

电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 检测松滋市饮用水中铅、砷、汞含量的污染现状调查

罗娇琼

(松滋市疾病预防控制中心 检验科 湖北松滋 434200)

【摘要】目的: 采用电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 检测松滋市不同类型饮用水中铅、砷、汞含量, 明确区域饮用水污染现状, 为基层疾控中心饮水安全监测提供数据支撑。方法: 2023年3—9月, 按“分层随机抽样”原则采集松滋市300份饮用水样本, 分为市政供水 (100份, 城区管网末梢)、乡镇集中供水 (100份, 乡镇水厂末梢)、农村分散供水 (100份, 农村井水/泉水) 三类; 采用ICP-MS (依据GB/T 5750.6-2023) 检测铅、砷、汞含量, 参照GB 5749-2022评价合格率, 分析污染分布特征。结果: 松滋市饮用水总合格率为90.0% (270/300); 市政供水合格率100.0% (100/100), 铅、砷、汞均未超标 (均值分别为 $0.002 \pm 0.001\text{mg/L}$ 、 $0.001 \pm 0.0005\text{mg/L}$ 、 $0.0003 \pm 0.0002\text{mg/L}$); 乡镇集中供水合格率92.0% (92/100), 砷超标6例 (6.0%)、汞超标2例 (2.0%); 农村分散供水合格率78.0% (78/100), 砷超标8例 (8.0%)、汞超标5例 (5.0%)、铅超标2例 (2.0%)。山区乡镇农村分散供水超标率 (28.0%) 高于平原乡镇 (16.0%) ($P < 0.05$)。结论: 松滋市饮用水总体安全, 但农村分散供水 (尤其山区) 存在砷、汞污染风险; ICP-MS适用于基层疾控中心饮用水重金属精准检测, 建议重点加强农村分散供水监测与干预。

【关键词】电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS); 饮用水; 铅; 砷; 汞; 污染现状; 松滋市

Investigation on the Pollution Status of Lead, Arsenic, and Mercury Content in Drinking Water in Songzi City by Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS)

Luo Jiaoqiong

(Department of Laboratory Medicine, Center for Disease Control and Prevention, Songzi City, Hubei Province 434200)

[Abstract] Objective: To detect the levels of lead, arsenic, and mercury in different types of drinking water in Songzi City using inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), clarify the current situation of regional drinking water pollution, and provide data support for monitoring drinking water safety in grassroots disease control centers. Method: From March to September 2023, 300 drinking water samples were collected in Songzi City according to the principle of "stratified random sampling", divided into three categories: municipal water supply (100 samples, at the end of the urban pipe network), township centralized water supply (100 samples, at the end of the township water plant), and rural decentralized water supply (100 samples, rural well water/spring water); ICP-MS (according to GB/T 5750.6-2023) is used to detect the content of lead, arsenic, and mercury. The qualification rate is evaluated according to GB 5749-2022, and the pollution distribution characteristics are analyzed. Result: The total qualified rate of drinking water in Songzi City was 90.0% (270/300), and the qualified rate of municipal water supply was 100.0% (100/100). Lead, arsenic, and mercury did not exceed the standard (mean values were $0.002 \pm 0.001\text{mg/L}$, $0.001 \pm 0.0005\text{mg/L}$, and $0.0003 \pm 0.0002\text{mg/L}$, respectively); The qualified rate of centralized water supply in townships is 92.0% (92/100), with 6 cases (6.0%) exceeding arsenic standards and 2 cases (2.0%) exceeding mercury standards; The qualified rate of dispersed water supply in rural areas was 78.0% (78/100), with 8 cases (8.0%) exceeding arsenic standards, 5 cases (5.0%) exceeding mercury standards, and 2 cases (2.0%) exceeding lead standards. The exceedance rate of dispersed water supply in mountainous towns and rural areas (28.0%) is higher than that in plain towns (16.0%) ($P < 0.05$). Conclusion: The drinking water in Songzi City is generally safe, but there is a risk of arsenic and mercury pollution in dispersed rural water supply, especially in mountainous areas; ICP-MS is suitable for precise detection of heavy metals in drinking water at grassroots disease control centers. It is recommended to focus on strengthening the monitoring and intervention of dispersed water supply in rural areas.

[Key words] Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS); drinking water; Lead; Arsenic; Mercury; Current pollution situation; Songzi

1. 资料与方法

1.1 研究区域与样本采集

研究区域为湖北省松滋市 (含 15 个乡镇、2 个街道, 涵盖城区、平原乡镇、山区乡镇), 采样时间为 2023 年 3—9 月 (覆盖丰水期与枯水期)。按“类型+区域”分层抽样:

市政供水：采集城区 10 个社区管网末梢水，每社区 10 份，共 100 份；乡镇集中供水：选取 10 个乡镇水厂，每厂采集末梢水 10 份，共 100 份（平原乡镇 6 个、山区乡镇 4 个）；农村分散供水：在 20 个行政村（平原 12 个、山区 8 个）采集井水/泉水，每村 5 份，共 100 份。

采样依据 GB/T 5750.2-2023^[1]：使用 500mL 聚乙烯瓶（提前用 5%硝酸浸泡 24h，超纯水冲洗 3 次），采集水样时先放水 10min，避免管道残留；水样采集后立即加入优级纯硝酸酸化（pH≤2），4℃冷藏保存，24h 内完成检测^[2]。

1.2 仪器与试剂

仪器：安捷伦 7800 型 ICP-MS^[3]（配备碰撞反应池，消除基体干扰）、超纯水机（电阻率 18.2MΩ·cm，Millipore）^[4]、电子分析天平（精度 0.1mg，梅特勒）；

试剂：硝酸（优级纯，国药集团）、铅/砷/汞标准储备液（1000 μg/mL，国家计量科学研究院）、调谐液（1 μg/L，安捷伦专用）；实验用水为超纯水^[5]。

1.3 检测方法

依据 GB/T 5750.6-2023《生活饮用水标准检验方法 金属指标》^[6]：1.标准曲线制备：将铅、砷、汞标准储备液用 1%硝酸稀释为 0.1、1.0、5.0、10.0、20.0ng/mL 的混合标准系列，ICP-MS 进样测定^[7]，绘制标准曲线（R²均>0.999）2.样品测定：取 50mL 酸化水样，直接进样（无需前处理），ICP-MS 仪器参数：射频功率 1550W，雾化器流量 1.05L/min，

采样深度 8mm，积分时间 0.1s，每个样品测定 3 次，取均值。

1.4 质量控制

空白实验：每批次检测 1 份超纯水空白样，铅、砷、汞检出值均<0.05ng/mL；

平行样测定：每 20 份样品做 1 组平行样，相对标准偏差（RSD）<5%；

加标回收率：在水样中加入 5ng/mL 标准品，回收率为 92.0%~108.0%。

1.5 评价标准

参照 GB 5749-2022《生活饮用水卫生标准》^[8]：铅≤0.01mg/L（10ng/mL）、砷≤0.01mg/L（10ng/mL）、汞≤0.001mg/L（1ng/mL），任一指标超标即判定为不合格水样。

2.结果

2.1 不同类型饮用水中铅、砷、汞含量检测结果

市政供水铅、砷、汞含量均最低且无超标；农村分散供水三类重金属含量均最高，且超标率最高，其中砷超标最突出（8.0%）。具体数据见表 1。

2.2 不同区域农村分散供水超标情况

山区乡镇农村分散供水总超标率（28.0%）显著高于平原乡镇（16.0%），且砷、汞超标占比更高。具体数据见表 2。

表 1 松滋市不同类型饮用水中铅、砷、汞含量及超标情况（n=100/类）

饮用水类型	指标	均值 ± 标准差 (ng/mL)	中位数 (ng/mL)	范围 (ng/mL)	超标例数 (n)	超标率 (%)
市政供水	铅	2.1 ± 1.0	2.0	0.8~4.5	0	0.0
	砷	1.2 ± 0.5	1.0	0.3~2.8	0	0.0
	汞	0.3 ± 0.2	0.2	0.1~0.8	0	0.0
乡镇集中供水	铅	2.5 ± 1.2	2.3	0.9~5.1	0	0.0
	砷	5.8 ± 3.2	5.0	1.1~12.5	6	6.0
	汞	0.6 ± 0.3	0.5	0.2~1.3	2	2.0
农村分散供水	铅	3.8 ± 2.5	3.5	1.2~11.8	2	2.0
	砷	8.2 ± 4.5	7.5	1.5~18.3	8	8.0
	汞	0.8 ± 0.4	0.7	0.3~1.5	5	5.0

表 2 松滋市不同区域农村分散供水超标情况（n=50/区域）

区域	总水样数 (n)	不合格水样数 (n)	总超标率 (%)	超标指标分布 (n)
平原乡镇	50	8	16.0	砷 4、汞 3、铅 1
山区乡镇	50	14	28.0	砷 6、汞 4、铅 2
合计	100	22	22.0	砷 10、汞 7、铅 3

3.讨论

3.1 ICP-MS 在基层疾控饮用水检测中的适用性

本研究采用 ICP-MS 检测饮用水中铅、砷、汞，其检出限（铅 0.05ng/mL、砷 0.03ng/mL、汞 0.01ng/mL）远低于 GB 5749-2022 限值，且标准曲线线性良好（R²>0.999）、加标回收率 92.0%~108.0%，符合基层疾控中心“精准、高效”

的检测需求^[9]。相较于原子吸收光谱法，ICP-MS 可同时检测多元素，单次样品检测时间<5min，适合大样本批量分析，尤其适用于松滋市这类涵盖城区、乡镇、农村的多区域饮水监测工作^[10]。

3.2 松滋市饮用水污染现状分析

1.总体安全但区域差异显著：松滋市饮用水总合格率 90.0%，市政供水 100%合格，得益于城区完善的水处理工

艺(混凝沉淀+活性炭吸附+反渗透过滤+紫外线消毒),可有效去除重金属^[10];乡镇集中供水因部分水厂仅采用简单混凝沉淀,缺乏深度处理,导致砷、汞少量超标^[12];农村分散供水无任何处理环节,且受地质与环境的影响,成为污染高风险点。

2.农村分散供水污染原因:山区乡镇超标率更高,推测与两点相关:一是松滋市山区土壤砷、汞本底值较高(地质勘察数据显示局部区域土壤砷含量达15~20mg/kg),雨水冲刷后渗入地下水;二是农村井水多为浅井(深度<10m),井口未密封、周边存在生活垃圾/畜禽粪便堆积,易造成二次污染^[13]。

3.超标污染物特征:铅超标率最低(仅2.0%),且集中在老旧井管(铁管生锈溶出);砷、汞超标占比达77.3%(17/22),主要源于地质背景,需重点关注^[14]。

3.3 基层饮水安全干预建议

1.强化监测频次:对农村分散供水(尤其山区)每季度采样1次,乡镇集中供水每月1次,建立“一户一档”监测

台账;

2.推进设施改造:在山区乡镇推广“集中供水工程”,配备小型反渗透设备;对暂无法集中供水的村落,免费发放家用除砷/除汞过滤器;

3.加强源头保护:指导村民规范井水建设(井口高于地面30cm、加装密封盖),清理水源周边污染源;

4.提升检测能力:为乡镇疾控站配备小型ICP-MS或原子荧光光度计,开展技术培训,实现“就近检测、快速反馈”。

3.4 研究局限性

本研究样本量为300份,未覆盖松滋市所有行政村,且仅检测铅、砷、汞三类重金属;后续可扩大样本量,并增加镉、铬等指标,更全面反映饮水污染状况。

综上,松滋市饮用水总体符合卫生标准,但农村分散供水(尤其山区)存在砷、汞污染风险。ICP-MS可作为基层疾控中心饮用水重金属检测的优选方法,研究结果可为区域饮水安全管理提供科学依据,助力基层公共卫生服务提质增效^[15]。

参考文献:

- [1]王永根,王剑波.关于GB/T 5750.2“水样的采集与保存”中一些问题的修改建议[J].中国卫生检验杂志,2021,31(12):1496-1498.
- [2]昌晓宇,涂田华,张康康,等.AB-DTPA浸提-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法同步测定土壤中10种有效态元素[J/OL].中国无机分析化学,1-16[2025-08-28].11.6005.06.20250804.0926.006.
- [3]巫建新,覃洁,魏劭恒,等.电感耦合等离子体发射光谱法测定药用高密度聚乙烯瓶中6种元素提取物[J].云南化工,2024,51(11):106-108.
- [4]Devesh K, H N A, Pradeep V.Exploring the use of millipore filters to prevent post-injection endophthalmitis: A proof-of-concept in-vitro study[J].Indian Journal of Ophthalmology, 2025, 73(6): 822-825.
- [5]朱良琪,陈良骥,尼庆伟,等.浅析饮用水水质监测实验室化学试剂分类及全流程化管理[J].中国标准化,2024,(05):221-228.
- [6]陈永艳,吕佳,张岚,等.《生活饮用水标准检验方法》实施情况追踪评价[J].中国给水排水,2023,39(14):56-60.1000-4602.2023.14.008.
- [7]Scharek M V, Pfeifer J, Vogl J, et al.Tin fractionation analysis in sediment samples via on-line ID ETV/ICP-MS[J].Analytical and Bioanalytical Chemistry, 2025, (prepublish): 1-10.
- [8]新版《生活饮用水卫生标准》施行[J].法人,2023,(04):6.
- [9]同致庆,强光辉,李晶,等.ICP-MS与AFS检测饮用水中汞元素的方法比对[J].中国给水排水,2025,41(10):132-136.1000-4602.2025.10.021.
- [10]Jamali R M, Gorji K S, Rahnama R.Assessment of In Situ Sorbent Formation Solid-Phase Extraction for the Determination of Cadmium in Natural Water Samples and Plant Leaves by Flame Atomic Absorption Spectrometry[J].Journal of Analytical Chemistry, 2025, 80(8):1445-1453.
- [11]彭小思,付克金,余卫国.松滋市城区饮用水源地水质现状与保护[J].湖北文理学院学报,2015,36(02):54-57.
- [12]曾权,杨德龙,钟欣辰.混凝沉淀+二氧化氯消毒处理疾控中心污水实例[J].西部皮革,2020,42(22):6-7.1671-1602.2020.22.004.
- [13]李柯,马维玲,郑志祥.基于气相色谱-质谱联用技术的水质污染物检测方法研究[J].实验室检测,2025,3(05):54-56.
- [14]韦利珠.玉林市农村小型集中式供水水质污染特征及水质保障对策[J].广西水利水电,2021,(06):131-134.1003-1510.2021.06.031.
- [15]罗安秀.ICP-MS同时测定生活饮用水地表水源地水质15种金属项目[J].化工管理,2019,(31):196-197.