

# MS/MS 模式下运行的 Agilent 8900 ICP-MS/MS 在日常食品分析中的优势

## 应用简报

### 食品安全

#### 作者

Kazuhiro Sakai

安捷伦科技（日本）有限公司



## 前言

食品安全问题越来越引起人们的关注和重视，这体现在有关食品中有毒元素和化合物控制的法规越来越严。许多有毒元素（如 As、Hg、Cd、Pb 等）需要日常监测，以确保食品安全。同时，对人体健康有益或必需的矿物质（如 Se、Na、Mg、K、Ca 等）也要测定。

作为一种快速、高通量、多元素分析技术，ICP-MS 动态范围宽，灵敏度高，越来越多地应用于日常食品分析。由于食品基质差异大且复杂，最近安捷伦高基质进样 (HMI/UHMI) 技术在基质耐受性方面进行



Agilent Technologies

了改进，使其在食品应用中具有更多优势。UHMI 采用气溶胶稀释降低载入等离子体中的样品基质，使日常分析的基质水平达到百分之几的总溶解固体 (TDS)。这一水平远高于 ICP-MS 传统分析所适用的样品上限 0.2% (2000 ppm)。

随着碰撞/反应池 (CRC) 技术的发展，四极杆 ICP-MS 中多原子离子干扰的控制也得到了显著改善。CRC 采用动能区分 (KED) 使氦气 (He) 碰撞模式中的多原子离子减少。在一组反应池条件下，基于安捷伦八极杆的 CRC (ORS<sup>4</sup>) 通常用于抑制各种基质中的多原子离子干扰 [1]。因此，常规四极杆 ICP-MS (ICP-QMS) 对各种样品基质中规定浓度的所有必需元素进行可靠而准确的定量分析现在成为了可能。

然而，一些食品分析应用对特定元素需要更高的灵敏度，而另一些复杂的样品基质可能引起光谱干扰，仍然成为 ICP-QMS 分析的挑战。例如，某些带双电荷的稀土元素 (REE) 离子与主要分析物表现出相同的质量，从而阻碍了某些样品类型中低浓度砷 (As) 和硒 (Se) 的准确测量 [2, 3]。

### ICP-MS/MS 提高干扰去除能力

Agilent 8900 串联四极杆 ICP-MS (ICP-MS/MS) 具有独特的串联质谱构造，包括两个扫描四极杆质量分析器，分别在基于八极杆的 ORS<sup>4</sup> 碰撞反应池的两侧。因此，8900 ICP-MS/MS 能够利用反应池气体和离子/分子反应化学，并结合 MS/MS 模式，解决棘手的光谱干扰问题 [4]。MS/MS 反应化学提供的卓越干扰消除能力使上一代 Agilent 8800 ICP-MS/MS 在工业和研究实验室得到了广泛认可，如半导体设备和高纯度化学品/材料制造、生命科学、地球科学、放射性核素以及其他领域 [5-8]。MS/MS 模式还有利于分析某些常规应用中存在的干扰问题的元素，如食品样品、土壤、废水和地下水的分析。由于 Agilent 8900 ICP-MS/MS 的基质耐受性和稳定性能够与安捷伦市场领先的单四极杆 ICP-MS 系统相媲美，因此 8900 ICP-MS/MS 适用于这些高基质样品的常规分析。

### 解决 As 和 Se 分析相关的问题

众所周知，砷 (As) 是一种有毒元素，而硒 (Se) 是一种必需元素，Se 过量时也会致毒。因此，许多国家规定了食品、动物饲料、饮用水、地表水和土壤中 As 和 Se 的允许浓度。然而，As 和 Se 会受到多原子离子的光谱干扰，包括  $\text{ArCl}^+$ 、 $\text{CaCl}^+$ 、 $\text{ArAr}^+$ 、 $\text{S}_2\text{O}^+$ 、 $\text{SO}_3^+$ 、 $\text{GeH}^+$  和  $\text{BrH}^+$ 。在氦 (He) 池模式下运行的 ICP-QMS 可减少这些干扰，从而准确而精密地测量 As 和 Se 的浓度水平，以满足典型的法规要求。

然而，He 模式不适用于带双电荷的离子叠加。镧系元素或稀土元素 (REE) 能够形成带双电荷的离子 ( $\text{REE}^{++}$ )，这种离子可与 As 和 Se 叠加。在质量转移模式下，以  $\text{O}_2$  作为反应池气体，这些带双电荷的离子可避免发生叠加。在此模式下，分析物以反应产物离子  $^{75}\text{As}^{16}\text{O}^+$  和  $^{78}\text{Se}^{16}\text{O}^+$  的形式得到测量，其质量数分别移至  $m/z$  91 和 94，从而不受初始  $\text{REE}^{++}$  叠加的影响。该反应化学可用于 ICP-QMS 的 CRC 中，但是等离子体中的现有离子可能叠加到新形成的产物离子上。例如， $^{91}\text{Zr}^+$  叠加到  $^{75}\text{As}^{16}\text{O}^+$ ， $^{94}\text{Mo}^+$  叠加到  $^{78}\text{Se}^{16}\text{O}^+$ 。为确保获得可控且连续的反应化学，ICP-MS/MS 采用 MS/MS 模式。其中，第一个四极杆 (Q1) 作为质量过滤器，将其设定为适当的  $\text{As}^+$  或  $\text{Se}^+$  母离子质量。Q1 排除所有其他质量，从而去除了存在的  $\text{Zr}^+$  和  $\text{Mo}^+$  离子，并阻止它们与新的分析物产物离子叠加。

通常食品和其他天然样品中的 REE 含量低，但在富含 REE 的土壤中生长的农作物吸收这些元素的浓度可能会高。MS/MS 模式与  $\text{O}_2$  反应池气体相结合，对高浓度 REE 的意外情况，避免了报告 As 和 Se 错误结果的潜在风险。

在本研究中，Agilent 8900 ICP-MS/MS 作为一种常规工具用于分析食品样品消解液中的 30 种元素（包括 As 和 Se）。

# 实验部分

## 有证标准物质 (CRM)

购自美国国家标准技术研究院 (NIST) 和 High-Purity Standards Inc. (Charleston, SC, USA) 的五种食品 CRM 用于本研究分析。所用的 CRM 分别为 NIST 1567b 小麦粉、NIST 1568b 米粉、NIST 1515 苹果叶、NIST 1573a 番茄叶和 High Purity Standards 混合食品溶液。

## 样品前处理

由于需要测量包括 Hg 在内的几种挥发性元素，食品 CRM 在密闭容器中利用 Milestone ETHOS 1 高级微波消解系统进行消解。准确称取约 1.0 g 各种粉状 CRM (NIST 1567b、NIST 1568b) 和 0.5 g 各种其他类型样品 (NIST 1515、NIST 1573a)，倒入密闭微波容器中。将 6 mL HNO<sub>3</sub> 和 1 mL HCl (电子级 (EL) 酸, Kanto Chemicals) 加入微波容器中。室温下放置 15 min 后，按照表 1 的加热程序进行微波加热。将所有 CRM 完全溶解，得到澄清溶液，然后用超纯水 (Merck, Darmstadt, Germany) 将该溶液稀释至 100 mL 的最终体积。

表 1. 四种 CRM 食品样品的微波消解加热程序

功率 (W)	温度 (°C)	程序升温时间 (min)	保持时间 (min)
500	70	2	3
1000	140	5	5
1000	200	5	15
通风			30

众所周知，样品溶液中存在的碳会增强某些元素 (特别是 As、Se 和 P) 的 ICP-MS 信号，尽管增强的具体机理尚不清楚 [9, 10]。在本研究中的高消解温度 (200 °C) 下，碳基质在消解过程中被有效降解。通过在内标溶液中在线加入 2% 正丁醇，确保所有样品和标准品中碳过量，从而减轻样品中任何残留碳的影响。

## 仪器

配备标准样品引入系统的 Agilent 8900 ICP-MS/MS (标准配置) 用于测试，该系统包括玻璃同心雾化器、石英雾化室和 Ni 接口锥。8900 ICP-MS/MS 标准配置中包含 UHMI 技术，能够分析高达 25% NaCl 溶液的基质 [11]。等离子体条件的选择依据样品的类型和预期的基质水平，使用 MassHunter 软件的“预设等离子体”功能实现。

## 采集条件

多重调谐方法用于食品样品的多元素分析，从而使所有元素均可在最佳反应池气体模式下得以采集。对于每一个分析物元素，在最佳调谐和反应池条件下，多重调谐可对样品自动分析。He 模式用于除 P、S、As 和 Se 之外的所有元素，而这几种元素用 O<sub>2</sub> 反应池气体在质量转移模式下测定。该方法基于一个适用于食品样品的预设方法，改进后包括 O<sub>2</sub> 反应池气体模式。选择预设等离子体条件“UHMI-4”，其中数字 4 表示近似的气溶胶稀释倍数。UHMI 设置自动将预定义和校准参数应用于 RF 功率、采样深度、载气流速和稀释气流速，为目标样品类型提供精确且可重现的等离子体条件。透镜电压自动调谐以获得最大灵敏度。表 2 汇总了仪器操作参数。

表 2. Agilent 8900 ICP-MS/MS 的操作条件

参数	设置	
反应池模式	He 模式	O <sub>2</sub> 模式
扫描类型	单四极杆	MS/MS
等离子体条件	UHMI-4	
RF 功率 (W)	1600	
采样深度 (mm)	10	
载气流速 (L/min)	0.77	
稀释气流速 (L/min)	0.15	
提取电压 1 (V)	0	
提取电压 2 (V)	-250	
Omega 偏置电压 (V)	-140	
Omega 透镜电压 (V)	8.8	
反应池气体流速 (mL/min)	5.5	0.3 (占满量程全程的 20%)
KED (V)	5	-7

阴影部分的参数通过选择预设等离子体条件 UHMI-4 进行预定义。

校准标样和内标

校准标样由安捷伦多元素环境校准标样（部件号 5183-4688）配制而成，该标样分别包含 1000 ppm Fe、K、Ca、Na、Mg 以及 10 ppm Ag、Al、As、Ba、Be、Cd、Co、Cr、Cu、Mn、Mo、Ni、Pb、Sb、Se、Th、Tl、U、V 和 Zn。B、Rb、Sr、Sn 和 Hg 标样由购自 Kanto Chemicals (Tokyo, Japan) 的 1000 ppm 原子吸收级单元素标准品配制得到。S 和 P 标样由 10000 ppm Spex 单元素标准品 (SPEX CertiPrep, NJ, USA) 配制而得。内标 (ISTD) 溶液由适用于 ICP-MS 系统的安捷伦内标储备液（部件号 5188-6525）配制，该储备液包含 6-Li、Sc、Ge、Rh、In、Tb、Lu 和 Bi。加入的 Ir 购自 Kanto Chemicals 的原子吸收级单元素标准品。利用标准在线 ISTD 套件将 ISTD 加入样品中。

校准标样用 6% HNO<sub>3</sub> 和 1% HCl 配制，以此与样品溶液的酸浓度相匹配。ISTD 用 1% HNO<sub>3</sub> 和 0.5% HCl 配制。校准范围如下：常量元素：0-100 ppm，痕量元素：0-500 ppb，B：0-200 ppb，Hg：0-1 ppb 和 Sn：0-2 ppb。

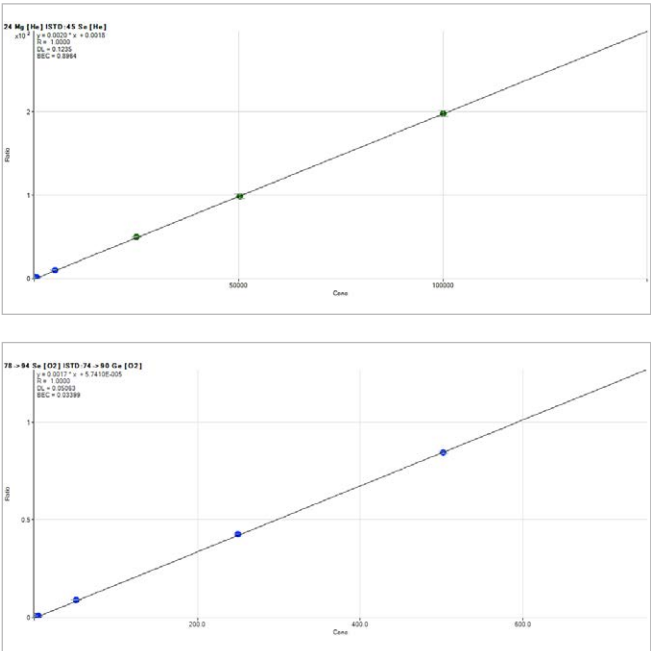


图 1. 常量元素 (Mg) 和痕量元素 (Se) 的典型校准曲线

校准标样、样品和 QC 溶液的序列

该序列包括一个初始的多水平校准，它涵盖了目标分析物的典型范围；接着是一个 QC 块，它包含了初始校准空白 (ICB) 校验和初始校准验证 (ICV) 溶液。校准和初始 QC 校验后，如图 2 所示，12 个样品块按照流程进行分析。每个样品块包括 2 个制备空白和 10 个样品（小麦粉、米粉、苹果叶、番茄叶和混合食品各 2 个）。在每个样品块后，一个包含连续校准空白 (CCB) 和连续校准验证 (CCV) 样品的周期块自动插入序列中。

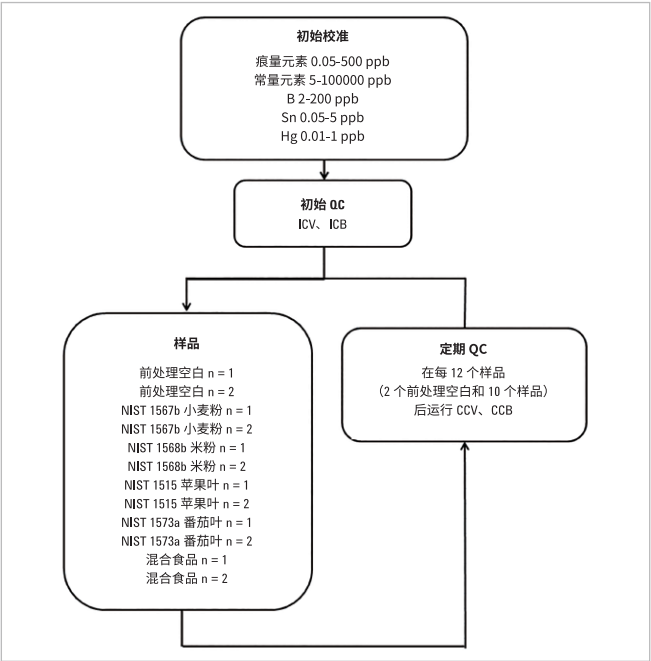


图 2. 校准标样、样品和 QC 溶液在一个 15 h 的分析序列。在每个样品块后自动插入周期 QC 块，以此不断重复样品块

校准标样、QC 样品和食品消解液样品在 15 h 内分析的总数为 183 个。样品与样品之间的运行时间约为 5 min，其中包括 10 s 针头冲洗和 60 s 样品引入系统清洗，蠕动泵转速为 0.3 rps。表 3 列出了该方法测得的检测限 (DL)。



表 3. 方法检测限

元素	扫描模式	Q1	Q2	DL (ppb)	元素	扫描模式	Q1	Q2	DL (ppb)
B	单四极杆		11	0.3653	Se	单四极杆		78	0.3158
Na	单四极杆		23	0.1945	Se	MS/MS	78	94	0.0506
Mg	单四极杆		24	0.1235	Rb	单四极杆		85	0.0115
Al	单四极杆		27	0.1847	Sr	单四极杆		88	0.0006
P	MS/MS	31	47	0.0919	Mo	单四极杆		95	0.0090
S	MS/MS	32	48	0.4367	Ag	单四极杆		107	0.0063
K	单四极杆		39	7.0656	Cd	单四极杆		111	0.0018
Ca	单四极杆		44	8.7579	Sn	单四极杆		118	0.0074
V	单四极杆		51	0.0079	Sb	单四极杆		121	0.0026
Cr	单四极杆		52	0.0880	Ba	单四极杆		138	0.0008
Mn	单四极杆		55	0.0099	Hg	单四极杆		202	0.0005
Fe	单四极杆		56	0.1595	Tl	单四极杆		205	0.0104
Co	单四极杆		59	0.0009	Pb	单四极杆		208	0.0016
Ni	单四极杆		60	0.0484	Th	单四极杆		232	0.0018
Cu	单四极杆		63	0.0102	U	单四极杆		238	0.0009
Zn	单四极杆		66	0.0308					
As	单四极杆		75	0.0044					
As	MS/MS	75	91	0.0040					

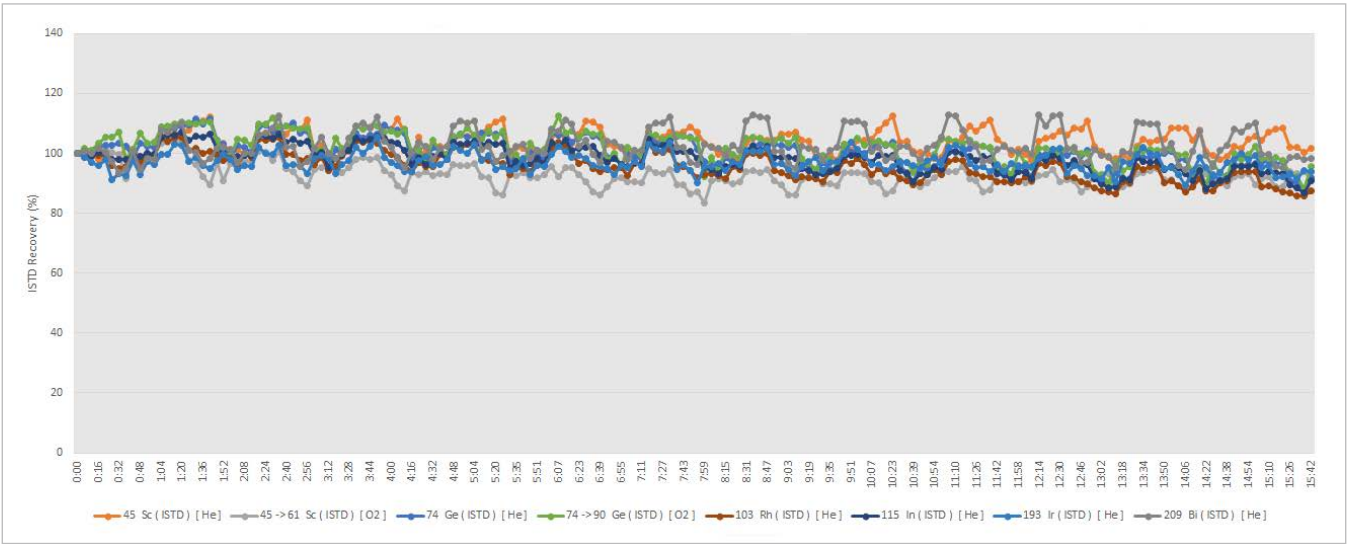


图 3. 15 h 内分析 183 个样品序列的 ISTD 信号稳定性

结果与讨论

ISTD 和 CCV 稳定性

图 3 展示了 15 h 内分析 183 个样品序列的 ISTD 信号稳定性。所有样品的 ISTD 回收率均在初始校准标样值的  $\pm 20\%$  范围内。这些 ISTD 回收率可与 ICP-QMS 常规分析所获得的结果相媲美，这证明 8900 ICP-MS/MS 具有同等的稳健性。

校准标样的中点浓度用作 CCV 溶液。15 h 内分析获得的 CCV 回收率稳定，如图 4 所示，所有元素均在  $\pm 10\%$  范围内。这再次证明，对于常规食品消解液分析，8900 ICP-MS/MS 具有高基体耐受性。

CRM 回收率结果

将五种食品 CRM 作为未知样品进行分析，以此评估方法的准确度。在批次中，每种 CRM 测量 24 次。计算每种元素的平均浓度和相对标准偏差 (%RSD)，并与标准值进行比较，结果如表 4-8 所示。在优选测量模式下，所有元素的结果与标准值和参考值一致性良好。在 He 模式和 O<sub>2</sub> 质量转移模式下，As 和 Se 获得了测定结果，以便与样品中可能含有意外高浓度 REE 时的结果相比较。NIST 1515 苹果叶 CRM 中含有低浓度 ( $\mu\text{g/kg}$ ) As 和 Se (表 6) 和高浓度 REE。Nd、Sm 和 Gd 的参考 (非标准) 值分别为 17、3 和 3 mg/kg。针对苹果叶以及在较低程度上的番茄叶而言，在 O<sub>2</sub> 质量转移模式下，As 和 Se 获得了更准确的回收率。这表明这两种参比物质中相对较高水平的 REE 可能导致潜在的误差。

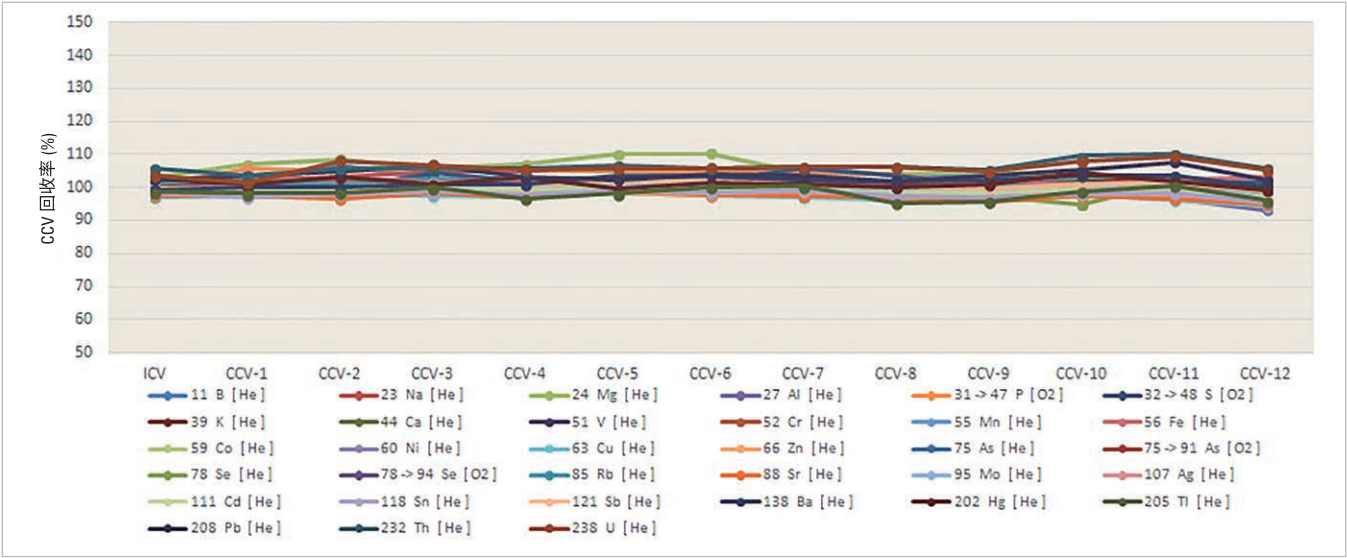


图 4. 15 h 内分析获得的所有元素的 CCV 回收率

表 4. NIST 1567b 小麦粉的测定结果, n = 24

元素	溶液浓度测定值 (µg/L)	RSD (%)	样品浓度计算值 (mg/kg)			标准浓度 (mg/kg)			回收率 (%)
23 Na	65.2	2.3	6.50	±	0.15	6.71	±	0.21	97
24 Mg	3842	1.6	383	±	6	398	±	12	96
27 Al	39	2.8	3.9	±	0.1	4.4	±	1.2	88
31 -> 47 P	12936	2.0	1291	±	26	1333	±	36	97
32 -> 48 S	15496	2.2	1546	±	34	1645	±	25	94
39 K	12700	2.3	1267	±	29	1325	±	20	96
44 Ca	1871	1.8	186.7	±	3.4	191.4	±	3.3	98
51 V	0.10	8.1	0.010	±	0.001	0.01*			100
55 Mn	86	1.7	8.54	±	0.14	9.00	±	0.78	95
56 Fe	142	1.6	14.20	±	0.22	14.11	±	0.33	101
63 Cu	19	1.6	1.94	±	0.03	2.03	±	0.14	96
66 Zn	112	1.9	11.17	±	0.21	11.61	±	0.26	96
75 As	0.047	16.5	0.0046	±	0.001	0.0048	±	0.0003	97
75 -> 91 As	0.049	19.4	0.0049	±	0.001	0.0048	±	0.0003	101
78 Se	11.5	4.2	1.15	±	0.05	1.14	±	0.10	101
78 -> 94 Se	11.8	1.9	1.17	±	0.02	1.14	±	0.10	103
85 Rb	6.54	1.8	0.652	±	0.012	0.671	±	0.012	97
95 Mo	4.60	2.1	0.459	±	0.009	0.464	±	0.034	99
111 Cd	0.239	5.7	0.0238	±	0.0014	0.0254	±	0.0009	94
118 Sn	0.0355	12.8	0.0035	±	0.0005	0.003*			118
202 Hg	0.0066	11.3	0.0007	±	0.0001	0.0005*			131
208 Pb	0.0937	4.4	0.0094	±	0.0004	0.0104	±	0.0024	90

\* 参考值

表 5. NIST 1568b 米粉的测定结果, n = 24

元素	溶液浓度测定值 (µg/L)	RSD (%)	样品浓度计算值 (mg/kg)			标准浓度 (mg/kg)			回收率 (%)
23 Na	65.6	3.2	6.54	±	0.28	6.74	±	0.19	97
24 Mg	5454	1.5	543	±	8	559	±	10	97
27 Al	40.3	3.3	4.01	±	0.13	4.21	±	0.34	95
31 -> 47 P	15162	2.8	1510	±	43	1530	±	40	99
32 -> 48 S	11369	2.5	1133	±	28	1200	±	10	94
39 K	12371	2.0	1233	±	24	1282	±	11	96
44 Ca	1158	2.1	115.3	±	2.5	118.4	±	3.1	97
51 V	182.3	1.0	18.2	±	0.2	19.2	±	1.8	95
55 Mn	75.4	1.0	7.51	±	0.08	7.42	±	0.44	101
56 Fe	0.173	1.7	0.0173	±	0.0003	0.0177	±	0.0005*	98
63 Cu	22.7	1.0	2.26	±	0.02	2.35	±	0.16	96
66 Zn	191.7	1.4	19.10	±	0.26	19.42	±	0.26	98
75 As	2.97	1.4	0.296	±	0.004	0.285	±	0.014	104
75 -> 91 As	3.01	1.7	0.300	±	0.005	0.285	±	0.014	105
78 Se	3.4	8.9	0.341	±	0.030	0.365	±	0.029	93

表 5 续于下页

78 -> 94 Se	3.5	3.8	0.352	±	0.013	0.365	±	0.029	96
85 Rb	61.1	1.1	6.088	±	0.069	6.198	±	0.026	98
95 Mo	13.96	1.2	1.391	±	0.017	1.451	±	0.048	96
111 Cd	0.201	4.9	0.0201	±	0.0010	0.0224	±	0.0013	90
118 Sn	0.060	7.4	0.0060	±	0.0004	0.005	±	0.001*	121
202 Hg	0.0529	2.1	0.0053	±	0.0001	0.0059	±	0.0004	89
208 Pb	0.068	3.0	0.0068	±	0.0002	0.008	±	0.003*	85

\*参考值

表 6. NIST 1515 苹果叶的测定结果，n = 24

元素	溶液浓度测定值 (µg/L)	RSD (%)	样品浓度计算值 (mg/kg)			标准浓度 (mg/kg)			回收率 (%)
11 B	141	2.9	28	±	0.8	27	±	2	104
23 Na	196	1.6	39.1	±	0.6	24.4	±	1.2	160 <sup>*1</sup>
24 Mg	14083	1.3	2812	±	36	2710	±	80	104
27 Al	1458	1.6	291	±	5	286	±	9	102
31 -> 47 P	8088	2.2	1615	±	35	1590*			102
32 -> 48 S	9211	1.4	1839	±	26	1800*			102
39 K	80429	2.2	16057	±	361	16100	±	200	100
44 Ca	74060	1.2	14786	±	172	15260	±	1500	97
51 V	1.20	2.8	0.24	±	0.01	0.26	±	0.03	92
52 Cr	1.3	1.4	0.25	±	0.00	0.3*			85
55 Mn	265	1.0	53	±	1	54	±	3	98
56 Fe	379	0.8	76	±	1	80*			95
59 Co	0.44	1.5	0.088	±	0.001	0.09*			98
60 Ni	4.4	1.7	0.88	±	0.02	0.91	±	0.12	97
63 Cu	28.2	1.0	5.62	±	0.06	5.64	±	0.24	100
66 Zn	60.3	0.9	12.0	±	0.1	12.5	±	0.3	96
75 As	2.0	1.2	0.395	±	0.005	0.038	±	0.007	1040
75 -> 91 As	0.2	3.7	0.036	±	0.001	0.038	±	0.007	94
78 Se	13.43	5.8	2.7	±	0.2	0.050	±	0.009	5364
78 -> 94 Se	0.271	13.8	0.054	±	0.008	0.050	±	0.009	108
85 Rb	46.3	0.9	9.2	±	0.1	9*			103
88 Sr	123.0	1.0	25	±	0	25	±	2	98
95 Mo	0.44	5.3	0.088	±	0.005	0.094	±	0.013	94
111 Cd	0.06	7.0	0.013	±	0.001	0.014*			91
121 Sb	0.06	4.6	0.011	±	0.001	0.013*			85
138 Ba	245	1.9	49	±	1	49	±	2	100
202 Hg	0.21	2.0	0.041	±	0.001	0.044	±	0.004	93
208 Pb	2.3	1.3	0.452	±	0.006	0.470	±	0.024	96
232 Th	0.14	2.2	0.028	±	0.001	0.03*			93
238 U	0.034	3.7	0.0068	±	0.0003	0.006*			113

\* 参考值

阴影部分 As 和 Se 的数值在单四极杆模式下使用 He 反应池气体测得。在 MS/MS 模式与 O<sub>2</sub> 质量转移下测得的准确结果列于下一行

<sup>1</sup> Na 的测量结果高于参考值，重复分析同一溶液获得的结果相同。因此，加标回收率测试用来确认结果。加标回收率结果良好（回收率：99%），这表明初始样品遭受了 Na 污染



表 7. NIST 1573a 番茄叶的测定结果，n = 24

元素	溶液浓度测定值 (µg/L)	RSD (%)	样品浓度计算值 (mg/kg)			标准浓度 (mg/kg)			回收率 (%)
11 B	167	1.9	33.3	±	0.6	33.3	±	0.7	100
23 Na	613	2.5	122	±	3	136	±	4	90
24 Mg	57311	2.0	11412	±	225	12000*			95
27 Al	2573	2.4	512	±	12	598	±	12	86
31 -> 47 P	10928	2.7	2176	±	59	2160	±	40	101
32 -> 48 S	48387	1.4	9635	±	131	9600*			100
39 K	134250	2.2	26732	±	591	27000	±	500	99
44 Ca	243939	1.4	48574	±	671	50500	±	900	96
51 V	4.0	2.2	0.792	±	0.017	0.835	±	0.010	95
52 Cr	9.3	1.6	1.85	±	0.03	1.99	±	0.06	93
55 Mn	1236.5	1.5	246	±	4	246	±	8	100
56 Fe	1843.3	1.7	367	±	6	368	±	7	100
59 Co	2.8	1.4	0.55	±	0.01	0.57	±	0.02	96
60 Ni	7.9	1.9	1.56	±	0.03	1.59	±	0.07	98
63 Cu	23.7	1.5	4.71	±	0.07	4.70	±	0.14	100
66 Zn	149.4	1.5	29.8	±	0.5	30.9	±	0.7	96
75 As	0.7	2.3	0.141	±	0.003	0.112	±	0.004	126
75 -> 91 As	0.6	1.7	0.112	±	0.002	0.112	±	0.004	100
78 Se	1.03	15.6	0.205	±	0.032	0.054	±	0.003	380
78 -> 94 Se	0.31	11.2	0.061	±	0.007	0.054	±	0.003	113
85 Rb	69.7	1.2	13.88	±	0.16	14.89	±	0.27	93
88 Sr	421.0	1.3	84	±	1	85*			99
95 Mo	2.1	2.8	0.42	±	0.01	0.46*			91
107 Ag	0.09	9.1	0.018	±	0.002	0.017*			104
111 Cd	7.4	1.4	1.47	±	0.02	1.52	±	0.04	97
121 Sb	0.28	3.4	0.055	±	0.002	0.063	±	0.006	88
138 Ba	302.8	2.1	60.3	±	1.3	63*			96
202 Hg	0.15	2.4	0.030	±	0.001	0.034	±	0.004	88
232 Th	0.52	2.1	0.104	±	0.002	0.12*			87
238 U	0.14	2.3	0.029	±	0.001	0.035*			81

\* 参考值

阴影部分 As 和 Se 的数值在单四极杆模式下使用 He 反应池气体测得。在 MS/MS 模式与 O<sub>2</sub> 质量转移下测得的准确结果列于下一行

表 8. High Purity Standard 混合食品溶液的测定结果，n = 24

元素	溶液浓度测定值 (µg/L)	RSD (%)	样品浓度计算值 (mg/kg)			标准浓度 (mg/kg)			回收率 (%)
23 Na	15808	2.9	61.8	±	1.8	60.0	±	0.6	105
24 Mg	3300	2.3	12.9	±	0.3	12.0	±	0.1	108
27 Al	26	4.5	0.100	±	0.005	0.100	±	0.002	100
31 -> 47 P	15543	3.3	60.8	±	2.0	60.0	±	0.6	101
39 K	41898	2.2	164	±	4	160	±	2	102
44 Ca	9800	2.7	38.3	±	1.0	40.0	±	0.4	96
52 Cr	0.55	10.4	0.0021	±	0.0002	0.002*			107
55 Mn	49.2	1.7	0.192	±	0.003	0.200	±	0.004	96
56 Fe	204.5	1.8	0.80	±	0.01	0.80	±	0.01	100
59 Co	0.2	2.4	0.0008	±	0.0000	0.0008*			98
60 Ni	5.1	2.5	0.020	±	0.001	0.020	±	0.001	99
63 Cu	15.3	1.7	0.060	±	0.001	0.060	±	0.006	100
66 Zn	74.5	2.0	0.29	±	0.01	0.30	±	0.01	97
75 As	5.1	2.0	0.020	±	0.000	0.020	±	0.001	99
75 -> 91 As	5.2	2.6	0.020	±	0.001	0.020	±	0.001	102
78 Se	1.26	14.8	0.0049	±	0.0007	0.005*			99
78 -> 94 Se	1.31	6.6	0.0051	±	0.0003	0.005*			102
95 Mo	1.5	3.1	0.0059	±	0.0002	0.006*			98
111 Cd	2.0	2.1	0.0078	±	0.0002	0.0080	±	0.0008	98

\* 参考值

## 结论

对于高基质样品（如食品消解液样品）中最宽范围的痕量和常量元素，Agilent 8900 标准配置 ICP-MS/MS 与 UHMI 相结合提供了常规分析所需要的稳定性和基质耐受性。在 O<sub>2</sub> 反应池气体与 MS/MS 质量转移模式下，影响痕量水平砷和硒准确测定的带双电荷的 REE 干扰得以消除。大多数其他元素在 He 模式下进行测定，对于复杂多变的基质，这种在使用中充分验证过的方法广泛用于去除常见的基于基质的多原子干扰。

尽管并非所有的食品、土壤和沉积物中均含有高浓度的 REE，但是 ICP-MS/MS 与 MS/MS 相结合提高了食品与环境样品中 As 和 Se 测量结果的准确度和可靠性，而这些样品通常含有复杂多变的高 TDS 基质。

利用预设方法和自动调谐大大简化了方法开发，确保获得可重现的性能，不受操作者经验丰富与否的影响。

## 参考文献

1. Ed McCurdy and Glenn Woods, J. Anal. At. Spectrom., 2004, 19, 607-615
2. Brian P Jackson et al, J. Anal. At. Spectrom., 2015, 30, 1179-1183
3. Kazuhiro Sakai, 安捷伦应用简报, 2015, 5991-6409EN
4. Agilent 8800 ICP-MS/MS 应用手册第二版, 2015, 5991-2802CHCN
5. Lieve Balcaen et al, Anal. Chim. Acta, 2014, 809, 1-8
6. S.D. Fernandez et al, Geochem Geophy Geosy, 2015, 16, 2005 - 2014
7. Takeshi Ohno and Yasuyuki Muramatsu, J. Anal. At. Spectrom., 2014, 29, 347-351
8. Clarice D. B. Amaral et al, Anal. Methods, 2015, 7, 1215-1220.
9. Erik H. Larsen, Stefan Sturup, J. Anal. At. Spectrom., 1994, 9, 1099-1105
10. Maurizio Pettine, Barbara Casentini, Domenico Mastroianni, Silvio Capri, Anal. Chim. Acta, 2007, 599, 2, 191-198
11. Wim Proper、Ed McCurdy 和 Junichi Takahashi, 安捷伦应用简报, 2014, 5991-4257CHCN

查找当地的安捷伦客户中心：  
**[www.agilent.com/chem/contactus-cn](http://www.agilent.com/chem/contactus-cn)**

免费专线：  
**800-820-3278, 400-820-3278 (手机用户)**

联系我们：  
**[LSCA-China\\_800@agilent.com](mailto:LSCA-China_800@agilent.com)**

在线询价：  
**[www.agilent.com/chem/erfq-cn](http://www.agilent.com/chem/erfq-cn)**

**[www.agilent.com](http://www.agilent.com)**

安捷伦对本资料可能存在的错误或由于提供、  
展示或使用本资料所造成的间接损失不承担任何责任。

本资料中的信息、说明和指标如有变更，恕不另行通知。

© 安捷伦科技（中国）有限公司，2016  
2016 年 6 月 1 日，中国出版  
出版号：5991-6943CHCN



**Agilent Technologies**