

电感耦合等离子体质谱法测定食品中硒元素的条件优化

赵晨曦, 高 佳, 付志斌, 常凤启*

(河北省疾病预防控制中心, 石家庄 050021)

摘要: **目的** 优化电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometer, ICP-MS)测定食品中硒元素含量的条件, 并对河北省食品中硒元素含量情况进行调查分析。**方法** 选取 8 种不同基质的国家标准物质作为检测样品对实验条件进行优化, 同时选择 ^{80}Se 作为检测目标, 采用碰撞模式并加入内标和 5% 异丙醇的优化条件下对样品中硒元素含量进行检测。通过对比结果, 分析河北省膳食样品中硒元素含量, 对居民通过膳食补充硒元素给予指导。**结果** 通过采用碰撞模式及内标添加法可以有效降低基质干扰, 同时加入异丙醇可极大提高硒元素的信号强度; 其在 5.00~100.00 $\mu\text{g/L}$ 范围内呈现良好的线性关系($r^2=0.999$), 检出限为 0.002 mg/kg; 坚果及籽类、豆类及豆制品和肉及肉制品含硒较高, 坚果及籽类样品中鲍鱼果含量最高为 1.472 mg/kg, 豆类及豆制品中黄豆含量最高为 0.123 mg/kg, 肉及肉制品中鸭肉含量最高为 0.169 mg/kg。**结论** 在检测的 6 类食品中, 坚果及籽类、豆类及豆制品和肉及肉制品中硒含量相对较高, 缺硒人群可适量增加食用。

关键词: 硒; 电感耦合等离子体质谱法; 优化

Optimization of determination conditions of selenium in food by inductively coupled plasma mass spectrometry

ZHAO Chen-Xi, GAO Jia, FU Zhi-Bin, CHANG Feng-Qi*

(Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shijiazhuang 050021, China)

ABSTRACT: Objective To optimize the conditions for the determination of selenium in foods by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), and to investigate and analyze the selenium content in foods in Hebei Province. **Methods** Eight national reference materials with different matrices were selected as the test samples, and the experimental conditions were optimized. At the same time, ^{80}Se was selected as the test target. The selenium content in the samples was determined under the optimized conditions of collision mode, internal standard and 5% isopropanol. By comparing the results, the content of selenium in dietary samples of Hebei province was analyzed to provide guidance for residents to supplement selenium through diet. **Results** The matrix interference could be effectively reduced by using collision mode and internal standard addition method, and the signal intensity of selenium could be greatly improved by adding isopropanol; the linear range was 5.00-100.00 $\mu\text{g/L}$ ($r^2 = 0.999$), and

基金项目: 河北省卫健委跟踪项目(GL2018085)

Fund: Supported by Track Project of Health Commission of Hebei Provincial(GL2018085)

*通信作者: 常凤启, 主任技师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: hbweisheng2@163.com

*Corresponding author: CHANG Feng-Qi, Chief Technician, Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shijiazhuang 050021, China. E-mail: hbweisheng2@163.com

the limit of detection was 0.002 mg/kg. The highest content of selenium in nuts and seeds was 1.472 mg/kg, the highest content of soybean was 0.123 mg/kg, and the highest content of duck meat was 0.169 mg/kg. **Conclusion** Among the 6 kinds of food tested, the selenium content in nuts and seeds, beans and bean products, meat and meat products is relatively high, and the selenium deficient people can increase their consumption appropriately.

KEY WORDS: selenium; inductively coupled plasma mass spectrometry; optimization

0 引 言

从 1817 年至今, 人们对硒的研究从有毒元素到人体必需微量元素逐步发展^[1-3]。随着人们对营养的重视, 硒元素在抗癌、预防心血管疾病、增强生殖功能、抗氧化、减缓损伤以及提高身体免疫力等方面^[4]的作用得到越来越多的认可。基于硒元素在生物体内的重要功能, 世界卫生组织已确认其为生物体内必需的微量营养元素之一^[5]。研究表明体内缺乏硒元素会导致 40 多种疾病, 如克山病、大骨节病等^[6], 而硒元素摄入过量也会导致硒中毒^[7-8]。且硒元素的毒性与营养阈值范围很窄, 我国的推荐硒摄入范围为 50~250 $\mu\text{g}/\text{d}$, 硒的中毒量界限(指甲变形)为 800 $\mu\text{g}/\text{d}$ ^[9]。因此准确检测样品中硒元素含量就显得十分重要。

目前检测硒的方法多种多样, 如氢化物原子荧光光谱法^[10]、荧光分光光度法^[11]、电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometer, ICP-MS)^[12]、紫外可见分光光度法^[13]、电感耦合等离子体发射光谱法^[14]等。其中氢化物原子荧光光谱法和电感耦合等离子体质谱法应用较为广泛, 而且氢化物原子荧光光谱法的检出限比电感耦合等离子体质谱法的检出限高, 适用于高浓度样品检测。对于低浓度样品检测, 电感耦合等离子体质谱法更加适合, 并且电感耦合等离子体质谱仪具有同时检测多元素, 线性范围宽的优点, 在样品检测工作中应用较为广泛。

硒元素通常呈现多价态且在低温下易于挥发, 常见硒元素的同位素有 ⁷⁴Se、⁷⁶Se、⁷⁷Se、⁷⁸Se、⁸⁰Se 以及 ⁸²Se, 并且具有较高的电离能, 在氩气中较难电离, 导致电离程度低, 并且存在严重的 Kr、Ar 多原子离子的干扰。鉴于此, 本研究采用 ICP-MS 检测样品中的硒元素, 并利用稀释样品法降低基质中存在的多离子干扰问题, 同时结合碰撞模式或者反应池模式使硒元素更易电离从而有效地降低基质干扰。并且为了提高硒的信号强度, 在反应体系中加入乙醇、异丙醇等基体改进剂以增强硒的信号强度, 以进一步提高硒元素的检测准确性。本文同时对 8 种不同基质(包括粮食、蔬菜、肉类、海产品等)的国家标准物质进行条件摸索和检测, 以确保所选检测条件对于不同基质均可达到理想的检测效果, 以期为食品中硒元素的准确测定提供参考。同时本研究通过对比结果, 分析河北省膳食样品中硒元素含量, 以期为河北省居民通过膳食补充硒元素给予更加科学的指导。

1 材料与方 法

1.1 仪器与试剂

iCAP Q 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo 公司); MARS5 微波消解仪(美国 CEM 公司); GM20 高效搅碎混匀机(德国 Retsch 公司); DTD-20 赶酸仪(北京众力通科技有限公司); BAS2223S 千分之一天平(德国 Sartorius 公司)。

硝酸(65%, 分析纯, 德国默克公司); 异丙醇(色谱纯, 北京迪马科技公司); 硒元素标液(CL3-191MKBY1, 美国 PE 公司); 玉米标准物质(GBW10012)、河南小麦标准物质(GBW10046)、茶叶标准物质(GBW10016)、柑橘叶标准物质(GBW10020)、圆白菜标准物质(GBW10014)、鸡肉标准物质(GBW10018)、扇贝标准物质(GBW10024)、猪肝(GBW10051)(国家标准物质中心); 高纯水(屈臣氏)。

1.2 样品采集与分类

本实验所检测的食品样品采买于石家庄、保定、邢台、邯郸 4 个地市及周边县区的农贸市场、超市或农户, 其中包括粮食制品、肉蛋、水果、蔬菜、坚果及籽类、豆类及豆制品和肉及肉制品等, 采购样品 369 份。

1.3 前处理方法

1.3.1 标准物质前处理

取玉米、猪肝等标准物质 0.3~0.5 g 于干燥微波消解管内, 加入 7 mL 硝酸, 静置过夜, 次日, 进行微波消解, 消解完全后, 取出, 放入赶酸仪中, 于 120 $^{\circ}\text{C}$ 条件下赶酸至体积小于 1 mL, 放置于室温, 用蒸馏水定容至 10 mL, 用 ICP-MS 检测。

1.3.2 样品前处理

取样品可食用部分, 样品量需大于 500 g, 用高效搅碎混匀机进行混匀, 取混匀样品约 0.3 g 于干燥微波消解管内, 加入 7 mL 硝酸, 静置过夜, 进行预消化。次日, 进行微波消解, 消解程序见表 1, 消解完全后取出, 放入赶酸仪中, 在 120 $^{\circ}\text{C}$ 条件下赶酸至体积小于 1 mL, 置于室温, 用蒸馏水定容至 10 mL, 备用, 待测。

表 1 微波消解程序

Table 1 Microwave digestion procedure

功率/W	上升时间/min	保持温度/ $^{\circ}\text{C}$	保持时间/min
1600	10	100	20
1600	10	150	20
1600	10	180	40

1.4 仪器条件

ICP-MS 开机后, 机器运转正常, 点火预热 10 min, 用调谐液进行调谐, 使得仪器灵敏度、氧化物、分辨率、双电荷等指标符合仪器检测要求, 样品检测仪器条件如表 2 所示。

1.5 质量保证与质量控制

实验整体过程中均采用塑料器皿, 以防止玻璃用具对实验背景干扰, 并用高速搅碎混匀仪将样品混匀处理, 保证样品的均一性, 每份样品搅碎混匀后都用蒸馏水洗涤干净并烘干, 防止样品交叉污染。实验中同时进行空白样品、平行样品、加标样品及质控样品的检测, 为降低基质对质谱分析的影响, 本实验通过对加入内标改进剂、选择碰撞模式检测, 加入 5% 异丙醇溶液等检测条件的选择, 测定不同基质样品, 使检测结果更准确。

1.6 数据处理与分析

测定结果建立 Excel 数据库, 采用 SPSS 统计软件进行数据处理。

2 结果与分析

2.1 检测条件的选择

硒元素为低价态易挥发元素, 检测中常见的同位素有 ^{76}Se 、 ^{77}Se 、 ^{78}Se 、 ^{80}Se 以及 ^{82}Se , 其中丰度最大的为 ^{80}Se , 但其会受 Ar 的二聚物 Ar_2 在 $m/z=80$ 处的干扰, 而 ^{77}Se 、 ^{78}Se 会受多原子离子 $^{40}\text{Ar}^{37}\text{Cl}$ 以及 Ar_2 的干扰^[15]。标准模式下 ^{78}Se 、 ^{80}Se 、 ^{82}Se 分别通过校正方程 $^{78}\text{Se}=-0.0304348\times^{83}\text{Kr}$ 、 $^{80}\text{Se}=-0.195652\times^{83}\text{Kr}$ 、 $^{82}\text{Se}=-1.0087\times^{83}\text{Kr}$ 进行校正, 碰撞模式则选择氦气作为碰撞气, 如表 3 所示, 在使用内标及不添加异丙醇的前提下, 重复测定 6 次, 标准模式的检测结果大部分不及碰撞模式的结果准确。碰撞模式可降低干扰, 并且选择同位素 ^{80}Se 或 ^{82}Se 作为目标元素检测样品的适宜范围更广。不同的样品基质, 检测条件也不尽相同。对于扇贝样品在标准模式下选择不同的质量数 ^{77}Se 、 ^{78}Se 、 ^{82}Se , 检测结果均在标准值范围内; 选择碰撞模式, 不同的质量数 ^{78}Se 、 ^{80}Se 、 ^{82}Se 均有较好的检测结果准确性; 而相对于玉米样品在标准模式下选择质量数 ^{78}Se 、碰撞模式下选择质量数 ^{77}Se 、 ^{82}Se 可以得到准确的检测结果。

表 2 ICP-MS 仪器条件
Table 2 ICP-MS instrument conditions

采样深度/mm	泵速/(r/s)	雾化气流速/(L/min)	辅助气流速/(L/min)	冷却气流速/(L/min)	功率/W
5	40	0.985	0.8	14	1550

表 3 检测模式的选择(mg/kg)
Table 3 Selection of detection mode(mg/kg)

标准物质(含量范围)	标准模式				碰撞模式			
	^{77}Se	^{78}Se	^{80}Se	^{82}Se	^{77}Se	^{78}Se	^{80}Se	^{82}Se
玉米(0.013~0.029)	0.009±0.006	0.018±0.007	-0.062±0.015	0.002±0.004	0.021±0.007	0.002±0.002	0.008±0.006	0.020±0.007
河南小麦(0.05~0.07)	0.026±0.012	0.030±0.010	-1.112±0.218	0.036±0.010	0.039±0.009	0.025±0.007	0.061±0.008	0.059±0.009
茶叶(0.09~0.106)	0.116±0.008	0.144±0.026	-14.173±1.407	0.076±0.010	0.098±0.007	0.119±0.011	0.100±0.006	0.114±0.012
柑橘叶(0.14~0.20)	0.340±0.078	0.627±0.015	-25.997±1.879	0.090±0.009	0.157±0.015	0.162±0.018	0.162±0.013	0.173±0.008
圆白菜(0.17~0.23)	0.301±0.065	0.646±0.156	-1.119±0.059	0.196±0.019	0.139±0.010	0.156±0.012	0.181±0.010	0.206±0.013
鸡肉(0.43~0.55)	0.289±0.011	1.181±0.599	-37.322±2.031	0.535±0.008	0.487±0.010	0.521±0.028	0.498±0.021	0.496±0.029
扇贝(1.2~1.8)	1.312±0.052	1.709±0.073	-1.017±0.195	1.300±0.063	1.957±0.117	1.562±0.012	1.550±0.015	1.664±0.118
猪肝(1.25~1.83)	1.688±0.106	2.405±0.345	0.171±0.014	1.651±0.132	1.454±0.126	1.451±0.096	1.515±0.141	1.608±0.137
适宜检测的样品合计	2	2	0	4	5	4	7	7

本次实验选择的国家标准物质种类宽泛,有植物、水生动物、动物内脏等,基质相对复杂,因此本实验在碰撞模式的检测方法下,选择 Ge 作为内标以减少基质的干扰,重复测定 6 次,效果显著,结果如表 4 所示。

由于硒元素为低温多价态元素,在实验过程中检测的强度值相对低,因此对于浓度较低的样品检测效果不太理想,如表 4 所示,选择 ^{80}Se 作为检测目标,采用碰撞模式并加入内标,仅玉米样品的检出准确度不理想。在以上检测条件的基础上样品中加入 5% 异丙醇后,玉米检测结果如表 5 所示,准确度明显提高,说明异丙醇对于低浓度样品可以起到一定的增强硒信号强度的作用。

因此本研究选择 ^{80}Se 作为检测目标,采用碰撞模式并加入内标和 5% 异丙醇用来分别减少基质干扰和增强硒信号强度。

2.2 标准曲线的线性范围、相关系数及方法的检出限和定量限

准确吸取 1 mg/L 的标准储备液,用 2% 的硝酸溶液逐级稀释成浓度为 0.00、5.00、10.00、20.00、50.00、100.00 $\mu\text{g/L}$ 的标准使用液。在上述优化实验条件下,曲线呈现良好的线性关系,线性方程为 $Y=205.263X+1788.176$,相关系数 $r^2=0.999$ 。通过平行测定空白样品 11 次,取 3 倍标准偏差计算检出限为 0.002 mg/kg,方法灵敏度高。

2.3 回收率和精密度

分别对不同标准物质进行加标回收实验,其加标回收率在 90.41%~108.14% 之间,相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)<9%,说明方法准确可靠,精密度高。结果如表 6 所示。

表 4 内标对标准物质检测的影响(mg/kg)
Table 4 Effect of internal standard on the detection of standard material(mg/kg)

标准物质(含量范围)	不使用内标				使用内标			
	^{77}Se	^{78}Se	^{80}Se	^{82}Se	^{77}Se	^{78}Se	^{80}Se	^{82}Se
玉米 (0.013~0.029)	0.020±0.008	0.019±0.008	0.008±0.005	0.106±0.013	0.019±0.007	0.008±0.005	0.008±0.004	0.020±0.007
河南小麦 (0.05~0.07)	0.026±0.016	0.030±0.009	0.030±0.010	0.059±0.008	0.040±0.010	0.030±0.009	0.060±0.010	0.056±0.004
茶叶(0.09~0.106)	0.238±0.088	0.080±0.010	0.068±0.009	0.155±0.017	0.098±0.007	0.103±0.005	0.099±0.007	0.116±0.009
柑橘叶(0.14~0.20)	0.417±0.089	0.173±0.014	0.175±0.011	0.233±0.085	0.15±0.015	0.166±0.013	0.174±0.016	0.179±0.011
圆白菜(0.17~0.23)	0.118±0.026	0.152±0.020	0.178±0.006	0.201±0.017	0.118±0.030	0.248±0.011	0.181±0.009	0.199±0.014
鸡肉(0.43~0.55)	0.487±0.039	0.625±0.074	0.482±0.010	0.638±0.020	0.486±0.010	0.510±0.038	0.487±0.035	0.496±0.030
扇贝(1.2~1.8)	1.472±0.169	1.596±0.122	1.568±0.199	1.519±0.074	2.450±0.590	1.502±0.057	1.491±0.022	1.591±0.080
猪肝(1.25~1.83)	1.659±0.067	2.398±0.409	2.305±0.220	2.584±0.363	1.581±0.101	1.657±0.206	1.632±0.159	1.508±0.137
适宜检测的样品合计	4	3	4	3	5	4	7	7

表 5 异丙醇对硒元素检测准确度的影响(mg/kg)
Table 5 Effect of isopropanol on the accuracy of selenium detection(mg/kg)

标准物质(含量范围)	结果			
	不加入异丙醇		加入 5% 异丙醇	
玉米 (0.013~0.029)	0.012	0.004	0.015	0.014

表 6 加标回收实验结果(n=6)(%)
Table 6 Results of standard addition recovery experiment (n=6) (%)

标准物质	平均加标回收率	RSD
玉米	91.14	8.8
圆白菜	99.20	7.4
鸡肉	90.41	6.1
扇贝	108.14	4.4
猪肝	98.02	2.7

2.4 不同食品中硒元素的含量分析

分别对 6 大类样品进行检测,结果如表 7 所示。由于样品量大,表中硒含量均以平均值来表示,由表 7 可看出硒的含量顺序为:坚果及籽类>豆类及豆制品>肉及肉制品>粮食制品>蔬菜>水果。

坚果及籽类分为 4 大类,分别为杏仁制品、花生制品、瓜子制品及其他坚果,其硒含量为:其他>瓜子制品>花生制品>杏仁制品,如表 8 所示。其中最高的为鲍鱼果仁,硒含量为 1.472 mg/kg,开心果、瓜子次之,含量分别为:0.493 mg/kg 和 0.166 mg/kg。

豆类及豆制品检测结果含硒量为:黄豆>绿豆>红小豆,如表 9 所示。其中红小豆均检出,但含量较低,黄豆样品中含量较高为 0.123 mg/kg。

表 7 6 类膳食样品中硒含量比较
Table 7 Comparison of selenium content in 6 dietary samples

样品名称	份数	样品中硒的含量/(mg/kg)	含量范围/(mg/kg)	未检出率/%
蔬菜	63	0.016	ND*~0.086	36.5
粮食制品	74	0.052	ND*~0.244	4.05
豆类及豆制品	70	0.109	ND*~0.417	4.23
肉及肉制品	51	0.108	0.004~0.355	0.00
水果	47	0.007	ND*~0.033	27.3
坚果及籽类	64	0.125	ND*~1.472	4.69

注: *ND 代指未检出。

表 8 4 种坚果及籽类样品中硒元素的含量
Table 8 Selenium content in 4 kinds of nut samples

样品名称	样品中平均硒含量/(mg/kg)	未检出率/%
花生制品	0.073	12.5
杏仁制品	0.049	12.5
瓜子制品	0.166	0.00
其他	0.212	0.00

表 9 3 种豆类及其制品中硒元素的含量
Table 9 Selenium content in 3 kinds of bean samples

样品名称	样品中硒的含量/(mg/kg)	未检出率/%
红小豆	0.081	0.00
黄豆	0.123	6.90
绿豆	0.116	4.35

肉及肉制品样品的硒含量检测结果如表 10 所示。其中鸭肉中含硒量较高为 0.169 mg/kg, 而羊肉中含硒量最低为 0.025 mg/kg, 肉及肉制品样品中含硒量具体为: 鸭肉>鸡蛋>鸡肉>猪肉>牛肉>羊肉, 其中牛羊肉中硒的含量远远低于其他 4 种。

表 10 肉及肉制品样品中硒元素含量
Table 10 Selenium content in meat samples

样品名称	样品中硒的含量/(mg/kg)
鸡蛋	0.159
鸡肉	0.133
牛肉	0.083
鸭肉	0.169
羊肉	0.025
猪肉	0.112

水果样品共采样 57 份, 未检出率为 22.2%, 检出含量均很低, 其中硒含量最高为红李子, 含量为 0.033 mg/kg。

本研究分别对蔬菜、粮食制品、豆类及豆制品及肉及肉制品进行非参数秩和检验, 结果如表 11 所示, 蔬菜及粮食制品 P 值大于 0.05, 说明保定、邯郸、邢台、石家庄 4 地市之间的蔬菜及粮食制品没有特异性差异。但是豆类及豆制品、肉及肉制品 P 值小于 0.01, 说明 4 地市之间有显著性差异。

表 11 4 类膳食样品的非参秩和检验结果
Table 11 Kruskal-Wallis test results of 4 dietary samples

样品类型	χ^2	P
蔬菜	6.543	0.088
粮食制品	4.364	0.255
豆类及豆制品	16.477	0.000
肉及肉制品	15.210	0.000

3 结论与讨论

本研究采用电感耦合等离子体质谱法对 8 种不同基质的国家标准物质中硒元素进行检测, 并且对电感耦合等离子体质谱仪检测条件进行优化与选择, 最终采用碰撞模式和添加内标来降低基质干扰, 通过加入异丙醇提高硒元素信号强度以提高检测的准确度。用不同基质的国家标准物质进行验证, 检测结果与参考值吻合较好, 硒元素的检出限为 0.002 mg/kg, 标准曲线线性良好, $r^2=0.999$ 。采用优化的电感耦合等离子体质谱法检测河北 4 个不同地区农副产品中硒含量, 结果发现保定、邯郸、邢台、石家庄 4 地市蔬菜和粮食制品间无显著性差异, 豆类及豆制品和肉及肉制品之间差异性明显。坚果及籽类、豆类及豆制品和肉及肉制品硒含量较高, 对于缺硒人群, 可适量多食用鲍鱼果、开心果、黄豆、鸭肉等硒元素含量较多的食物, 以补充自身硒元素的不足。

参考文献

- [1] RAYMAN MP. The importance of selenium to human health [J]. *Lancet*, 2000, 356: 233–241.
- [2] ELLIS DR, SALT DE. Plant, selenium and human health [J]. *Curr Opin Plant Biol*, 2003, 6: 273–279.
- [3] SORS TG, ELLIS DR, SALT DE. Selenium uptake, translocation, assimilation and metabolic fate in plants [J]. *Photosynth Res*, 2005, 86: 373–389.
- [4] DUMOUT E, VANHAECKE F, CORNELIS R. Selenium speciation from food source to metabolites: A critical review [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2006, 385(7): 1304–1323.
- [5] 李家熙, 张光弟, 葛晓立, 等. 人体硒缺乏与过剩的地球化学环境特征及其预测[M]. 北京: 北京地质出版社, 2000.
LI JX, ZHANG GD, GE XL, *et al.* Characteristics and prediction of geochemical environment of human selenium deficiency and excess [M]. Beijing: Beijing Geological Publishing House, 2000.
- [6] 郭建军, 方子龙, 杨则宜. 硒营养与人体健康[J]. *生物学通报*, 2000, 35(4): 21–22.
GUO JJ, FANG ZL, YANG ZY. Selenium nutrition and human health [J]. *Bull Biol*, 2000, 35(4): 21–22.
- [7] SEILER RL, SKORUPA JP, PELTZ LA. Areas Susceptible to irrigation-induced selenium contamination of water and biota in the western United States [J]. *Geol Survey Circular*, 1999, (1): 1–36.
- [8] 何梦洁, 苏丹婷, 邹艳, 等. 浙江省居民膳食硒摄入量水平与高血压的关系研究[J]. *浙江预防医学*, 2019, (1): 5–9.
HE MJ, SU DT, ZOU Y, *et al.* Association between dietary selenium intake and hypertension in Zhejiang residents [J]. *J Prev Med*, 2019, (1): 5–9.
- [9] 齐玉微, 史长义. 硒的生态环境与人体健康[J]. *微量元素与健康研究*, 2005, 22(2): 63–66.
QI YW, SHI CY. Se ecological environment and human body health [J]. *Stud Trace Elem Health*, 2005, 22(2): 63–66.
- [10] 李俊玲. 保健食品中硒的微波消解-原子荧光光谱测定法[J]. *职业与健康*, 2014, 30(4): 462–464.
LI JL. Microwave digest-atomic fluorescence spectrometry for the determination of selenium in health food [J]. *Occup Health*, 2014, 30(4): 462–464.
- [11] 董建, 王秋菊, 赵法兰. 荧光分光光度法测定食品中硒的方法改进[J]. *微量元素与健康研究*, 2002, 19(4): 60–61.
- DONG J, WANG QJ, ZHAO FL. Improved method for determination of selenium in food by fluorescence spectrophotometry [J]. *Stud Trace Elem Health*, 2002, 19(4): 60–61.
- [12] 翟云忠, 何伟, 王洁琼, 等. ICP-MS测定茶叶中硒元素方法研究[J]. *中国农业信息*, 2016, (1): 93–95.
ZHAI YZ, HE W, WANG JQ, *et al.* Study on ICP-MS determination of selenium in tea [J]. *China Agric Inform*, 2016, (1): 93–95.
- [13] 周跃花, 杨菊香, 张娜. 紫外分光光度法测定紫阳富硒茶中的硒[J]. *西北农业学报*, 2009, 18(4): 229–232.
ZHOU YH, YANG JX, ZHANG N. Determination of selenium of enriched tea in Ziyang by UV spectrophotometry [J]. *Acta Agric Boreali-occidentalis Sin*, 2009, 18(4): 229–232.
- [14] 付明, 陈欣焕, 杨万彪, 等. 微波消解 ICP-AES 法测定茶叶中铅、砷、铜、铁、锌、硒等 12 种元素的含量[J]. *食品科学*, 2001, 22(11): 76–78.
FU M, CHEN HX, YANG WB, *et al.* Determination of arsenic, lead, iron, copper, selenium all together 12 elements in tea by ICP-AES with microwave digestion [J]. *Food Sci*, 2001, 22(11): 76–78.
- [15] 高飞, 张剑峰, 历荣, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定保健食品中的硒[J]. *中国卫生工程学*, 2009, 8(3): 172–173.
GAO F, ZHANG JF, LI R, *et al.* Determination of selenium in health food by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Chin J Publ Health Eng*, 2009, 8(3): 172–173.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



赵晨曦, 主管技师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 309468405@qq.com



常凤启, 主任技师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: hbweisheng2@163.com