

使用Hansel iQuad 2300 ICP-MS 测试乳 制品中的Na、Ca、Cr、 As、Hg、Pb

作者 作文旺 衡昇质谱（北京）仪器有限公司

运用iQuad 2300型ICP-MS的电子稀释与气溶胶稀释功能分析乳制品中的6种元素



前言

众所周知，准确测定乳制品中的元素杂质具有重要价值。

一、保障食品安全：筑牢有害元素“防火墙”

乳制品作为全人群（尤其是婴幼儿、老人）的核心营养来源，其重金属污染风险直接关系公共健康。ICP-MS（电感耦合等离子体质谱法）凭借 ppb-ppt 级超高灵敏度，可精准检测 As（砷）、Hg（汞）、Pb（铅）、Cr（铬）等有害元素：

砷（As）与汞（Hg）：长期摄入微量砷、汞会导致神经系统损伤、肝肾功能衰竭，婴幼儿对其耐受度极低。ICP-MS 能有效识别饲料污染、加工设备迁移等带来的痕量污染，避免“毒奶粉”类安全事件。

铅（Pb）：铅在人体中无代谢排出途径，会永久蓄积并影响儿童智力发育。乳制品生产中可能因包装材料、水源、加工器械引入铅，ICP-MS 的低检出限（通常 $<0.01\mu\text{g}/\text{kg}$ ）可实现“零风险”预警。

铬（Cr）：六价铬具有强致癌性，可能源于食品接触材料（如不锈钢设备）的腐蚀迁移。

二、守护营养均衡：精准把控必需元素含量

Na（钠）和 Ca（钙）是乳制品中关键营养与功能元素，其含量合理性直接影响产品营养价值：

Ca（钙）：作为乳制品核心营养指标，钙含量是消费者选择的重要依据，也是产品等级划分的关键标准。

Na（钠）：过量钠摄入与高血压、心血管疾病相关，婴幼儿乳制品对钠含量有严格限制（如国标要求婴儿配方乳粉钠含量 $\leq 300\text{mg}/100\text{g}$ ）。ICP-MS 能快速测定钠的微量差异，帮助企业优化配方，平衡风味与健康需求。

三、支撑合规监管：提供权威技术依据

各国对乳制品中元素限量均有明确标准（如中国 GB 2762、欧盟 EC 1881/2006、美国 FDA 标准），ICP-MS 凭借多元素同时检测、抗干扰能力强、结果重现性好的优势，成为监管部门的首选检测技术：

可一次性完成 Na、Ca、Cr、As、Hg、Pb 等多元素检测，大幅提升检测效率，降低企业检测成本；

检测结果具备法律效力，可作为产品合格判定、质量仲裁、污染溯源的关键依据，助力行业规范化发展。

四、推动产业升级：助力品质优化与风险预警

ICP-MS 的精准检测能力为乳制品企业提供全链条质量控制支撑：

原料端：筛查奶源、辅料中的元素污染，从源头规避质量风险；**生产端：**监控加工过程中元素迁移（如设备、包装材料），优化生产工艺；**成品端：**验证产品营养指标达标情况，提升产品市场竞争力；**研发端：**支持新型乳制品（如低钠高钙奶、特殊医学用途配方乳粉）的配方研发与性能验证。

实验部分

元素标准溶液

钠、钙、铬、砷、铅、汞、镉、碲和铋元素标准溶液。

样品前处理

将样品（0.25-0.5g 奶粉或 1-2 g 液态奶）于消解罐中称重后，加入5ml 硝酸、2ml 双氧水，微波消解，待冷却后定容，同法做样品空白。

有证标准物质

GBW08509 等其他质控样

内标溶液

5%甲醇或异丙醇的 2%硝酸水作为溶剂，内标元素 Ge, Te, Re, Bi 浓度分别为 200, 200, 20, 20ug/l。

仪器与方法关键参数

使用 Hansel iQuad 2300 型 ICP-MS 进行分析。使用 ICP-MS 软件内的自动调谐功能对仪器进行优化。

表 1 2300 ICP-MS 运行条件

参数	设置
雾化器流量	同心雾化器
锥	镍锥
等离子气流量	15L/min
RF 功率	1400W
驻留时间	0.1-0.25 s
雾化室制冷温度	4℃
氨气流量	5ml/min
气溶胶稀释倍数	5 倍
进样方式	三通在线引入内标，蠕动泵进样

结果与讨论

1. 按照 GB5009.268-2025 的分组，将 6 元素分为三组，6 种元素线性： R^2 均优于 0.999。

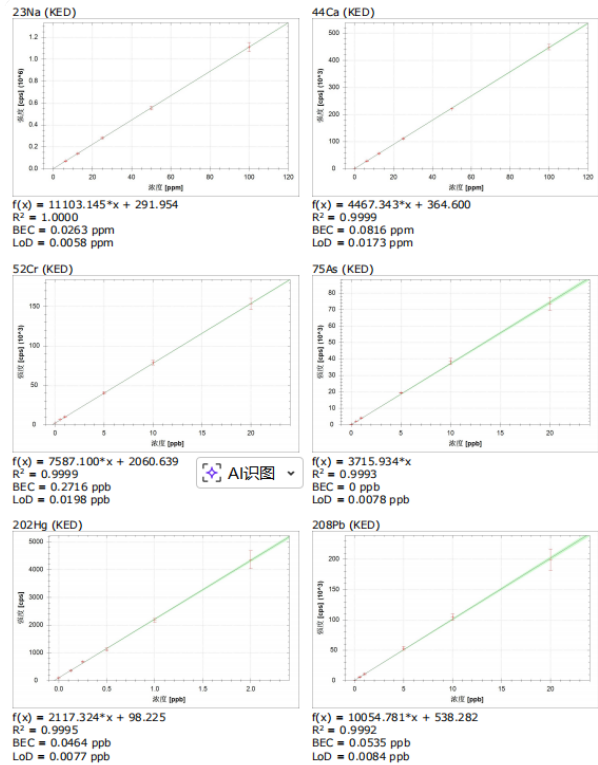


图 1 六种元素线性图

通过 11 次过程空白计算出方法定量限，数量级得优于限量要求。乳制品中 Na, Ca 为主含量元素，只需要使用电子稀释功能，选择性得抑制其灵敏度即可。使用汇总为表 2。

必须着重指出的是：iQuad2300 唯二的电子稀释功能，使得 Na, Ca 可以和其他元素一样，信号强度落在脉冲区间，与 Hg 浓度差异 10 万倍仍然可以同时精确测定。

区别于很多型号的 ICP-MS 通过两种气溶胶稀释倍数或两种氨气流量来实现信号抑制的传统做法，电子稀释的构思，对减少测试时间具有重要意义。

电子稀释不只是选择性得抑制信号强度，而且它还能在保持一个氨气流速前提下，实现不同的碰撞效果。As, Cr 在奶制品中受到较多的 ArC 于 CaCl 的影响， ΔH 从正常的 -0.5 变为 -0.45 就可以增强抗干扰能力。

表 2：6 种元素方法信息

元素	质量数	模式	ΔH	限量 ppm	方法定量限 ppm
Na	23	KED	-0.15	N/A	N/A
Ca	44	KED	-0.35	N/A	N/A

Cr	52	KED	-0.45	0.3	0.01
As	75	KED	-0.45	0.1	0.0006
Hg	202	KED	-0.6	0.01	0.0006
Pb	208	KED	-0.5	0.02	0.0003

最后，我们分析质控样中的 6 种元素，并在 GB5009.268-2025 给定的方法定量限，1/2 定量限，2 定量限，6 定量限浓度做加标试验。测定值与质控范围符合，加标回收率 88%-116%。大部分加标回收率为 90%-110%，部分样品加标回收率稍高，可能与污染有关。

表 3 对某品牌酸奶进行四浓度六平行的加标回收率实验

浓度	Hg	Cr	As	Pb
0.5*MQL	101%	103%	108%	107%
	111%	101%	111%	108%
	91%	101%	108%	106%
	92%	105%	113%	112%
	105%	103%	114%	110%
	106%	103%	109%	109%
MQL	102%	101%	110%	106%
	107%	100%	104%	104%
	93%	96%	102%	106%
	89%	94%	102%	104%
	91%	98%	108%	105%
	88%	94%	99%	101%
2*MQL	109%	100%	104%	100%
	111%	99%	110%	98%
	109%	100%	107%	104%
	105%	105%	111%	99%
	102%	102%	109%	102%
	106%	101%	106%	102%
6*MQL	101%	97%	105%	101%
	107%	99%	104%	96%
	105%	96%	103%	97%
	116%	97%	104%	98%
	105%	95%	102%	98%
	111%	96%	102%	96%

备注：MQL 来源为 GB5009.268-2025

表 4 质控样品测定情况

元素	GBW08509 证书值	实测值	内部质控证书值	实测值
Cr	-	-	7.96-9.48	8.77
As	0.02-0.042	0.022	0.166-0.222	0.211
Hg	-	-	1.4-1.7	1.6
Pb	0.24-0.44	0.28	0.125-0.181	0.159
Na	5.09-5.43	5.12	1460-1760	1630
Ca	11.7-12.7	12.1	4020-4520	4156

结论

本工作证明了衡昇 iQuad 2300 型 ICP-MS，在乳制品中元素测定的重要应用价值，一个方法无需任何稀释或模式切换，即可完成对营养元素与毒性元素的测定。对提高生产效率，节约企业成本具有积极意义。

参考资料

1. GB 5009.268-2025 食品安全国家标准 食品中多元素的测定
2. GB2762—2022 食品安全国家标准食品中污染物限量