

DOI: 10.13432/j.cnki.jgsau.2023.04.027

电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定大米中 20种元素

姚小云¹, 蒋琪¹, 杨滨银², 丁雁平¹

(1. 奎屯市疾病预防控制中心, 新疆 奎屯 833200; 2. 新疆阿克苏地区疾病预防控制中心, 新疆 阿克苏 843000)

摘要:【目的】研究一种高效密闭高压罐消解前处理法, 用ICP-MS同时测定大米中多种元素, 为我国食品安全监管行业提供监测依据。【方法】采用高温高压密闭压力消解罐-电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)快速测定大米中多种元素, 包括钒、铬、钴、镍、锡、锑、镉、硒、砷、钡、钼、铅、锶、硼、铝、锰、铁、铜、铷、锂20种元素的含量。对压力密闭消解酸用量和消解温度进行优化, 采用Rh作为内标元素动态校正样品, 有效监控校正分析信号的漂移。【结果】称取样品0.5 g, 加入6 mL硝酸, 在120 °C下消解4 h, 150 °C消解4 h, 定容至25 mL, 测定20种元素线性范围良好($R>0.999\ 1$), 方法检出限在0.000 2~0.2 $\mu\text{g/L}$, 样本检测相对标准偏差RSD值在1.3%~6.7%。【结论】电感耦合等离子体质谱法可简单、快捷准确地测定及分析大米中多种元素的含量。

关键词: 大米; 电感耦合等离子体质谱法 ICP-MS; 多元素; 消解方法优化

中图分类号: TS207.3

文献标志码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1003-4315(2023)04-0245-07



Determination of 20 kinds of Elements in Rice by ICP-MS

YAO Xiaoyun¹, JIANG Qi¹, YANG Binyin², DING Yanping¹

(1. Kuitun Center for Disease Control and Prevention, Kuitun 833200, China; 2. Aksu Center for Disease Control and Prevention, Aksu 843000, China)

Abstract:【Objective】The study aimed to develop a method of closed high-pressure tank digestion pre-treatment and simultaneously determining multiple elements in rice by ICP-MS, providing a monitoring basis for the food safety supervision industry. 【Method】With the high-temperature and high-pressure closed digestion tank, the method of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) was used to rapidly determine the contents of 20 kinds of elements in rice, which included vanadium, chromium, cobalt, nickel, tin, antimony, cadmium, selenium, arsenic, barium, molybdenum, lead, strontium, boron, aluminum, manganese, iron, copper, rubidium and lithium. The dosage and digestion temperature of pressure-sealed digestion acid were optimized, and Rh was used as the internal standard element dynamic correction sample to effectively monitor the drift of correction analysis signals. 【Result】It was showed that 0.5 g of sample, after adding 6 mL nitric acid, were digested at 120 °C for 4 h, and then 150 °C for 4 h, followed by fixing the volume to 25 mL. The linear range of 20 elements was good ($R>0.999\ 1$), and the detection limit of the method was at 0.000 2~0.2 $\mu\text{g/L}$. The relative standard deviation RSD of samples were 1.3%~6.7%. 【Conclusion】The method of ICP-MS is simple, fast and accurate, which is suitable for the determination of multi-

第一作者: 姚小云, 实验师, 硕士, 研究方向为食品安全与检测。E-mail: 674091164@qq.com

收稿日期: 2023-03-30; 修回日期: 2023-04-28

element contents in rice.

Key words: rice; inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS); multielement; digestion method optimization

大米一直是我国老百姓日常饮食的主要组成部分,其富含多种营养物质和人体所需的营养元素,随着我国经济的高速发展,人们对健康饮食更加重视。近些年,随着工业的高速发展,环境污染越来越严重,土壤、灌溉水、空气的污染使粮食中多种元素含量不同程度的增加,而且很难去除^[1]。尤其是铬、钴、镍、锡、锑、镉、钡、钼、铅、镉、铁、铜、钒等重金属含量的增加,间接导致人类各种疾病的产生,重金属在土壤中存留时间很长,很容易被农作物根系吸收^[2]。农作物通过长期代谢积累,尤其是在农作物可食用部位不断累积,已经直接或间接的进入人和动物体内,经长期积累,会影响人体神经系统、血液循环系统、皮肤、身体器官等部位,甚至导致癌症的发生,从而对人体健康造成严重威胁^[3-4]。研究表明,我国不同地区大米中检出的重金属含量均不相同,可能与工业化的飞速发展、当地气候、工业分布、地域形态等的影响造成水稻种植地的污染有关,由于有害元素很难去除、容易富集、长此以往,导致问题大米越来越多,甚至出现“毒大米”^[5-6]。因此,我国粮食安全问题正面临着重大考验,加强大米中多元素污染的检测和监测,研究更加准确快速检验大米中多元素的方法是食品安全一直关注的重点。

目前,大米及谷物制品前处理的方法有微波消解法、密闭高压罐消解法、回流消解法、湿式消解法^[7]。大米粉元素检测主要采用原子吸收、原子荧光法、电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)^[8-10],前两种方法操作繁琐、效率低,难以满足多元素高效、快捷、准确并同时测定的要求,ICP-MS法操作简单、线性范围宽、准确度高,可同时测定多元素^[11-12]。因

此研究一种高效密闭高压罐消解前处理法,用ICP-MS同时测定大米中20多种元素尤为重要,也为我国食品安全监管行业提供监测依据。

1 材料与方 法

1.1 材料与仪器

试验采用大米样本来自新疆伊犁州、昌吉州、阿克苏地区、喀什地区、塔城地区、阿勒泰6个地区。

Nexlon350x 电感耦合等离子体质谱仪 ICP-MS,美国 PerkinElmer 公司;聚四氟乙烯高压罐消解内罐;GH-ZD 赶酸型智能电热板消解仪,北京国际高科自动化技术研究院;FBC15/1002-UP 超纯水系统,青岛富勒姆科技有限公司;BS224S 万分之一天平,德国赛多利斯股份公司;DF-20 粉碎机,温岭市林大机械有限公司。

20 种 1 000 mg/L 元素标准储备液:钢铁研究总院分析测试研究所,钢研纳克检测技术股份有限公司;内标溶液:(187Re, 103Rh)质量浓度为 1 000 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 国家有色金属及电子材料分析测试中心;硝酸:默克股份两合公司(质量分数为 69%);氩气:纯度大于 99.999%;ICP-M 调谐液 PerkinElmer 公司;生物成分标准物质 GBW10010a(GSB-1a):中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所,实验室所用水质均为超纯水。

1.2 试验方法

1.2.1 标准曲线配制 根据原液浓度,移取所需体积的原液到 100 mL 容量瓶中,再配置成 3 个系列质量浓度的混合标液,用 1% 的硝酸溶液定容,各元素质量浓度选择见表 1。

表 1 多元素标准溶液系列质量浓度

Table 1 Mass concentration of multielement standard solution series

序号 Serial number	元素 Element	单位 Unit	标准系列质量浓度 Standard series mass concentration								
			S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
1	V、Cr、Co、Ni、Sn、Sb	μg/L	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.80		
2	Cd、Se、As、Ba	μg/L	0	0.50	0.70	1.00	3.00	5.00	7.00		
3	Mo、Pb、Sr、B	μg/L	0	0.50	1.00	3.00	5.00	7.00	10.00	15.0	20.0
4	Al、Mn、Fe、Cu、Rb、Li	μg/L	0	3.00	5.00	10.00	30.00	50.00	70.00	100.0	150.0

1.2.2 待测元素分子量的选择 按照干扰小、丰度大、灵敏度高的原则,选择各元素的同位素为:⁵¹V、⁵³Cr、⁵⁹Co、⁶⁰Ni、¹¹⁸Sn、¹²¹Sb、¹¹¹Cd、⁷⁸Se、⁷⁵As、¹³⁷Ba、⁹⁵Mo、²⁰⁸Pb、⁸⁸Sr、¹¹B、²⁷Al、⁵⁵Mn、⁵⁶Fe、⁶³Cu、⁸⁵Rb、⁷Li。

1.2.3 电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)工作

条件 使用1 μg/L ICP-MS 调谐液(PerkinElmer 公司),含Be、Ce、Fe、In、Li、Mg、Pb、U,对质量轴进行校正,优化仪器各项指标,使雾化室、氧化物比值、矩管位置、灵敏度等指标达到最佳状态后进行实验检测,优化后仪器参数条件见表2。

表2 电感耦合等离子质谱仪参数条件

Table 2 Parameter conditions of inductively coupled plasma mass spectrometer

参数名字 Parameter name	参考值 Reference value	参数名称 Parameter name	参考值 Reference value
射频功率	1 550 W	雾化室	高盐/同心雾化器
等离子体气流量	15 L/min	采样锥/截取锥	镍/铂金
载气流量	0.80 L/min	采样深度	8~10 mm
辅助气流量	0.3 L/min	采样模式	调峰
氦气流量	4~5 L/min	检测方式	自动
雾化室温度	2 ℃	每峰测定点数	3
样品提升速度	0.3 r/s	重复次数	3

1.2.4 消解条件的优化

1.2.4.1 消解酸体积的优化 本试验采用密闭高压消解罐消解法对样本进行前处理,在密闭的聚四氟乙烯罐内高温高压环境中进行。将来自新疆6个地区的大米样本用粉碎机破碎均质后备用。以生物成分标准物质GBW10010a(GSB-la)为试验检测对象,称取0.5 g样本(精确至0.001 g)于聚四氟乙烯罐内,分别加入2、4、6 mL的HNO₃,放入恒温干燥箱,于150 ℃下消解8 h,待冷却后,将消解液定容至25 mL,同法制备空白试验^[13-14]。

1.2.4.2 消解温度的优化 为选出最佳的消解温度,本试验通过3个不同程序的消解体系,来消解GSB-la的大米粉标物^[15-16]。准确称取GSB-la样品约0.5 g(精确至0.001 g),加入最佳的消解酸体积,6 mL硝酸消解,旋紧压力消解罐,消解温度梯度1:程序升温至120 ℃消解保持8 h。消解温度梯度2:程序升温至120 ℃保持4 h,再一步程序升温至150 ℃保持4 h。消解温度梯度3:程序升温至120 ℃保持4 h,再一步程序升温至170 ℃保持4 h,以上3种程序消解液均呈无色透明状或微黄色,转入25 mL去离子水,备用。

2 结果与分析

2.1 消解条件的优化

2.1.1 消解酸体积的优化 分别加入2、4、6 mL的HNO₃对消解情况进行验证,重复测定3次($n=3$),取均值。结果见图1,选用6 mL硝酸,大米质控样中20种被测元素均能达到标准值;加入2、4 mL硝酸时被测元素不能完全符合质控结果,可能是样品与硝酸接触面积不够,导致元素的损失,未达到理想的消解效果^[17]。

2.1.2 消解温度的优化 3个不同程序的消解温度,加入6 mL硝酸消解,重复测定3次($n=3$),取均

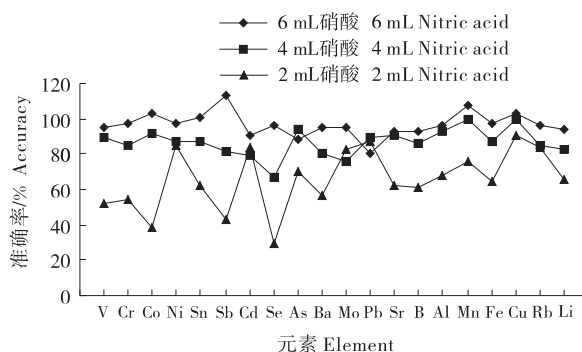


图1 消解酸体积的优化

Figure 1 Optimization of volume of digestion acid

值。结果见图2,选用温度梯度2时,大米质控样中20种被测元素均能达到标准值;温度梯度1和3部分元素有偏离标准值的情况,表明温度过低对粮食有机物、溶解性悬浮颗粒消解不彻底,部分元素不容易析出,温度过高,有可能导致大米样本部分元素损失,消解总体效果较差。

2.2 20种元素线性方程、线性范围、相关系数及方法检出限

ICP-MS日常检测范围较宽,不同元素反映的信号强度强弱区别很大,线性范围均有不同,根据所测样本中元素范围确定各元素的标准系列浓度,按照1.2.1的浓度要求配制出多元素标准溶液系列质量浓度,在最佳消解条件下(6 mL 硝酸,120℃下消解4 h,150℃消解4 h),20种元素线性良好,标准曲线、相关系数及方法检出限见表3,方法检出限测定,

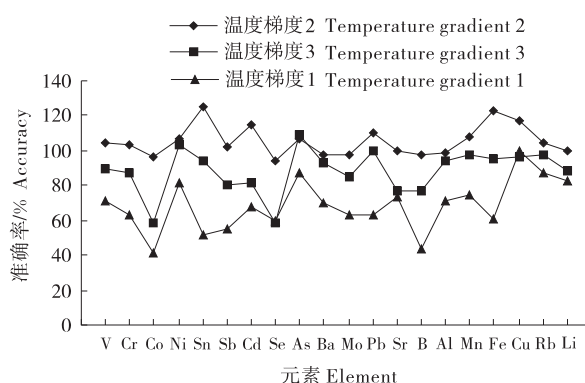


图2 消解温度的优化

Figure 2 Optimization of digestion temperature

重复测定空白试验7次($\mu\text{g/L}$, $n=7$),计算出7次平均测定的标准偏差,按 $MDL=t_{(n-1,0.99)} \times S$ (MDL:方法检出限; S :7次平均测定值的标准偏差; n 为重复样品数; $t_{(n-1,0.99)}$:置信度为99%时,自由度($n-1$)的 t 值, $n=7$ 时, $t=3$),计算方法检出限^[18-19]。

表3 20种元素线性方程、线性范围、相关系数及方法检出限

Table 3 Linear equation, linear range, correlation coefficient and detection limit of 20 elements $n=7$

元素 Element	线性方程/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$ Linear equation	线性范围/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$ Linear range	相关系数 R Correlation coefficient	方法检出限/ $(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$ Method detection limit
V	$y=27\ 407x-171$	0~0.80	0.999 3	0.013 7
Cr	$y=24\ 042x-147$	0~0.80	0.999 3	0.072 5
Co	$y=214\ 233x+319$	0~0.80	0.999 6	0.000 4
Ni	$y=48\ 156x-68$	0~0.80	0.999 6	0.010 1
Sn	$y=19\ 721x+57$	0~0.80	0.999 6	0.080 6
Sb	$y=151\ 460x-74$	0~0.80	0.999 8	0.000 2
Cd	$y=4\ 392x-453$	0~7.00	0.999 9	0.005 0
Se	$y=379x-54$	0~7.00	0.999 6	0.022 3
As	$y=3\ 368x-573$	0~7.00	0.999 9	0.007 8
Ba	$y=69\ 174x-2\ 001$	0~7.00	0.999 7	0.156 7
Mo	$y=6\ 171x-649$	0~20.00	0.999 9	0.006 4
Pb	$y=33\ 678x-3\ 120$	0~20.00	0.998 8	0.012 7
Sr	$y=37\ 020x+1\ 491$	0~20.00	0.999 9	0.016 4
B	$y=4\ 977x-270$	0~20.00	0.999 9	0.000 4
Al	$y=30\ 407x+43\ 710$	0~150.0	0.999 7	0.090 2
Mn	$y=27\ 062x+7\ 265$	0~150.0	0.999 8	0.246 7
Fe	$y=494x-1\ 597$	0~150.0	0.999 5	0.241 8
Cu	$y=10\ 406x-1\ 108$	0~150.0	0.999 9	0.021 2
Rb	$y=26\ 956x+16\ 254$	0~150.0	0.999 1	0.001 1
Li	$y=32\ 753x-27\ 159$	0~150.0	0.999 6	0.000 7

2.3 标准物质中20种元素的含量和结果精密度

准确度试验:称取0.5 g GSB-la大米粉标物,选取最佳消解条件,检测出20种重金属的含量,平行试验5次($n=5$)。测定结果均在定值范围内,表明方法准确度良好,标准值和测定值见表4。

精密度试验:称取0.5 g GSB-la大米粉标物,在新建立的检测方法下,测定GSB-la大米粉标物中20种元素的含量,平行试验5次($n=5$)。测定结果计算相对标准偏差(RSD),结果在1.3%~6.7%,方法精密度良好,满足检测需求。精密度试验结果见表4。

表4 检测标准物质中20种元素的含量和结果精密度

Table 4 The content and precision of 20 elements in the standard materials were determined ($n=5$)

元素 Element	标准值/(mg·kg ⁻¹) Standard value	测定值/(mg·kg ⁻¹) Measured value	GSB-la/(mg·kg ⁻¹)					RSD/%
			1	2	3	4	5	
V	0.02	0.02±0.003	0.018 9	0.0190	0.0185	0.0192	0.189	1.3
Cr	0.08	0.08±0.001	0.082 0	0.0794	0.0812	0.0799	0.0805	1.3
Co	0.006±0.002	0.005±0.001	0.005 1	0.0048	0.0053	0.0052	0.0049	4.1
Ni	0.21±0.02	0.19±0.01	0.183	0.195	0.201	0.189	0.196	3.6
Sn	0.08±0.03	0.09±0.02	0.092	0.089	0.091	0.088	0.090	1.8
Sb	0.009±0.003	0.008±0.004	0.007 8	0.007 2	0.008 2	0.007 7	0.007 4	5.0
Cd	0.0053±0.0004	0.0053±0.0003	0.005 2	0.0054	0.005 3	0.005 6	0.004 9	4.9
Se	0.036±0.008	0.035±0.002	0.032 2	0.0372	0.034 0	0.036 0	0.033 4	6.4
As	0.08±0.01	0.08±0.02	0.078	0.076	0.085	0.081	0.080	4.2
Ba	0.15±0.03	0.16±0.01	0.164	0.152	0.156	0.158	0.160	2.8
Mo	0.42±0.04	0.41±0.02	0.385	0.402	0.431	0.422	0.406	4.4
Pb	0.10±0.02	0.11±0.01	0.115	0.106	0.108	0.112	0.098	6.0
Sr	0.15±0.03	0.15±0.01	0.154	0.165	0.145	0.152	0.155	4.7
B	0.7±0.2	0.6±0.1	0.68	0.65	0.59	0.59	0.62	6.2
Al	15±1	15±1	15.5	14.9	14.2	14.3	15.2	3.8
Mn	11.1±0.7	10.9±0.4	11.5	11.0	10.6	10.5	10.9	3.6
Fe	4.0±0.8	4.2±0.3	4.6	4.3	4.0	3.9	4.2	6.5
Cu	3.0±0.2	3.0±0.1	2.95	3.05	3.01	2.85	2.98	2.5
Rb	1.8±0.2	1.9±0.1	1.89	1.87	1.88	1.95	1.99	2.7
Li	0.016±0.004	0.018±0.001	0.018 5	0.018 9	0.015 9	0.018 5	0.018 2	6.7

2.4 大米样本测试结果

收集新疆6个地区6份大米样本,对每份样本中20种元素进行检测,采用优化后的最佳消解条件,以及1.2.3电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)工作条件,平行测定3次($n=3$),取均值。结果见表5,《食品安全国家标准食品污染物限量》(GB 2762-2017)^[20]规定了各种元素的限值,结果显示6份大米样本中20种元素含量均低于国家限值,可放心食用。

地区、塔城地区、阿勒泰6个地区6份大米样品中20种元素,对比《食品安全国家标准食品污染物限量》,尤其是重金属元素铬、钴、镍、锡、锑、镉、钡、钼、铅、镉、铁、铜、钒含量全部合格,极个别含量略高,但均在范围内,有待后期进一步监测。

本试验建立了一种简单、快捷、准确的测定大米中多种元素的方法,该方法采用密闭高压消解罐消解法对样本进行前处理,在密闭的聚四氟乙烯罐内高温高压环境中解消,加入6 mL硝酸,在120℃下消解4 h,150℃消解4 h,采用ICP-MS同时测定大米样本中20种元素,生物成分标准物质GBW10010a(GSB-la)20种元素测定值均在质控说明书给定的

3 结论

产地为新疆伊犁州、昌吉州、阿克苏地区、喀什

表5 6份大米样品检测结果

Table 5 Results of 6 rice samples

n=3

元素 Element	伊犁州 Yili State	昌吉州 Changji State	阿克苏 Akesu	喀什 Kashi	塔城 Tacheng	阿勒泰 Aletai
V	0.001 1	0.001 4	0.002 8	0.000 8	0.000 1	0.001 3
Cr	0.007 1	0.001 7	0.017 5	0.002 6	0.003 2	0.006 6
Co	0.000 3	0.000 3	0.000 6	0.000 2	0.000 3	0.000 4
Ni	0.009 0	0.005 7	0.016 1	0.004 0	0.007 3	0.009 7
Sn	0.003 9	—	0.000 6	0.004 2	—	0.002 1
Sb	0.000 04	0.000 02	0.000 03	0.000 02	0.000 01	0.000 02
Cd	0.002 0	0.003 1	0.002 2	0.002 6	0.002 5	0.002 1
Se	0.036 0	0.044 5	0.0277	0.027 6	0.025 9	0.043 1
As	0.083	0.098	0.084	0.069	0.068	0.081
Ba	0.032	0.020	0.146	0.052	0.045	0.048
Mo	0.264	0.370	0.335	0.240	0.228	0.229
Pb	0.031 2	0.003 3	0.034 5	0.026 0	0.013 5	0.060 1
Sr	0.403	0.387	0.559	0.256	0.161	0.453
B	0.745	0.969	0.858	0.463	0.505	0.542
Al	1.136	1.397	1.630	1.108	0.476	1.213
Mn	6.856	6.949	15.573	4.604	5.293	5.088
Fe	3.115	2.354	8.872	2.305	2.008	2.793
Cu	2.024	2.380	1.663	1.435	1.560	1.771
Rb	1.176	1.099	1.064	1.640	1.832	0.266
Li	0.120	0.132	0.127	0.049	0.027	0.124

“—”为未检出。“—” is not detected.

量值范围,精密度良好,该方法前处理简单,适合大批量大米中多元素准确分析及含量测定。本研究为新疆大米及谷物产品的安全评价及监管体系的建立提供了科学依据,对市售大米的质量控制具有重要意义。

参考文献

- [1] 何勇,李柏桥,向薇薇,等. 耕地重金属污染状况及安全利用措施[J]. 四川农业科技, 2018(12):45-47.
- [2] 李谦,吴明,张学玲,等. 宁夏引黄灌区地产大米中重金属含量监测及安全评价[J]. 粮食与油脂, 2022(11):158-162.
- [3] Yang D Q, Liu S X, Xia S P, et al. Effects of cadmium stress on the growth of rice seedlings[J]. Agricultural Science & Technology, 2019, 20(3):11-6.
- [4] 蒋沙沙,霍永红,李德海,等. 大米中主要重金属污染分析及风险评估研究现状[J]. 食品工业科技, 2023, (2):417-426.
- [5] Nag R, Orourke S M, Cummins E. Risk factors and assessment strategies for the evaluation of human or environmental risk from metal(loid)s—a focus on Ireland[J]. Sci Total Environ, 2021, 24(8):149839.
- [6] 王利红,尹西翔,李赛钰,等. 重金属污染与水稻食品安全探讨[J]. 现代农业科技, 2010(22):291-292.
- [7] 田叶新,姜波,马金念,等. 原子吸收法研究大米重金属污染[J]. 广州化工, 2019(18):99-100.
- [8] 胡秀智. 石墨炉原子吸收光谱法检测大米中铅和镉含量的研究[J]. 粮食问题研究, 2022(1):38-40.
- [9] 吴金涛. 石墨炉原子吸收光谱法测定食品中铅、镉和铬的方法确认[J]. 山西农经, 2020(11):155-156.
- [10] 李优琴,吕康,倪晓璐,等. 电感耦合等离子体(ICP-MS)法测定谷类产品中8种重金属元素[J]. 中国无机分析化学, 2022(12):20-25.
- [11] Jiang H, Li J, Tan Z, Guo Y, Liu Y, Hu L, Yin Y, Cai Y, Jiang G. Application of nonstationary phase separation hyphenated with inductively coupled plasma mass spectrometry in the analysis of trace metal containing nanoparticles in the environment [J]. Abstracts of papers American Chemical Society, 2021, 39(8):855-869.

- [12] Wei Wang, R. Douglas Evans, Karla Newman, et al. Automated separation preconcentration and measurement of in liquid samples with complex matrices by online ion exchange chromatography coupled with inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS)[J]. *Talanta*, 2021, 222.
- [13] 许萍, 柴爽爽, 陈铭学, 等. 电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS/MS)混合模式同时测定土壤中7种重金属元素[J]. *中国无机分析化学*, 2023, 1(2): 20-28.
- [14] 刘瑶, 刘瑾, 孙玲玲, 等. ICP-MS测定海洋沉积物重金属微波消解条件的正交试验优化[J]. *海洋科学*, 2021, 45(4): 106-113.
- [15] Nur Azalina Suzianti Feisal, Zailina Hashim, Juliana Jalaludin. The determination of heavy metals concentration in hair by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) [J]. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 2021, 9(1): 1-4.
- [16] 孟茹, 杜金花, 刘云华, 等. ICP-MS测定土壤重金属元素消解方式的探究[J]. *光谱学与光谱分析*, 2021, 41(7): 2122-2128.
- [17] 欧爱芬, 张挺, 梁兰兰, 等. 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)测定畜禽肉中9种重金属元素含量[J]. *食品工业科技*, 2021(7): 282-288.
- [18] Jin Hee Kim, Su Jin Lee, Su Young Kim, et al. Association of food consumption during pregnancy with mercury and lead levels in cord blood[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, 82(4): 118-124.
- [19] 郭捷, 张林, 刘国红. 电感耦合等离子体质谱法测定血液透析用水中15种金属元素[J]. *分析仪器*, 2014, (4): 56-59.
- [20] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 2761-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.

(责任编辑 赵晓倩)

(上接第244页)

- [31] Bazzano L A, Jiang H, Ogden L G, et al. Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease in US adults: the first National Health and Nutrition Examination Survey Epidemiologic Follow-up Study [J]. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2023(1): 93-99.
- [32] Yameng H, Jianwei C, Ming wei Z, et al. Characterization of saponins and phenolic compounds: Antioxidant activity and inhibitory effects on α -glucosidase in different varieties of colored quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) [J]. *Biosci Biotechnol Bioch*, 2019, 83(11): 2128-2139.
- [33] 赵萌萌, 杨希娟, 党斌, 等. 不同粒色藜麦营养品质及多酚组成与抗氧化活性比较分析[J]. *食品与机械*, 2020, 36(8): 7.

(责任编辑 苟琦敏)