刻度线,经充分振荡混匀后制得均匀溶液。经测定,所配制母液中砷元素的质量浓度值为 1.00 mg/mL。

砷标准中间液的制备:使用经校准的移液装置精确量取 10.00 mL 砷标准母液,将其定量转移至 100 mL 定容瓶中。随后加入体积比为 1:9 的盐酸溶液进行稀释,直至液面达到刻度线位置,经充分振荡混合后,制得砷元素质量浓度为 100 $\mu\text{g/mL}$ 的标准工作液。

砷标准工作液的制备:使用经计量认证的移液器精确量取 1.00 mL 砷标准工作液,定量转移至 100 mL 容量瓶中。随后加入预先配制好的 1:9 (v/v) 盐酸-水混合溶液进行逐级稀释,当液面接近刻度线时改用滴管缓慢加液,直至弯月面底部与刻度线相切。将容量瓶塞紧后,采用上下翻转方式反复振荡 30 秒,静置 2 分钟后再重复振荡一次,确保溶液充分混匀。经上述操作制得砷元素质量浓度为 1.00 $\mu\text{g/mL}$ 的标准使用液,该溶液需现配现用,并在 4℃ 条件下避光保存。配制完成的工作液中砷的质量浓度为 1.00 $\mu\text{g/mL}$ 。

硼氢化钾溶液的制备:在分析天平上准确称取 0.20 g 氢氧化钾固体试剂,转移至 250 mL 烧杯中,加入约 80 mL 去离子水。使用磁力搅拌器在室温条件下持续搅拌,直至氢氧化钾完全溶解。随后缓慢加入 1.00 g 高纯度硼氢化钾粉末,继续搅拌约 15 分钟,确保还原剂充分溶解。将所得混合溶液定量转移至 100 mL A 级容量瓶中,使用去离子水分三次洗涤烧杯,每次用量 5 mL。将洗涤液沿玻璃棒定量转移至容量瓶中,确保转移完全。最后用滴管逐滴加入去离子水,使溶液弯月面最低点与刻度线相切,完成定容。该还原剂溶液需在通风橱中配制,配制后应立即使用,若需短暂保存,应置于 4℃ 冰箱中,且存放时间不得超过 4 小时,以保证硼氢化钾的还原活性。

硫脲-抗坏血酸混合溶液(5%)的制备:取硫脲(5 g)和抗坏血酸(5 g),溶于 100 mL 蒸馏水中,置于磁力搅拌器上以 500 rpm 转速搅拌使其完全溶解,静置 20 分钟后即可使用。该混合溶液需在配制后尽快使用,以维持其稳定性。

2.4. 实验仪器

荧光分光光度计:该荧光分光光度计能够高效检测样品中的砷元素,具有优异的灵敏度和特异性,适用于痕量砷的精准分析。仪器通过激发样品生成特征荧光并测量其强度,实现砷的定量分析,操作时需优化激发和发射波长以保证检测精度和重复性。

砷空心阴极灯:作为原子吸收光谱仪的核心光源,该装置专门用于砷元素的定量分析与检测。其通

过阴极放电产生砷的特征光谱, 提供稳定光强和窄谱线宽度, 确保高灵敏度和低背景干扰。使用时需预热并调节电流至最佳状态。

微波消解仪: 用于快速消解样品, 高效分解复杂基质中的砷。仪器利用微波加热和高压条件加速酸解过程, 缩短处理时间并减少污染。

2.5. 样品采集

本研究以毕节市七星关区泰丰园北侧 100 米范围内的区域作为研究样地, 基于现场调研结果, 运用系统布点法合理规划采样位置。结合研究区域的地貌特点及土地利用类型, 共设置 5 个代表性采样点, 分别采集 0~20 cm 表层土壤和 20~30 cm 深层土壤样本。采样过程中严格遵循规范操作, 使用不锈钢采样器垂直采集土样, 避免不同土层间的交叉污染。采样完成后, 土壤样本随即装入已编号的聚乙烯袋中, 并进行密封处理以确保样品完整性。在实验室预处理阶段, 首先将样品置于阴凉通风处自然风干, 随后通过 2 mm 孔径尼龙筛去除粒径较大的石块、植物根系及其他可见杂质。每个样品均保留不少于 1 kg 的待测土样, 并详细记录样品的采集时间、地理位置、土壤类型等基本信息。

2.6. 试剂样品处理

2.6.1. 样品预处理

采集自毕节市七星关区泰丰园北 100 米的土壤样品, 首先在室温条件下自然风干。使用洁净的玻璃棒将样品搅散, 仔细剔除其中的石块、植物残体及其他硬质杂质, 随后采用四分法对样品进行缩分。

2.6.2. 样品研磨与筛分

取适量经四分法分样的土壤样品置于玛瑙研钵中, 采用逐步研磨法将样品研磨至粒径均匀的细粉状。将研磨产物依次过 60 目(250 μm)、80 目(180 μm)和 100 目(150 μm)标准分析筛进行分级筛分, 收集通过 100 目筛的细颗粒样品备用。筛分过程中需注意避免样品损失, 每次筛分后需用毛刷清理筛网, 确保筛分完全。筛分过程中需注意避免交叉污染确保筛分完全。筛分后的样品按粒径分级收集, 分别装入原自封袋中并充分混合均匀, 以备后续实验使用。

2.6.3. 样品保存

将混合均匀的土壤样品密封保存于干燥、避光的环境中, 避免受潮或污染, 确保样品在分析前的稳定性。

2.6.4. 样品称量与润湿

使用万分之一电子分析天平(精确度 $\pm 0.0001\text{ g}$)称取 0.2000 g 经预处理后的土壤试样。将称量好的样品定量转移至聚四氟乙烯材质的微波消解罐内。沿消解罐内壁缓慢加入约 2 mL 超纯水(电阻率 $\geq 18.2\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$), 使样品充分润湿并均匀分散。为确保样品完全润湿, 可使用聚四氟乙烯棒轻轻搅拌, 静置 5 分钟后再进行后续消解操作。

2.6.5. 消解处理

消解试剂: 使用移液器准确量取 8 mL 新配制的王水(浓硝酸与浓盐酸体积比为 1:3), 沿消解罐内壁缓慢加入。

消解罐密封: 将消解罐盖旋紧后, 采用扭矩扳手以 20 N·m 的力矩进行二次紧固, 确保密封性能良好。

消解罐放置: 将密封完成的消解罐对称放入微波消解仪转盘中, 确保平衡分布。

微波消解程序设置:

梯度升温程序:

- 第一阶段：5 分钟内升温至 120℃，保持 5 分钟。
- 第二阶段：10 分钟内升温至 180℃，保持 15 分钟。
- 压力限制：根据消解罐的耐压能力设置最大压力(如 800 psi)。
- 功率设置：根据仪器型号和样品量设置微波功率(如 1000 W)。
- 冷却程序：消解程序结束后，将消解罐转移至通风橱中自然冷却至 25℃ ± 2℃，冷却时间不少于 2 小时。

2.6.6. 消解液转移与浓缩

将消解完成的样品溶液定量转移至 50 mL 聚四氟乙烯坩埚中，置于控温电热板上，在通风橱内溶液置于恒温加热板上，控制温度在 120℃ ± 2℃ 范围内进行加热浓缩。通过实时观察溶液体积变化，当浓缩液体积缩减至 1.0 ± 0.1 mL 时，立即将温度调至 80℃ 继续加热，直至坩埚底部仅残留少量湿润残渣，此时溶液呈近干状态。在加热浓缩过程中，需持续监控溶液状态，保持温和沸腾，确保溶液体积始终维持在 1 mL 以上。当溶液浓缩至近 1 mL 时，立即移离热源，置于室温(25℃ ± 2℃)下自然冷却。待溶液温度降至室温后，缓慢加入适量质量分数为 5%的 HNO₃ 溶液(优级纯)，同时轻轻摇动容器，确保容器壁上的残留物完全溶解。

2.6.7. 定容与过滤

将溶解后的样品溶液定量转移至 50 mL 比色管中，准确加入 5 mL 质量分数为 5%的硫脲溶液作为掩蔽剂。随后使用 5%硝酸溶液进行定容，加至刻度线后充分振荡混匀，制得待测溶液。通过 PSA 固相萃取柱进行过滤以去除杂质。

2.6.8. 空白实验

同步进行空白实验，除不加入土壤样品外，其余步骤与样品处理完全一致[4]。

2.7. 砷元素含量检测实验步骤

实验时的具体步骤见表 1。

Table 1. Experimental procedure for arsenic content detection
表 1. 砷元素含量检测实验步骤

实验步骤	实验方法
样品消解	采用万分之一精度的分析天平，分别称取 0.2~1.0 g 的 1~5 号土壤样本，转移至 50 mL 具塞比色管内。实验前，比色管需经(1 + 1)王水浸泡处理并采用去离子水清洗三次以去除杂质。取各土壤试样，分别加入约 5 mL 超纯水(电阻率 ≥ 18.2 MΩ·cm)进行预润湿处理。使用移液器准确量取 10.00 mL 新鲜配制的王水(浓硝酸与浓盐酸按 1:1 体积比混合)，依次加入各样品中。加入后立即旋紧密封盖，将样品置于水平振荡器中，设置转速为 200 ± 10 rpm，恒温振荡 15.0 ± 0.5 分钟，确保反应体系充分混合均匀。将混合溶液转移至恒温水浴锅中，在 95℃ ± 2℃ 条件下回流消解 2 小时，期间每隔 30 分钟手动摇动一次。待消解完成后，将样品置于恒温环境中冷却至 25℃ ± 2℃。使用定量移液管将溶液全部转移至 50 mL A 级容量瓶中，用超纯水(电阻率 ≥ 18.2 MΩ·cm)分三次洗涤原容器，每次 5 mL，洗涤液并入容量瓶。缓慢加入超纯水至液面接近刻度线约 1 cm 处，静置 1 分钟后，用滴管逐滴加入至弯液面最低点与刻度线相切。盖紧瓶塞，倒置摇动 10 次使溶液充分混匀，转移至棕色样品瓶中，于 4℃ ± 1℃ 冷藏箱内避光保存，备用。移取适量消解液至新的 50 mL 具塞比色管中，依次向各管中加入 3 mL HCl 溶液、5 mL 硫脲试剂和 5 mL 抗坏血酸试剂，最终使用去离子水稀释至刻度线，充分振荡混匀后静置，取上清液作为待测样品。实验过程中需同步进行空白对照试验，以排除系统误差的影响。

续表

标准曲线绘制	分别取 0.00、0.50、1.00、1.50、2.00、3.00 mL，依次加入 6 个 50 mL 的容量瓶内后再分别加入 1.00 mg/L 的砷标准工作液，向每个容量瓶中依次加入 5 mL HCl 溶液、5mL 硫脲试剂以及 5 mL 抗坏血酸试剂。定容至刻度线，充分振荡混匀，制备得到标准曲线系列溶液的砷浓度分别为 0.00、10.0、20.0、30.0、40.0、60.0 ng/mL。
土壤样品测定	分别移取 1~5 号土壤样品消解液各 3 mL，转移至 50 mL 容量瓶中。随后向各容量瓶内依次注入 5 mL HCl 溶液、5 mL 硫脲试剂和 5 mL 抗坏血酸试剂，充分振荡使其混合均匀。定容，静置约 20 min 后，即可用于后续测定。
空白实验	制定空白试样。

3. 结果与分析

3.1. 标准曲线系列的结果与讨论

按照方法步骤操作，得到标准曲线。结果表明：砷的测定方法在 8.00，如图 1。砷标准曲线为 $y = 6.3569x - 6.2607$ ， $r^2 = 0.9994$ 。

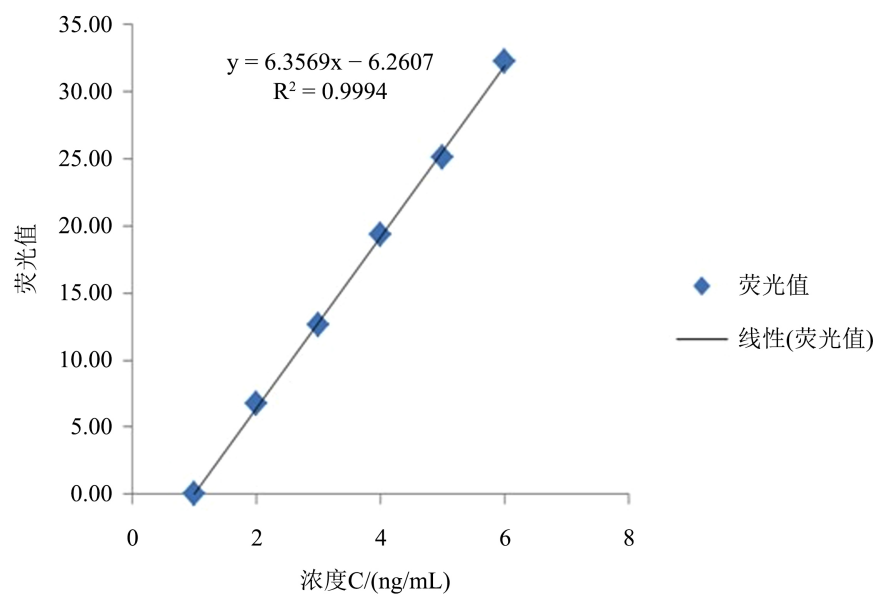


Figure 1. Calibration curve for arsenic based on atomic fluorescence spectrometry
图 1. 基于原子荧光光谱法的砷校准曲线

曲线可划分为三个区域：线性增长区、拐点过渡区和平台稳定区。线性增长区表现为砷原子荧光强度与砷浓度呈正相关，反应速率随浓度升高而加快。拐点过渡区表现为荧光强度随砷浓度增加而出现拐点，反应速率逐渐降低；平台稳定区则表现为荧光强度随砷浓度升高趋于平稳，反应速率基本保持不变。

在环境监测领域，基于原子荧光法的砷检测标准曲线是测定空气、水体和土壤中砷含量的关键工具，是一种高效、精准的砷分析技术。该方法在环境科学中应用广泛，能够准确测定环境中砷的浓度，为环境污染评估与治理提供科学依据和数据支持。

3.2. 测定结果与讨论

表 2 列出了 1~5 号土壤样品中砷元素的具体含量。

Table 2. Arsenic content in soil samples 1~5

表 2. 1~5 号土壤样品砷元素含量

样品编号	上层含量(mg/kg)	下层含量(mg/kg)
1	2.93	2.64
2	12.43	12.06
3	4.01	3.69
4	2.87	2.54
5	3.14	2.98

根据表 2 的数据分析,该区域土壤中砷元素的浓度显著高于正常水平,表明土地已受到一定程度的砷污染。通过与国家农用地土壤风险筛选值的对比,结果显示毕节市七星关区泰丰园北 100 米处的砷含量已超出限值。近年来,土壤中砷的累积现象日益严重,亟需加强土壤环境监测力度,同时在土壤环境保护方面需持续保持高度警惕,不可松懈。

此外,研究表明,土壤中砷的累积不仅来源于自然地质过程,还与人类活动密切相关,例如工业废水排放、农药和化肥的过度使用等。以某工业园区为例,其周边土壤砷含量高达 45 mg/kg,远超背景值,这与当地工业活动直接相关。因此,除了加强监测外,还需从源头上控制污染,推广绿色农业技术,减少砷的输入。同时,建议采取土壤修复措施,如施用磷酸盐类物质固定砷,或种植超积累植物进行生物修复,以降低砷的生态风险。公众教育也至关重要,需提高居民对砷污染危害的认识,引导其采取科学的防护措施。

根据国家农用地土壤质量标准,土壤中砷含量对人体健康产生危害的临界值为 25 mg/kg。

尽管当前砷含量未达到直接危害人体的阈值,但长期低剂量暴露仍可能对健康产生潜在风险。例如,有研究表明,长期摄入低浓度砷污染的农作物可能导致慢性中毒,增加患癌风险。以某农业区为例,当地土壤砷含量为 15 mg/kg,虽未超标,但长期种植的农作物中砷含量显著高于安全标准,会使部分居民出现砷中毒症状。因此建议对该区域进行长期跟踪监测并评估农作物中砷的富集情况。同时,可采取土壤修复措施,如施用磷酸盐类物质固定砷或种植超积累植物进行生物修复,以降低砷的生态风险。此外,公众教育也至关重要,需提高居民对砷污染危害的认识,引导其采取科学的防护措施。

3.3. 影响因素分析

3.3.1. 仪器条件的影响

在使用原子荧光光谱仪测定砷元素时,仪器参数的优化至关重要,其中负高压和灯电流是影响荧光强度的关键因素。实验研究表明,在诸多仪器参数中,负高压对测定结果的灵敏度及精密度具有最为显著的影响。其变化会直接导致砷元素荧光强度的明显改变。在实际检测中,仪器的灵敏度与精密度通常呈负相关关系:灵敏度较高的设备,其精密度往往较低。需要注意的是过低的仪器参数设置不仅会降低测定准确度,还可能导致低含量样品无法被有效检测。因此在样品测定过程中,建议根据仪器的具体性能和工作状态,在合理范围内对参数进行适当调整以获得最佳的测定效果。

3.3.2. 还原剂浓度的影响

在应用原子荧光光谱技术测定砷元素含量时，试剂浓度的优化是确保实验结果准确性的关键因素。其中，预还原体系中硫脲与抗坏血酸的配比浓度对测定结果影响显著，当其浓度未达到最佳范围时，会导致五价砷向三价砷的还原反应不完全，从而造成测定结果出现负偏差。作为氢化反应的关键试剂，硼氢化钾的浓度需要严格控制：浓度过低时，氢化反应生成的氢原子数量不足，影响砷元素的原子化效率；浓度过高则会产生过量氢气，可能导致原子化区发生燃烧现象，干扰测定信号的稳定性。

3.4. 环境风险评估

通过对图 1 和表 1 中的实验数据进行分析，能够系统评估砷污染对环境的风险水平，进而深入了解其污染状况及可能带来的生态与健康威胁。具体而言，图 1 展示了砷浓度与荧光强度的关系曲线，为定量分析提供了可靠依据；表 1 则详细列出了不同采样点的砷含量数据，揭示了区域内的污染分布特征。结合这些数据，可以进一步分析砷污染的来源、迁移规律及其对土壤、水体和生态系统的潜在影响。基于这些数据的风险评估不仅有助于制定针对性的污染治理措施，还能为环境管理政策的优化提供科学支持。此外，建议结合地理信息系统(GIS)技术，对污染区域进行空间可视化分析，以更直观地识别高风险区域并采取优先防控行动。

3.4.1. 风险识别

通过对实验数据的深入分析，可以清晰地识别出砷污染的空间分布及其严重程度，从而精准定位高风险区域。从图 1 可以看出，随着砷浓度的升高，荧光强度也呈现显著上升趋势，这表明环境中砷的污染程度正在逐步加剧。表 1 中列出了五个采样点的砷含量数据，结果显示各采样点的砷浓度存在差异，但均超过了环境背景值。尽管目前尚未达到直接危害人体健康的阈值，但这些砷污染已对农作物生长产生了不利影响。

3.4.2. 风险分析

砷是一种高毒性元素，通过饮用水、食物和空气等途径，砷进入人体后可能引发皮肤病变、心血管疾病及多种癌症，如肺癌、膀胱癌等。长期食用受砷污染的农作物，尤其是水稻，会导致砷在体内积累，增加慢性中毒风险。

加强饮用水监测与净化，推广低砷累积作物种植，严格控制工业排放和农业化学品使用。加强公众教育，提高对砷污染的认识，倡导健康生活方式。这些措施可以减少砷污染事件目的是保护人类健康和生态环境。

3.4.3. 风险管理

在明确风险评估结果后，需针对性地设计污染防控方案和风险管理对策。例如，可通过强化环境监测体系、严格管控污染源排放、实施污染区域修复工程等措施，有效降低砷污染的生态与健康风险。同时，应建立长效机制，推动污染治理技术的研发与应用，并结合政策引导和公众参与，形成多方协作的治理模式，以实现环境的可持续保护。

4. 结论

本研究深入分析后，进一步确认了原子荧光光度计在煤矿分析领域中的卓越性能。采用改良后的恒温水浴消解方法进行土壤样品的前处理，所得结果很理想。砷具有独特的荧光特性，使得原子荧光光度法成为测定土壤和煤矿中砷含量的有效手段，有助于我们准确了解自然环境中砷的污染状况。通过本次实验分析可知，由实验结果与国家农作物土地土壤风险值对比可知毕节市七星关区泰丰园北 100 米的砷

污染已经超值，对于周边土地会造成了一定的污染。近年来土壤中的砷元素含量增加，需要加大土壤监测力度，对于土壤环境保护不能松懈。

参考文献

- [1] 邓樱花, 苏明伟, 华丽, 等. 土壤中砷的检测方法进展[J]. 湖北第二师范学院学报, 2011, 28(2): 33-36.
- [2] 肖文平. 原子荧光法同时测定土壤中的砷和汞元素含量[J]. 科技与创新, 2017(3): 154-155.
- [3] 李永福. 原子荧光法测定土壤中痕量砷和汞[J]. 化学工程师, 2016, 30(11): 26-28.
- [4] 李方明. 快速微波消解-原子荧光光谱法测定土壤砷汞的含量[J]. 化学研究与应用, 2018, 30(8): 1362-1366.