

电感耦合等离子体质谱（ICP-MS）在测试中的干扰及消除

邓寻寻

(1.四川大学 华西公共卫生学院, 成都 610041)

摘要: 归纳总结了电感耦合等离子体质谱（ICP-MS）在实际应用中存在的干扰因素，包括质谱干扰、物理干扰和基体干扰，并详述干扰产生原因及对应的干扰消除方法，为 ICP-MS 在复杂样品的检测研究提供参考。

关键词: 电感耦合等离子体质谱；质谱干扰；物理干扰；基体干扰；消除

中图分类号: O657.63 **文献标识码:** A

Discussion on Interference in Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry (ICP-MS) and Its Elimination

Deng Xunxun

(1. West China School of Public Health, Sichuan University, Chengdu 610041, China)

Abstract: This article summarized the interference in inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), including mass spectrometry interference, physical interference, and matrix interference. Elaborate on the interference factors and elimination methods, providing reference for the detection of complex samples by ICP-MS.

Keyword: Inductively coupled plasma mass spectrometry; mass spectrometry interference; physical interference; matrix interference; elimination

1 引言

电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）具有较宽的线性范围和极低的检测限（ppt-ppm），检测时间短、多元素同时分析、同位素检出能力等优势，近年来，ICP-MS 被广泛应用于生物医学、环境、半导体领域¹⁻³。但应用于实际样品检测，如临床生物样品血液、食品、海水样品等时，样品中具有复杂的基体，包括高盐分、高蛋白（高有机物）、高共存元素等，这些基体的存在常常在测试中引起较大的测试干扰，导致结果产生偏差。归纳总结 ICP-MS 测试中遇到的干扰及相应的消除手段，可为 ICP-MS 的更好应用提供参考。

2 ICP-MS 检测中干扰因素

ICP-MS 测试中的干扰因素，通常可以分为质谱干扰、物理干扰和基体干扰。

2.1 质谱干扰

质谱干扰的产生主要是由于待测元素与共存元素在等离子体中产生相同的分子离子峰，从而造成干扰。质谱干扰主要可分为同位素干扰、氧化物干扰、双电荷干扰和多原子离子干扰

1). 同位素干扰: 是由于待测元素与样品中共存元素同位素具有相同的质量数导致的，如 Cd 与 Sn 同时具有质量数为 114 的同位素，在测试 ^{114}Sn 的情况下，样品中存在 Cd 必然会对检测结果造成干扰。

2). 氧化物干扰: 由于样品中元素结合氧或氢氧化物，从而与待测元素具有相同的质量数而形成的干扰。氧化物干扰主要是样品元素不完全电离或在等离子体周围再结合导致的，如 ^{48}Ti 会与氧离子结合形成 $^{48}\text{Ti}^{16}\text{O}^+$ ，这与 Zn 在 64 质量数的同位素会产生重叠，从而造成干扰。

3). 双电荷干扰: 元素发生二次电离，如 Sr 发生二次电离形成的 $^{88}\text{Sr}^{++}$ 会对 $^{44}\text{Ca}^+$ 的测定造成干扰，易形成双电荷的元素主要包括过渡金属、碱土金属和稀土元素。

4). 多原子离子干扰: 由两个或多个原子离子形成化合物而产生的干扰，可由样品中元素与等离子气、溶剂中基体组分、环境中氧气等生成。如氩气 (Ar) 可与 Cl 离子形成 $^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}^+$ ，从而对 ^{75}As 离子的测试造成干扰。

2.2 物理干扰

除了质谱干扰外，ICP-MS 中主要的干扰因素还有物理干扰。物理干扰主要包括样品沉积和进样效率差异。样品沉积是由于进样系统或锥口处的离子沉积污染造成的干扰，而样品在雾化室中雾化效率、传输过程中泵管效率、气溶胶传输过程效率的差异都会造成进样效率的不同，从而对检测造成干扰。

2.3 基体干扰

样品前处理或样品中基体元素可对检测造成基体干扰，从而增强或者抑制检测的信号强度，使结果不准确。基体干扰包括酸干扰、易电离元素效应、记忆效应和有机增敏效应。

1). 酸效应: 在样品前处理中为了提取稳定待测元素常常会使用到酸，如 HNO_3 , H_2SO_4 , HCl 等，酸中的元素 N, S, O, Cl 等进入仪器可能会对待测元素造成干扰。

2). 易电离元素效应: 在样品中存在的基体元素如果电离能较低，也会对检测造成干扰，

如在对血清样品处理时常会使用 PBS 作为缓冲溶液，从而在进样系统中引入 Na, K 等易电离元素，这会造成检测信号的降低。

3). **记忆效应**：记忆效应指待测样品受到残留在进样系统或离子源内的元素的影响，从而对检测造成干扰，高挥发性元素易形成记忆效应，如 B, I, Hg 等元素。

4). **有机增敏效应**：当样品中存在有机物时，C 的燃烧会放热，从而使电离能增加，增强待测物的检测信号，高电离能元素如 As, Hg 等容易受到有机增敏效应的影响。

3 ICP-MS 检测中干扰的消除

3.1 质谱干扰的消除

质谱干扰可通过仪器的方法设置或元素选择等来进行干扰消除。同位素干扰中，可根据样品中元素种类，选择没有干扰的同位素峰进行测量，在无法避免的情况下，可使用数字校正方程进行干扰消除⁴。氧化物干扰可通过优化炬管位置、等离子体强度、雾化器流速降低氧化物、双电荷、多原子离子的形成⁵，从而消除干扰。另外，利用仪器的碰撞/反应池技术⁶⁻⁷可以显著降低质谱干扰，使检测结果更为准确。如孙琦等人利用碰撞（KED）模式测试了人体全血、尿液中 38 中元素⁸，蔡彪利用反应池（DRC）模式进行了人体血清微量元素分析方法的研究，均取得较为可靠的结果⁹。

3.2 物理干扰及其消除

在实际测试中，为了避免物理干扰，首先要注意检查进样系统，特别是泵管是否有损坏、雾化器是否洁净、进样系统和锥口是否有样品沉积，同时，一定要注意测试样品中离子的浓度，避免高浓度样品的进入导致进样系统污染。另外，物理干扰还可以通过添加内标的方法来对待测元素进行干扰补偿¹⁰，从而消除物理干扰，使结果更为准确。

3.3 基体干扰的消除

基体干扰可通过样品稀释、基体匹配、标准加入法、内标法等方法来进行干扰消除。样品稀释最为简单，将样品稀释到足够的倍数，使共存元素降低从而降低基体干扰，但可能导致低浓度的待测元素难以被检测¹¹。基体匹配通过控制标准曲线的溶液与待测样品溶液的主要成分一致，从而扣除背景对检测造成的干扰¹²⁻¹³。另外，标准加入法¹⁴⁻¹⁵和内标法¹⁶也可以通过引入待测元素或与待测元素相似的内标，从而扣除基体干扰对检测带来的影响，增加结果的准确性。

4 总结

ICP-MS 检测中存在质谱干扰和非质谱干扰，可通过仪器设置、引入内标、基体匹配等

方法消除干扰,使结果更为准确。值得注意的是,样品的前处理 17-18 及仪器的定期维护清洁对于干扰的消除也至关重要。例如,在血清样品的前处理中将蛋白完全沉降,可避免蛋白进入进样系统造成污染或堵塞;在土壤样品前处理中对样品进行消解,可避免有机物的引入对检测造成干扰。另外,进样系统和样品锥要定期维护,在进入具有高记忆效应的元素后,可用酸对进样系统进行长时间冲洗,发现样品沉积时注意清洁,可有效降低记忆效应带来的干扰。在 ICP-MS 的实际测试中,可通过上述干扰因素逐一排查,并结合科研实际,选择合适的方法进行干扰消除,使检测更为准确。

参考文献

- [1] 徐诗琴,符式锦,周女琬,等. ICP-MS 联用色谱技术在环境领域元素形态分析的应用[J]. 四川环境, 2020, 39(2): 207-123.
- [2] 张亚红,米亚娴.ICP-MS 法简介及其在药物分析领域中的应用[J].天津药学, 2013, 25(1): 72-74.
- [3] 孙梦荷,苏春风,方迪,等.电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法在稀土分析中的应用进展[J]. 中国无机分析化学, 2023, 13(9): 939-949.
- [4] 禹莲玲,王干珍,徐小华,等.电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定地质样品中 Cu 和 Zn 的干扰研究[J].中国无机分析化学, 2023,13(11): 1197-1203.
- [5] 陈皆全,蒋平香.ICP-MS 在食品检测中的干扰及其消除[J]. 2020(8): 59-61.
- [6] 李冰,胡静宇,赵墨田.碰撞/反应池 ICP-MS 性能及应用进展[J].质谱学报, 2010,31(1): 1-11.
- [7] 陆仲烟,秦玉燕.ICP-MS 测定植物样品中的砷和硒含量[J].农业研究与应用, 2022, 35(3): 45-52.
- [8] 孙琦,丁亮,张卓娜,等.直接稀释-KED 碰撞模式-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定人体全血、尿液中 38 种元素[J].中国无机分析化学, 2023, 13(10): 1154-1164.
- [9] 蔡彪. DRC-ICP-MS 人体血清微量元素分析方法的研究[D]. 天津:天津大学, 2015: 21-40.
- [10] 陈祥明,杨燕萍,陈佳东,等.内标校准 ICP-MS 法测定食品中铝的不确定度评定[J].福建分析测试, 2019, 28(3): 28-34.
- [11] 杨柳,吴迪,王超洋,等.直接稀释 ICP-MS 法快速测定尿液中 14 种元素的方法建立[J].预防医学论坛, 2022, 28(12): 915-919.
- [12] 谢卫宁,冯培忠,张碧兰,等.基体匹配-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定萤石精矿中痕量有害元素[J].中国无机分析化学, 2023, 13(8):775-782.

- [13] 李忠,吴杨,聂金菊,等.基体匹配-电感耦合等离子体质谱法测定钆喷酸葡胺中 24 种元素杂质[J].Chinese Journal of Pharmaceuticals, 2022, 53(09):1311-1317.
- [14] 王妮,张芳芳,周亚菊.ICP-MS 标准加入法测定氟比洛芬酯脂微球注射液玻璃包装中 4 种元素的迁移量[J].药物分析杂志, 2023 43(5): 867-872.
- [15] 景菲,汤云,陈泱.ICP-MS 标准加入法测定药用玻璃容器中金属元素的浸出量[J].广州化工, 2020, 48(5): 107-110.
- [16] 赵小学,赵宗生,陈纯,等.电感耦合等离子体-质谱法内标元素选择的研究[J].中国环境监测, 2016, 32(1): 84-87.
- [17] 江棋,彭锦芬,罗杏良,等.微敞开体系石墨消解-电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定土壤中 16 种稀土元素[J]. 中国无机分析化学, 2023, 1-12,
- [18] 蓝媚容,彭义琴,谢庆剑,等.比较不同前处理方法对 ICP-MS 法测定凉粉草类制品中铅,镉含量的影响[J].食品安全导刊, 2022(23): 69-73.