

微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定 胎盘组织17种元素

徐文珍¹, 罗亚翠², 张海君², 方家阳², 张海蕾², 张双凤³

1.台州市疾病预防控制中心质管科, 浙江 台州 318000; 2.台州市疾病预防控制中心, 浙江 台州 318000;
3.浙江省疾病预防控制中心, 浙江 杭州 310051

摘要: **目的** 建立微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定人胎盘中多种元素。**方法** 胎盘组织60℃干燥15 h后均质磨粉。称取0.3 g均质后样品, 采用微波消解技术消解。采用电感耦合等离子体质谱的动能甄别模式消除质谱干扰, 在线内标模式消除基质干扰后, 检测胎盘组织中钒(V)、镍(Ni)、钴(Co)、铁(Fe)、铬(Cr)、铜(Cu)、锌(Zn)、锰(Mn)、砷(As)、锡(Sn)、锑(Sb)、钡(Ba)、硒(Se)、镉(Cd)、铅(Pb)、汞(Hg)和铊(Tl) 17种元素。**结果** V、Ni、Co、Cr、As、Se、Cd、Pb、Tl在1~50 μg/L, Fe在100~5 000 μg/L, Zn、Cu、Mn、Ba在10~500 μg/L, Sn、Sb在0.1~5 μg/L, Hg在0.2~2 μg/L范围内线性关系良好, 相关系数均≥0.999 8。17种元素的检出限为0.5~100 μg/kg, 相对标准偏差(RSD)为2.1%~6.5%, 回收率为83.3%~110.0%。以鸡肉标准物质(GBW10018)辅证方法准确性和适用范围, 各元素测定结果均在证书标准值范围内。**结论** 通过优化前处理方法和质谱检测条件建立的微波消解-电感耦合等离子体质谱法适用于胎盘中多种元素的检测。

关键词: 胎盘; 元素; 微波消解; 电感耦合等离子体质谱法

中图分类号: R446.1 文献标识码: A 文章编号: 2096-5087 (2022) 05-0534-06

Determination of 17 elements in placenta by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry

XU Wenzhen¹, LUO Yacui², ZHANG Haijun², FANG Jiayang², ZHANG Hailei², ZHANG Shuangfeng³

1.Department of Quality Management, Taizhou Center for Disease Control and Prevention, Taizhou, Zhejiang 318000, China; 2.Taizhou Center for Disease Control and Prevention, Taizhou, Zhejiang 318000, China; 3.Zhejiang Provincial Center for Disease Control and Prevention, Hangzhou, Zhejiang 310051, China

Abstract: Objective To establish a microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry assay for simultaneous determination of multiple elements in placenta. **Methods** Fresh placental tissues were dried at 60℃ for 15 h and ground into power. Then, 0.3 g homogenized samples were digested in a microwave digestion system. The interference from mass spectrometry was removed using the kinetic energy discrimination model in the inductively coupled plasma mass spectrometry, and the baseline interference was removed by online internal standards. The contents of 17 elements were determined in placental specimens using the established microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry assay, including V, Ni, Co, Fe, Cr, Cu, Zn, Mn, As, Sn, Sb, Ba, Se, Cd, Pb, Hg and Tl. **Results** Good linearity was shown for V, Ni, Co, Cr, As, Se, Cd, Pb and Tl at 1 to 50 μg/L, Fe at 100 to 5 000 μg/L, Zn, Cu, Mn and Ba at 10 to 500 μg/L, Sn and Sb at 0.1 to 5 μg/L, and Hg at 0.2 to 2 μg/L, with all correlation coefficients of 0.999 8 and higher. The detection limits of these 17 elements ranged from 0.5 to 100 μg/kg, with relative standard deviations of 2.1% to 6.5%, and recovery rates of 83.3% to 110.0%. The determination results of 17 elements

DOI: 10.19485/j.cnki.issn2096-5087.2022.05.023

基金项目: 台州市科技局项目(1902ky91)

作者简介: 徐文珍, 大专, 主管技师, 主要从事理化检验与实验室质量管理工作

通信作者: 张双凤, E-mail: shfzhang@cdc.zj.cn

were all within the normal reference range defined in the certified reference materials of chicken (GBW10018). **Conclusions** The microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry established based on optimized pretreatments and mass spectrometry detection conditions, is feasible for simultaneous determination of multiple elements in placenta.

Keywords: placenta; element; microwave digestion; inductively coupled plasma mass spectrometry

胎盘作为胎儿生长发育的天然屏障,在输送营养元素和抵御有害元素方面发挥着重要作用,是一种非侵入式监测胎儿内暴露和母体外暴露的双重标志物^[1]。部分金属元素可通过胎盘屏障进入胚胎或胎儿体内,已有动物实验表明重金属具有一定的胚胎毒性和致畸效应^[2-3];另一方面,母体微量元素过多或过少可导致不良妊娠结局^[4]。因此,建立能同时检测胎盘中微量元素和有毒有害元素的方法十分必要。目前胎盘元素检测尚未形成统一的标准化方法,影响了研究结果的准确性和可比性^[5]。国内多采用原子吸收法,可检测元素数量有限^[6];国外部分研究采用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS),但主要用于检测有毒有害元素,限制了多种元素联合效应及元素相关性的研究^[7]。ICP-MS检出限低,灵敏度高,线性范围宽,可实现多种元素同时分析,已广泛用于食品、水质、环境及生命科学领域^[8]。本研究拟建立微波消解-ICP-MS测定胎盘中钒(V)、镍(Ni)、钴(Co)、铁(Fe)、铬(Cr)、铜(Cu)、锌(Zn)、锰(Mn)、砷(As)、锡(Sn)、锑(Sb)、钡(Ba)、硒(Se)、镉(Cd)、铅(Pb)、汞(Hg)和铊(Tl) 17种元素。现报道如下。

1 材料与方法

1.1 仪器与试剂 NeXION 300D 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS, 美国 PerkinElmer 公司); TOPEX 微波消解仪(上海屹尧仪器科技发展有限公司); LDO-9246A 电热恒温鼓风干燥箱(上海龙跃仪器设备有限公司); A11 basic 研磨仪(德国 IKA 公司); 2.5 L Triad 冷冻干燥机(美国 Labconco 公司); Milli-Q 超纯水机(美国 Merck Millipore 公司)。浓硝酸(优级纯, 65%, 德国 Merck 两合试剂公司); 过氧化氢(优级纯, 30%, 阿拉丁试剂上海有限公司); 25 种元素混标溶液(含 500 mg/L Fe; 50.0 mg/L Ba、Cu、Mn、Zn; 5.00 mg/L As、Cd、Co、Cr、Ni、Pb、Se、Tl、V; 0.500 mg/L Sb、Sn; 美国 Inorganic ventures 公司); Hg 单标溶液(1 000 mg/L, 中国计量科学研究院); 铟(In)、铼(Re)和金(Au)单标溶液(浓度均为 1 000 mg/L, 国家有色金属及电子材料

分析测试中心); 质谱调谐溶液[含 1 μg/L 铍(Be)、铈(Ce)、Fe、Pb、In、锂(Li)、镁(Mg)和铀(U), 美国 PerkinElmer 公司]; 鸡肉成分分析标准物质(GBW10018, 地球物理地球化学勘察研究所); 超纯水(电阻率≥18.2 MΩ·cm), 由 Milli-Q 超纯水机制备。

1.2 胎盘组织 胎盘组织由台州医院分娩产妇自愿捐献, 捐献者均签署知情同意书。

1.3 方法

1.3.1 样品前处理 胎盘组织用超纯水冲洗 3 遍, 陶瓷剪刀剪碎, 置于烘箱 60 °C 干燥, 分别于 4、7、10、12、14、15、16 和 17 h 后记录样品重量。干燥后的样品用研磨仪粉碎, 放入干燥器备用。

称取约 0.3 g 样品, 加入 8 mL 浓硝酸, 100 °C 预消解 30 min 后, 再加入 1 mL 过氧化氢进行微波消解。微波消解程序: 80 °C, 保温 5 min, 压力 0.5 MPa; 100 °C, 保温 5 min, 压力 1 MPa; 120 °C, 保温 3 min, 压力 1.5 MPa; 150 °C, 保温 3 min, 压力 2 MPa; 180 °C, 保温 3 min, 压力 2.5 MPa; 200 °C, 保温 25 min, 压力 3 MPa。消解结束后, 置于赶酸仪 140 °C 加热至约 1 mL, 以超纯水定容至 10 mL。同时做试剂空白对照, 同法消解待测。

1.3.2 标准系列的配制 准确移取适量 25 种元素混标, 以 5% 硝酸逐级稀释得到多元素混标标准系列。Hg 单标以 5% 硝酸(含稳定剂 Au 2.0 mg/L) 逐级稀释得到 Hg 单标标准系列。各元素质量浓度见表 1。分别准确移取适量 In、Re 内标储备液, 以 5% 硝酸稀释至 20.0 μg/L 内标使用液。

1.3.3 ICP-MS 质谱条件 用 1 μg/L 质谱调谐溶液对 ICP-MS 仪器进行优化, 使 Be、In、Mg、U 信号强度, 背景信号强度, 氧化物和双电荷比率等参数均达到检测要求, 编辑检测方法。以氦气为碰撞气, 采用动能甄别模式消除多原子离子、双电荷等质谱干扰, 通过监测不同氦气流速下空白溶液(R₀)和 1 μg/L 标准溶液(R_s)中 ⁵¹V、⁵²Cr、⁵⁵Mn、⁵⁹Co、⁵⁷Fe、⁶⁰Ni、⁶³Cu、⁶⁶Zn、⁷⁵As 和 ¹¹⁸Sn 的信号值, 计算 R₀/R_s(R_s-R₀) 确定最佳碰撞气流速。以 ¹¹⁵In、¹⁸⁷Re 监测不同元素信号的漂移, 并校正待测元素信号, 消除基质干扰和信号漂移的影响。

表 1 17 种元素标准系列质量浓度

Table 1 Mass concentrations of standard series of 17 elements

元素 Element	质量浓度 Mass concentration/ (μg/L)					
	系列 1	系列 2	系列 3	系列 4	系列 5	系列 6
	Series 1	Series 2	Series 3	Series 4	Series 5	Series 6
⁵¹ V	0	1.00	5.00	10.0	25.0	50.0
⁵² Cr	0	1.00	5.00	10.0	25.0	50.0
⁵⁵ Mn	0	10.0	50.0	100	250	500
⁵⁷ Fe	0	100	500	1 000	2 500	5 000
⁵⁹ Co	0	1.00	5.00	10.0	25.0	50.0
⁶⁰ Ni	0	1.00	5.00	10.0	25.0	50.0
⁶³ Cu	0	10.0	50.0	100	250	500
⁶⁶ Zn	0	10.0	50.0	100	250	500
⁷⁵ As	0	1.00	5.00	10.0	25.0	50.0
⁷⁸ Se	0	1.00	5.00	10.0	25.0	50.0
¹¹¹ Cd	0	1.00	5.00	10.0	25.0	50.0
¹¹⁸ Sn	0	0.100	0.500	1.00	2.50	5.00
¹²¹ Sb	0	0.100	0.500	1.00	2.50	5.00
¹³⁸ Ba	0	10.0	50.0	100	250	500
²⁰² Hg	0	0.200	0.500	1.00	1.50	2.00
²⁰⁵ Tl	0	1.00	5.00	10.0	25.0	50.0
²⁰⁸ Pb	0	1.00	5.00	10.0	25.0	50.0

优化后的质谱条件：RF 射频功率 1 100 W；雾化气流速 1.03 L/min；等离子体气流速 17 L/min；辅助气流速 1.2 L/min；采样深度 10 mm；蠕动泵转速 20 r/min；采集模式为跳峰，驻留时间 50 ms，重复测定 3 次。采用碰撞模式 (KED) 测定，碰撞池入口电压 -6 V，出口电压 -26 V；四级杆偏转电压 -14 V，氦气流速 3.5 mL/min，RPq 0.25。

1.3.4 绘制标准曲线 依次测定标准系列、试剂空白、质控样品和胎盘组织样品，在线加入 20.0 μg/L ¹¹⁵In、¹⁸⁷Re 混标溶液，以待测元素和内标元素信号比值为纵坐标，经仪器的数据分析系统绘制标准曲线，计算胎盘组织样品中的元素含量。

1.3.5 检出限 在最佳检测条件下，平行测定 11 份试剂溶液，计算空白溶液和内标溶液信号值的比值及标准偏差，以 3 倍标准偏差除以标准曲线斜率计算仪器检出限。

1.3.6 加标回收试验 参照 GB/T 27404—2008 《实验室质量控制规范 食品理化检测》^[9] 对样品进行加标试验。取胎盘组织样品平行称 3 份，按照上述步骤消解并检测，每份平行测定 3 次，计算样品中 17 种元素含量，取平均值作为本底值；再平行取 36 份

胎盘组织样品，根据各元素本底值进行高、中、低水平加标，同法消解并检测各元素含量。

1.3.7 质控样品检测及精密度 选取实验室现有的相近基质的鸡肉成分分析标准物质 GBW10018 为质控样品，平行称取 7 份，同法消解并检测 17 种元素含量，计算各元素相对标准偏差 (RSD)。

2 结果

2.1 胎盘组织样品干燥时间的优化 60 °C 干燥 14 h 后胎盘重量基本恒定，见图 1。本实验以 60 °C 加热 15 h 作为干燥条件，得到样品的干湿比值为 0.15。

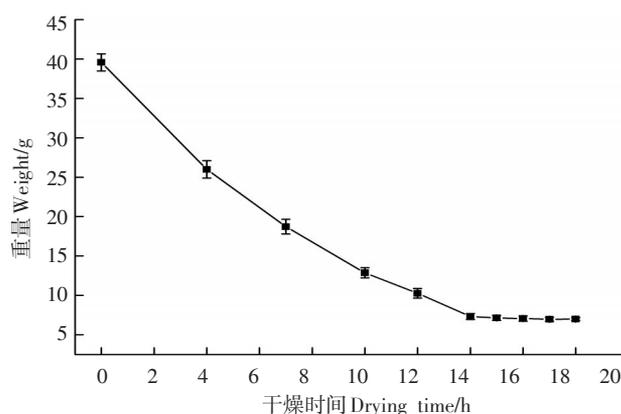


图 1 不同干燥时间胎盘组织重量变化

Figure 1 Weight of placental tissue samples with different drying time

2.2 干扰的消除

2.2.1 质谱干扰 当氦气流速在 2.5~4.5 mL/min 范围内以 0.5 mL/min 增加时，⁷⁸Se、⁷⁵As 和 ⁵²Cr 的 R₀/(R_s-R₀) 值随氦气流速波动最大，见图 2。为了兼顾大部分元素，同时考虑到样品溶液中基质干扰更大，选择 3.5 mL/min 为氦气最佳流速。另一方面，在仪器调谐中通过控制氧化物产率 CeO/Ce ≤ 5%，Ce²⁺/Ce ≤ 3% 消除氧化物和双电荷对待测元素的干扰，达到最佳检测条件。

2.2.2 基质干扰 以 ¹¹⁵In 校正 ⁵⁵Mn 的信号漂移后，⁵⁵Mn/¹¹⁵In 信号比值为 0.229~0.295，对应内标波动范围为 93.5%~110.0%，见图 3。

2.3 方法的线性范围和检出限 V、Cr、Co、Ni、As、Se、Cd、Pb、Tl 在 1~50 μg/L，Ba、Cu、Mn、Zn 在 10~500 μg/L，Fe 在 100~5 000 μg/L，Sb、Sn 在 0.1~5 μg/L，Hg 在 0.2~2 μg/L 范围内均具有良好的线性，相关系数均 ≥ 0.999 8。17 种元素的检出限为 0.5~100 μg/kg。见表 2。

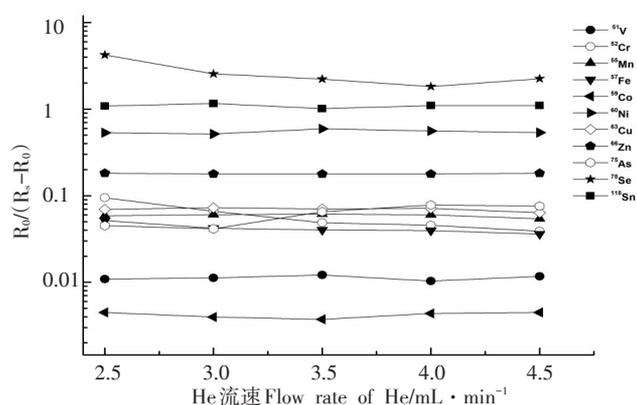


图2 不同氦气流速下空白溶液元素信号与标准溶液元素净信号比值

Figure 2 Ratios of signals of blank solutions to net signals of standard solutions with different helium gas flow rates

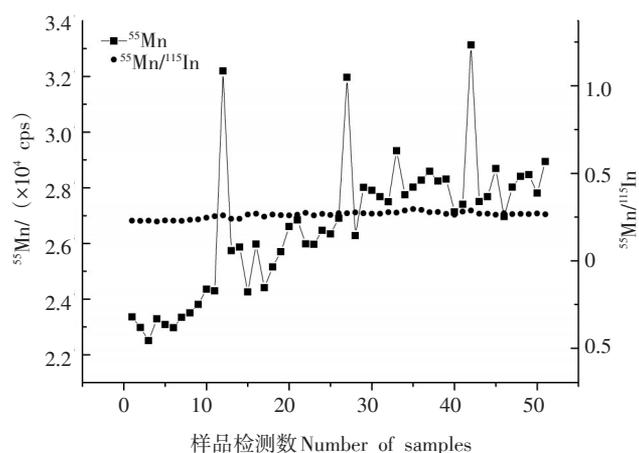


图3 ⁵⁵Mn 信号与 ⁵⁵Mn/¹¹⁵In 信号比值的漂移

Figure 3 Drift of ⁵⁵Mn signal and ⁵⁵Mn/¹¹⁵In ratio

2.4 加标回收率和精密度 胎盘中 17 种元素的加标回收率为 83.3%~110.0%，见表 3。鸡肉标准物质 GBW10018 中 17 种元素测定结果均在证书标准值范围内，7 份质控样品测定的 RSD 为 2.1%~6.5%，见表 4。

3 讨论

本研究建立了测定胎盘组织中 17 种元素的微波消解-ICP-MS，通过优化胎盘样品的前处理方式和质谱条件，实现了胎盘中微量元素和有毒有害元素的同时测定。

研究参考文献 [1] 尝试采用 60 °C 干燥方式进行胎盘组织样品的前处理，并缩短了干燥时间，能防止胎盘组织中易挥发元素的损失。胎盘中元素含量有的研究以干重计 [10]，也有的以湿重计 [11]，但大部分文献并未报道样品干湿比，限制了研究结果

表 2 方法的线性范围、相关系数和检出限

Table 2 Linear range, correlation coefficient and detection limit

元素 Element	线性范围/ Linear range/ (μg/L)	标准曲线方程 Standard curve equation	r 值	检出限 Detection Limit/ (μg/kg)
⁵¹V	1 ~ 50	y=0.015 8x	0.999 9	2
⁵²Cr	1 ~ 50	y=0.018 3x	0.999 9	7
⁵⁵Mn	10 ~ 500	y=0.012 6x	0.999 8	3
⁵⁷Fe	100 ~ 5 000	y=0.334 6x	0.999 9	100
⁵⁹Co	1 ~ 50	y=0.024 2x	0.999 9	2
⁶⁰Ni	1 ~ 50	y=0.006 4x	0.999 9	4
⁶³Cu	10 ~ 500	y=0.016 2x	0.999 9	3
⁶⁶Zn	10 ~ 500	y=0.002 3x	0.999 9	100
⁷⁵As	1 ~ 50	y=0.001 4x	0.999 9	2
⁷⁸Se	1 ~ 50	y=0.000 3x	0.999 8	4
¹¹¹Cd	1 ~ 50	y=0.003 2x	0.999 9	1
¹¹⁸Sn	0.1 ~ 5	y=0.012 3x	0.999 9	3
¹²¹Sb	0.1 ~ 5	y=0.011 4x	0.999 9	2
¹³⁸Ba	10 ~ 500	y=0.037 0x	0.999 9	6
²⁰²Hg	0.2 ~ 2	y=0.004 2x	0.999 9	1
²⁰⁵Tl	1 ~ 50	y=0.036 6x	0.999 8	0.5
²⁰⁸Pb	1 ~ 50	y=0.027 5x	0.999 9	3

表 3 加标回收试验结果

Table 3 Results of spiked recovery test

元素 Element	加标量 Spiked concentration/ (mg/kg)	测定值 Measured concentration/ (mg/kg)	回收率 Recovery rate/%
⁵¹V	0.003	0.003	96.7
	0.006	0.006	102.0
	0.030	0.031	103.0
⁵²Cr	0.060	0.176	91.7
	0.120	0.234	94.2
	0.240	0.352	96.3
⁵⁵Mn	0.230	0.681	93.5
	0.460	0.921	98.9
	0.920	1.350	96.1
⁵⁷Fe	150	452	96.7
	300	610	101.0
	600	892	97.5
⁵⁹Co	0.010	0.031	90.0
	0.020	0.041	95.0
	0.040	0.061	97.5
⁶⁰Ni	0.010	0.031	102.0
	0.020	0.042	105.0
	0.040	0.062	102.0

表 3 (续) Table 3 (continued)

元素 Element	加标量 Spiked concentration/ (mg/kg)	测定值 Measured concentration/ (mg/kg)	回收率 Recovery rate/%
⁶³ Cu	1.50	4.89	98.0
	3.00	6.35	97.7
	6.00	9.63	104.0
⁶⁶ Zn	15.0	48.0	94.0
	30.0	63.1	97.3
	60.0	96.1	104.0
⁷⁵ As	0.008	0.023	107.0
	0.015	0.029	93.3
	0.030	0.044	96.7
⁷⁸ Se	0.50	1.55	98.0
	1.00	2.01	95.0
	2.00	2.89	91.5
¹¹¹ Cd	0.040	0.117	95.0
	0.080	0.157	97.5
	0.160	0.236	98.1
¹¹⁸ Sn	0.006	0.017	83.3
	0.012	0.025	108.0
	0.024	0.035	95.8
¹²¹ Sb	0.006	0.019	100.0
	0.012	0.024	91.7
	0.024	0.038	104.0
¹³⁸ Ba	0.140	0.412	94.3
	0.280	0.554	97.9
	0.560	0.818	96.1
²⁰² Hg	0.006	0.018	83.3
	0.012	0.024	91.7
	0.024	0.036	95.8
²⁰⁵ Tl	0.000 5	0.001 3	100.0
	0.001 0	0.001 9	110.0
	0.002 0	0.002 7	95.0
²⁰⁸ Pb	0.003 0	0.002 9	96.7
	0.006 0	0.006 1	102.0
	0.012 0	0.011 0	91.7

的可比性。本研究在干燥处理胎盘样品的同时分别记录了干燥前后的重量并计算干湿比值,结果与已有文献报道^[12-13]接近,可用于胎盘干湿样品检测结果的转换和比较。

由于胎盘中微量元素和常量元素共存,有机物、蛋白质和盐含量较高,痕量元素的检测容易受到多原子离子、氧化物、双电荷及基质的干扰。ICP-MS 检测中,³⁵Cl¹⁶O⁺、¹H³⁴S¹⁶O⁺干扰⁵¹V 的测定;³⁸Ar¹⁴N⁺、³⁶Cl¹⁶O⁺、³⁶Ar¹⁶O⁺、³⁶S¹⁶O⁺、⁴⁰Ar¹²C⁺、¹H³⁵Cl¹⁶O⁺干扰⁵²Cr 的测定;⁴⁰Ar¹⁵N⁺、¹H³⁷Cl¹⁷O⁺、³⁷Cl¹⁸O⁺干

表 4 GBW10018 中 17 种元素测定结果

Table 4 Detection of 17 elements in GBW10018

元素 Element	标准值 Standardized concentration/ (mg/kg)	测定值 Measured concentration/ (mg/kg)	RSD/%
⁵¹ V	0.06	0.051 ~ 0.072	3.9
⁵² Cr	0.59±0.11	0.532 ~ 0.566	3.0
⁵⁵ Mn	1.65±0.07	1.49 ~ 1.66	2.1
⁵⁷ Fe	31±3	29.5 ~ 31.2	2.7
⁵⁹ Co	(0.010)	0.009 ~ 0.010	3.8
⁶⁰ Ni	0.15±0.03	0.148 ~ 0.155	4.1
⁶³ Cu	1.46±0.12	1.38 ~ 1.48	2.8
⁶⁶ Zn	26±1	25.2 ~ 26.4	4.0
⁷⁵ As	0.109±0.013	0.101 ~ 0.116	5.4
⁷⁸ Se	0.49±0.06	0.497 ~ 0.506	6.2
¹¹¹ Cd	(0.005)	0.004 0 ~ 0.005 1	4.3
¹¹⁸ Sn	—	0.003 0	6.5
¹²¹ Sb	—	0.002 0	6.1
¹³⁸ Ba	1.5±0.4	1.49 ~ 1.52	3.6
²⁰² Hg	0.003 6±0.001 5	0.002 5 ~ 0.002 8	4.9
²⁰⁵ Tl	(0.014)	0.013 ~ 0.014	5.8
²⁰⁸ Pb	0.11±0.02	0.109 ~ 0.118	4.4

注:带括号的数值为参考值;“—”表示无证书值。Note: the values in brackets were reference values; “—” represented no certificate concentrations.

扰⁵⁵Mn 的测定;⁴³Ca¹⁶O⁺干扰⁵⁹Co;⁴⁰Ca¹⁷O⁺、⁴⁰Ar¹⁷O⁺干扰⁵⁷Fe 的测定;⁴⁴Ca¹⁶O⁺干扰⁶⁰Ni 的测定;³¹P¹⁶O₂⁺、⁴⁷Ti¹⁶O⁺干扰⁶³Cu 的测定;⁵⁰Ti¹⁶O⁺、⁵⁰V¹⁶O⁺、³⁴S¹⁶O₂⁺、¹³²Ba²⁺干扰⁶⁶Zn 的测定;⁴⁰Ar³⁵C⁺干扰⁷⁵As 的测定;¹⁰⁰Mo¹⁸O⁺干扰¹¹⁸Sn 的测定。本研究优化了 ICP-MS 的质谱条件,以氦气为碰撞气,并选择最佳流速 3.5 mL/min,通过动能甄别消除了生物基质样品中有机物、蛋白质和盐对待测元素造成的质谱干扰,通过在线内标趋势校正,样品批量检测内标回收率为 83.3%~110.0%,有效抑制了基体效应和仪器信号的漂移对检测结果的影响。

本研究建立的方法符合 GB/T 27404—2008 《实验室质量控制规范 食品理化检测》^[9] 规定的方法验证要求;以鸡肉标准物质 (GBW10018) 辅证方法准确性和适用范围,各元素测定结果均在证书标准值范围内;与现有的检测方法相比,更加高效、准确、灵敏,可用于胎盘中多种元素的高通量检测。

参考文献

- [1] MIKENLSON C K, TROISI J, LALONDE A, et al. Placental concentrations of essential, toxic, and understudied metals and relationships with birth outcomes in Chattanooga, TN [J]. Environ Res, 2019, 168: 118-129.
- [2] WELLS P G, LEE C J, MCCALLUM G P, et al. Receptor-and reactive intermediate-mediated mechanisms of teratogenesis [J]. Handb Exp Pharmacol, 2010, 196: 131-162.
- [3] 边沁. 孕期重金属暴露对胎儿和新生儿生长发育的影响及胎盘屏障作用的研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2018.
BIAN Q. Effects of heavy metal exposure during pregnancy on the growth of fetuses and newborns and the role of placental barrier [D]. Lanzhou: Lanzhou University, 2018.
- [4] SILVER M K, ARAIN A L, SHAO J, et al. Distribution and predictors of 20 toxic and essential metals in the umbilical cord blood of Chinese newborns [J]. Chemosphere, 2018, 210: 1167-1175.
- [5] ESTEBAN-VASALLO M D, ARAGONÉS N, POLLAN M, et al. Mercury, cadmium, and lead levels in human placenta: a systematic review [J]. Environ Health Perspect, 2012, 120 (10): 1369-1377.
- [6] 刘丽筠, 姚强, 赵洪玥, 等. 成都地区足月新生儿胎盘铅镉元素的分布特点 [J]. 重庆医学, 2017, 46 (31): 4336-4341.
LIU L Y, YAO Q, ZHAO H Y, et al. Distribution characteristics of lead and cadmium in placenta of full-term newborns in Chengdu [J]. Chongqing Med, 2017, 46 (31): 4336-4341.
- [7] SABRA S, MALMQVIST E, SABORIT A, et al. Heavy Metals exposure levels and their correlation with different clinical forms of fetal growth restriction [J/OL]. PLoS One, 2017, 12 (10) [2022-03-14]. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0185645>.
- [8] 王晔, 郭和光, 余娟. 水浴浸提-电感耦合等离子体质谱法测定粉丝铝含量 [J]. 预防医学, 2020, 32 (2): 208-210.
WANG Y, GUO H G, YU J. Determination of aluminum in vermicelli by boiling water bath extraction and inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Prev Med, 2020, 32 (2): 208-210.
- [9] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 国家标准化管理委员会. 实验室质量控制规范 食品理化检测: GB/T 27404—2008 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine, Standardization Administration of the People's Republic of China. Criterion on quality control of laboratories—Chemical testing of food: GB/T 27404—2008 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [10] ZHOU C, ZHANG R, CAI X P, et al. Trace elements profiles of maternal blood, umbilical cord blood, and placenta in Beijing, China [J]. J Matern Fetal Neonatal Med, 2019, 32 (11): 1755-1761.
- [11] IWAI-SHIMADA M, KAMEO S, NAKAI K, et al. Exposure profile of mercury, lead, cadmium, arsenic, antimony, copper, selenium and zinc in maternal blood, cord blood and placenta: the Tohoku Study of Child Development in Japan [J/OL]. Environ Health Prev Med, 2019, 24 (1) [2022-03-14]. <https://doi.org/10.1186/s12199-019-0783-y>.
- [12] LAETITIA M, LINDA A, SHANE A N, et al. Assessment of placental metal levels in a South African cohort [J/OL]. Environ Monit Assess, 2019, 191 (8) [2022-03-14]. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7638-2>.
- [13] IYENGAR G V, RAPP A. Human placenta as a “dual” biomarker for monitoring fetal and maternal environment with special reference to potentially toxic trace elements. Part 2: essential minor, trace and other (non-essential) elements in human placenta [J]. Sci Total Environ, 2001, 280 (1/2/3): 207-219.

收稿日期: 2021-12-20 修回日期: 2022-03-14 本文编辑: 徐文璐

• 读者 • 作者 • 编者 •

2022年第4期优秀论文评审结果

《预防医学》2022年第4期刊出论文经编辑部推荐, 专家审议, 评选出优秀论文4篇, 编辑部将向优秀论文作者颁发荣誉证书。

1. 陈银炜, 林聃, 姚强等作者《浙江省梅毒感染孕产妇梅毒治疗的影响因素研究》
2. 尹晓光, 周美婷, 李慧娟等作者《生育间隔与6月龄婴儿神经发育的关联研究》
3. 李海涛, 王岩, 沈谷群等作者《宫颈癌与癌前病变患者的经济负担研究》
4. 雷蓉蓉, 张婷, 吴成果等作者《南川区居民结核潜伏感染调查》

《预防医学》编辑部