

# 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定 保健食品中的9种元素

李梦怡<sup>1</sup>, 董喆<sup>1</sup>, 费丽娜<sup>2</sup>, 曹进<sup>1\*</sup>

(1. 中国食品药品检定研究院, 北京 100050; 2. 吉林市食品药品检验所, 吉林 132000)

**摘要:** **目的** 建立微波消解-电感耦合等离子体质谱法检测液体水基、固体粉基、软胶囊基3种基质的保健食品中钠、镁、钾、钙、锰、铁、铜、锌、硒9种元素的分析方法。**方法** 前处理方法采用硝酸-双氧水体系的微波消解法, 仪器检测方法采用电感耦合等离子体质谱法。对3种基质的保健食品中9种元素进行同时测定。通过在线加入标准溶液实现对样品的实时校正, 内标为<sup>103</sup>Rh和<sup>185</sup>Re。**结果** 方法的线性范围宽, 跨越两个数量级; 9种元素相关系数 $r$ 均在0.999以上; 检出限低; 9种元素回收率在82%~120%之间; 精密度在7.8%以内。**结论** 本方法准确、灵敏、简便, 适合进行液体水基、固体粉基、软胶囊基3种基质的保健食品中钠、镁、钾、钙、锰、铁、铜、锌、硒9种元素的同时测定。

**关键词:** 元素; 保健食品; 微波消解; 电感耦合等离子体质谱法

## Determination of 9 kinds of elements in health food by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry

LI Meng-Yi<sup>1</sup>, DONG Zhe<sup>1</sup>, FEI Li-Na<sup>2</sup>, CAO Jin<sup>1\*</sup>

(1. National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China; 2. Jilin Institutes for Food and Drug Control, Jilin 132000, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a method for simultaneous determination of 9 kinds of elements such as Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, and Se, in liquid, solid, and soft capsule types of health food by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). **Methods** Nine kinds of elements in 3 kinds of matrix of health food were firstly decomposed by microwave oven with nitric acid and hydrogen peroxide, and then determined simultaneously by ICP-MS. Samples were corrected by adding internal standard solution on line, with <sup>103</sup>Rh and <sup>185</sup>Re as internal standard. **Results** This method showed a wide linearity range, and low detection limit. The recoveries were in the range of 82%~120%, and relative standard deviations were under 7.8%. **Conclusion** This method is rapid, sensitive and accurate, and suitable for the simultaneous determination of Na, Mg, K, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn, and Se in 3 kinds of matrix of liquid, solid and soft capsule.

**KEY WORDS:** elements; health food; microwave digestion; inductively coupled plasma mass spectrometry

\*通讯作者: 曹进, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: caojin@nifdc.org.cn

\*Corresponding author: CAO Jin, Professor, National Institutes for Food and Drug Control, No.2, Tiantanxili, Dongcheng District, Beijing 100050, China. E-mail: caojin@difdc.org.cn

## 1 引言

矿物元素也称无机盐,广泛存在于人体与环境中,是构成机体组织、维持人体正常生命活动的重要物质。钠、钾、钙、镁属于组成人体的常量元素。钙、镁参与骨、牙的构成。钠、钾以电解质的形态存在于体液和软组织中,是维持体内渗透压平衡、酸碱平衡等的主要承担者。锰、铁、铜、锌、硒作用于不同酶,在体内的新陈代谢、物质传递中起到重要作用。缺乏上述元素均会导致一些疾病的产生,然而元素摄入量过大或摄入比例失衡,也会对人体造成损伤,甚至产生中毒的现象。钙摄入过多会引起消化系统及泌尿系统疾病。钠摄入过量会加重肾脏负担,骨质疏松,并且影响其他电解质平衡等。因此,建立更加快速、准确、灵敏的检测方法,加强对保健食品中元素的含量检测,对维护消费者的健康和权益具有重要意义。

目前,我国对食品中元素的检测标准方法以原子吸收法、电感耦合等离子体光谱法和电感耦合等离子体质谱法为主。其中,电感耦合等离子体质谱法自其诞生至今已过去几十年,但其仍旧是元素检测领域测试方法研究的核心之一<sup>[1,2]</sup>。由于该方法结合了电感耦合等离子体及质谱检测器,提供了极低的检出限、极宽的动态线性范围,干扰少、分析精密度高,可进行多元素同时快速分析。本方法可与多种样品前处理方法和进样方法相结合,操作简便,适用性强,已在食品<sup>[3]</sup>、酒<sup>[4]</sup>、水产品<sup>[5]</sup>、农业<sup>[6]</sup>、医药<sup>[7]</sup>等各领域的元素检测中占有一席之地。此外,与高效液相色谱联用,还可实现同种元素不同形态的定量检测<sup>[8,9]</sup>。

目前,我国对食品中元素的检测标准方法以原子吸收法为主。由于仪器工作原理限制,单次仅能检测一种元素,大大限制了检测速度。电感耦合等离子体质谱法作为元素检测领域较新的检测手段,可以同时检测多种元素,并在检测灵敏度和抗干扰等方面,较原子吸收法有了一定的提升。目前,食品安全国家标准及农业部标准等已逐渐引入电感耦合等离子体质谱法作为仲裁方法<sup>[10,11]</sup>。

因此,本研究采用电感耦合等离子体质谱法测定3种基质的保健食品中钠、镁、钾、钙、锰、铁、铜、锌、硒9种元素。对于原子吸收法单次仅能测定一种元素的弊端,电感耦合等离子体质谱法利用质谱检测器,可以同时测定多种元素,可大大节省实验时间。本方法灵敏准确,简单可行,适用范围广,易

于推广,可以满足实验室对保健食品中元素检测的要求。

## 2 材料与方法

### 2.1 仪器与试剂

iCap-Q型电感耦合等离子体质谱仪,微机工作站(Thermo Fisher公司);MARS5型微波消解仪(CEM公司);Milli-Q型纯水机(Sartorius公司);BHW-09C型敞开放式电加热恒温炉(博通公司);METTLER AL204型天平(Mettler Toledo公司)。

硝酸、过氧化氢(优级纯,国药集团有限公司);单元素标准物质:钠(Na)、镁(Mg)、钾(K)、钙(Ca)、锰(Mn)、铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn) [ $\rho=1000.0 \mu\text{g/mL}$ ],以及硒(Se) [ $\rho=100.0 \mu\text{g/mL}$ ]标准储备液(中国计量科学研究院);内标储备溶液:Re [ $\rho=10.0 \mu\text{g/mL}$ ]、Rh [ $\rho=10.0 \mu\text{g/mL}$ ](中国计量科学研究院);质谱调谐液:锂(Li)、钴(Co)、铟(In)、铀(U)、钡(Ba)、铈(Ce) [ $\rho=1.0 \mu\text{g/L}$ ]混合溶液为质谱调谐液(美国赛默飞公司)。

### 2.2 样品前处理

取混合均匀的试样约0.3 g,精密称定,置于清洗好的聚四氟乙烯消解罐内。加入硝酸5.0 mL,过氧化氢2.0 mL,使样品充分浸没。放入电加热恒温炉中100℃加热20 min,取下,冷却,即得供试品溶液。将消解罐拧上罐盖,放进微波消解仪中消解,消解程序见表1。

表1 微波消解温度时间程序

Table 1 Time-temperature program for digestion

温度/℃	升温时间/min	保持时间/min
120	5	3
160	5	3
180	5	20

消解完毕后,将消解罐取出冷却,开罐。将消解好的含样品的消解罐放入电加热恒温炉中125℃加热至含酸量2 mL以下,以超纯水定容至25 mL。

### 2.3 系列标准溶液配制

分别精密移取适量9种单元素标准溶液,以5%硝酸稀释,配制成含钠(Na)10 mg/L、镁(Mg)10 mg/L、钾(K)10 mg/L、钙(Ca)10 mg/L、锰(Mn)1 mg/L、铁(Fe)1 mg/L、铜(Cu)1 mg/L、锌(Zn)1 mg/L、硒(Se)0.5 mg/L

的混合标准储备液。按照表2从混合标准储备液中分别移取适量溶液,置适量的容量瓶中,用5%硝酸稀释至刻度,摇匀,即得不同浓度标准溶液。

表2 系列标准溶液浓度(mg/L)

Table 2 Concentration of serial standard solutions (mg/L)

系列标准溶液	Na, Mg, K, Ca	Mn, Fe, Cu, Zn	Se
I	10	1	0.5
II	5.0	0.5	0.25
III	1.0	0.1	0.05
IV	0.5	0.05	0.025
V	0.1	0.01	0.005

## 2.4 样品测定

用质谱调谐液调谐仪器各项指标,使仪器灵敏度、氧化物、双电荷、分辨率等指标达到要求。同时引入待测样品溶液与内标溶液(Rh、Re10 μg/L)进行检测。

仪器参考条件:射频频率:1550 W;冷却气氦气流速:14 L/min;雾化器氦气流速:1 mL/min;辅助器流速:0.8 L/min;采样深度:5 mm;雾化器:微流同心雾化器;雾化室温度:3 °C;采样锥与截取锥类型:镍锥;模式:KED;碰撞气:高纯氦气(>99.999%),流速:4.2 mL/min;进样速度:40 r/min;驻留时间:0.02 s。

## 3 结果与分析

### 3.1 消解方法及条件的选择

根据近期相关能力验证统计资料,目前国内微量金属元素含量检测的前处理方法以微波消解为主<sup>[13]</sup>,因此本研究采用微波消解为前处理方法。对于微波消解法用酸的选择,硫酸、高氯酸使用中容易发生炸管现象,较为危险;氢氟酸会对ICP-MS中矩管、雾化器等玻璃部件产生腐蚀而损伤仪器。通过预实验,对液体水基、固体粉基、软胶囊基3种基质,各取2种不同的保健食品样品,考察硝酸-双氧水体系的消解效果。一种固体基质和一种软胶囊基质样品消解后残留少量沉淀。参考其保健食品说明书发现其中均含有二氧化钛,无法被消解完全。将该沉淀过滤处理后测定本方法规定的9种元素含量,结果与产品有效成分规定含量无显著性差异。结果表明,该体系能够消解大多数保健食品至澄清无沉淀,故最终选择硝酸-双氧水体系进行消解。

### 3.2 测定同位素的选择

测定同位素的选择原则以其在自然界丰度最高、其他元素干扰最小为原则。钙元素丰度最高的同位素为<sup>40</sup>Ca,本方法采用载气氦气<sup>40</sup>Ar质荷比同样为40,会对测定造成干扰,则选择钙元素丰度次高的<sup>44</sup>Ca为测定同位素。铁元素丰度最高的同位素为<sup>56</sup>Fe,载气氦气与氧气加和(<sup>40</sup>Ar+<sup>16</sup>O)质荷比同样为56,则选择铁元素丰度次高的<sup>57</sup>Fe为测定同位素。其余元素,选用丰度最高的同位素为测定同位素。

### 3.3 线性范围

在仪器最佳条件下,依次引入系列标准溶液,在线添加内标溶液(Rh、Re10 μg/L),进行ICP-MS分析。以各元素标准溶液浓度 $X$ 为横坐标,各元素与相应内标计数值的比值 $Y$ 为纵坐标,绘制标准曲线,相关系数均大于0.999。各元素线性方程、相关系数及线性范围见表3。

结果表明,本方法线性范围较宽,跨越两个数量级,相关系数在0.999以上,表明方法线性良好。

### 3.4 检出限与定量限

按2.2项下方法制备11份空白样品,依次进样检测。计算各元素相应值的标准偏差(SD),以3倍标准偏差除以相应元素标准曲线的斜率,得各元素的仪器检出限;以10倍标准偏差除以相应元素标准曲线的斜率,得各元素的仪器定量限<sup>[14]</sup>。按称样量0.3 g,定容至25 mL计,计算各元素的方法检出限与定量限,见表4。

### 3.5 加标回收率

在液体基质、固体基质和软胶囊基质样品中,分别添加高、中、低3个浓度的标准溶液,重复6次,按2.2项下方法制备,依法测定,计算回收率,结果见表5。

结果表明,3种保健食品基质样品的低浓度回收率在82%~120%之间,中浓度回收率在93%~117%之间,高浓度回收率在93%~119%之间,符合保健食品中元素测定要求。

### 3.6 精密度

按2.2项下方法制备3种基质各6份,作为日内精密度试验供试品溶液,依法测定。代入标准曲线计算含量及RSD。按2.2项下方法制备3种基质各一份,连续制备3日,制备当日测定1次,作为日间精密度样品,代入随行标准曲线计算含量及RSD。日内精密度试验及日间精密度试验结果见表6。结果表明方法精密度良好。

表 3 各元素线性方程、相关系数及线性范围  
Table 3 Linear equations, correlation coefficients and linear range for each element

元素	回归方程	相关系数 $r$	线性范围(mg/kg)
$^{23}\text{Na}$	$Y=2456871X+35986$	0.9997	0.1~10
$^{24}\text{Mg}$	$Y=1023575X+2235$	0.9999	0.1~10
$^{39}\text{K}$	$Y=814098X+15175$	0.9998	0.1~10
$^{44}\text{Ca}$	$Y=55379X+1493$	0.9992	0.1~10
$^{55}\text{Mn}$	$Y=15230X+876$	0.9997	0.01~1
$^{57}\text{Fe}$	$Y=621X+801$	0.9997	0.01~1
$^{63}\text{Cu}$	$Y=32737X+2700$	1.0000	0.01~1
$^{66}\text{Zn}$	$Y=4971X+4589$	0.9999	0.01~1
$^{78}\text{Se}$	$Y=429X+10$	0.9991	0.005~0.5

表 4 检出限与定量限(mg/kg)  
Table 4 LOD and LOQ of the method (mg/kg)

	仪器检出限	方法检出限	仪器定量限	方法定量限
$^{23}\text{Na}$	0.04	3	0.1	11
$^{24}\text{Mg}$	0.002	0.2	0.008	0.6
$^{39}\text{K}$	0.005	0.4	0.02	1
$^{44}\text{Ca}$	0.01	1	0.05	4
$^{55}\text{Mn}$	0.0001	0.008	0.0003	0.03
$^{57}\text{Fe}$	0.003	0.3	0.01	0.9
$^{63}\text{Cu}$	0.0001	0.009	0.0004	0.03
$^{66}\text{Zn}$	0.0003	0.03	0.001	0.09
$^{78}\text{Se}$	0.00004	0.003	0.0001	0.01

表 5 加标回收率( $n=6$ )  
Table 5 Recovery test of the method ( $n=6$ )

元素	低浓度			中浓度			高浓度		
	液体	固体	胶囊	液体	固体	胶囊	液体	固体	胶囊
$^{23}\text{Na}$	120%	119%	120%	106%	112%	106%	111%	117%	105%
$^{24}\text{Mg}$	106%	110%	111%	104%	104%	105%	109%	108%	106%
$^{39}\text{K}$	104%	107%	93%	101%	106%	106%	106%	110%	106%
$^{44}\text{Ca}$	82%	114%	126%	97%	105%	115%	103%	111%	116%
$^{55}\text{Mn}$	101%	104%	99%	106%	106%	107%	110%	110%	107%
$^{57}\text{Fe}$	88%	115%	109%	99%	105%	102%	106%	109%	103%
$^{63}\text{Cu}$	104%	103%	99%	101%	97%	98%	104%	100%	100%
$^{66}\text{Zn}$	93%	98%	97%	117%	93%	104%	119%	94%	107%
$^{78}\text{Se}$	87%	94%	104%	93%	94%	106%	93%	95%	111%

表 6 精密度试验结果  
Table 6 Results of precision test

元素	日内精密度( $n=6$ )			日间精密度( $n=3$ )		
	液体	固体	胶囊	液体	固体	胶囊
$^{23}\text{Na}$	2.4%	2.7%	2.6%	5.3%	0.9%	4.0%
$^{24}\text{Mg}$	2.4%	2.4%	2.6%	2.0%	0.7%	2.4%
$^{39}\text{K}$	1.8%	2.0%	2.6%	4.5%	2.8%	5.0%
$^{44}\text{Ca}$	2.5%	2.7%	7.8%	6.3%	2.3%	5.0%
$^{55}\text{Mn}$	2.0%	2.5%	3.2%	2.1%	1.1%	2.4%
$^{57}\text{Fe}$	2.1%	2.5%	3.1%	2.8%	0.4%	1.8%
$^{63}\text{Cu}$	2.3%	2.5%	2.8%	2.0%	1.9%	3.0%
$^{66}\text{Zn}$	4.6%	3.1%	4.4%	1.5%	2.3%	0.4%
$^{78}\text{Se}$	4.1%	2.1%	3.0%	3.4%	2.8%	4.3%

### 3.7 稳定性

取精密度供试品溶液, 3 种基质各一份, 放置 0、3、6、24 h 各进样一次, 代入随行标准曲线计算含量及 RSD, 见表 7。结果表明, 样品在 24 h 内稳定性良好。

表 7 样品稳定性( $n=4$ )  
Table 7 Results of stability test ( $n=4$ )

元素	液体	固体	胶囊
$^{23}\text{Na}$	3.0%	3.3%	4.6%
$^{24}\text{Mg}$	3.5%	3.8%	4.7%
$^{39}\text{K}$	4.6%	5.0%	6.2%
$^{44}\text{Ca}$	4.7%	4.6%	6.2%
$^{55}\text{Mn}$	3.0%	3.0%	4.8%
$^{57}\text{Fe}$	2.6%	2.5%	4.4%
$^{63}\text{Cu}$	2.8%	1.8%	2.8%
$^{66}\text{Zn}$	6.6%	2.8%	2.7%
$^{78}\text{Se}$	5.0%	5.0%	5.3%

### 3.8 样品测定

以本方法对市场上 8 种常见保健食品中元素含量进行测定。样品中各元素的含量结果, 见表 8。

## 4 讨论

### 4.1 基质干扰

保健食品基质差异较大, 在保健食品检测过程中, 基质对检测的影响也各不相同。

液体保健食品基质相对较简单, 基质效应较小。但个别液体保健食品中含有乙醇, 乙醇易与硝酸剧烈反应产生危险。对于含乙醇的保健食品需在消解前加热使乙醇挥发。

固体保健食品基质会添加少量钛白剂、滑石粉, 该物质无法被硝酸-双氧水消解掉。但由于其不会吸附待测离子, 过滤处理即可, 故不影响本研究中所规定 9 种元素的测定。

软胶囊内容物中辅料成分多为植物油、聚乙二醇等高分子有机化合物, 或甘油、异丙醇等小分子有机化合物。有机物含量较高时, 消解过程中耗酸较多, 需要时间更长, 消解时需酌情变更消解条件。此外, 对于见光分解的有效成分, 软胶囊辅料会用到二氧化钛达到遮光的效果。而二氧化钛无法被硝酸体系消解, 导致消解后产生部分沉淀。此情况与固体基质保健食品一致, 将沉淀过滤处理即可, 不影响本研究中所规定 9 种元素的测定。

### 4.2 检测干扰的消除

采用 ICP-MS 法进行检测时, 主要的干扰来源分

表 8 样品含量测定结果(mg/kg)  
Table 8 Results of sample test (mg/kg)

样品	钠	镁	钾	钙	锰	铁	铜	锌	硒
口服液 1	88	17	3.7	15614	0.712	202	ND	120	ND
口服液 2	ND	1.6	5.9	6.8	ND	ND	ND	ND	ND
蜂胶滴剂	38	90	804	6.8	0.26	48	0.33	1.9	0.016
软胶囊 1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
软胶囊 2	67	74	546	406	0.56	3.5	0.27	0.64	ND
蛋白粉	7908	430	5447	2213	6.9	143	8.1	17	0.14
螺旋藻片	6796	3444	15637	937	16	431	2.6	9.4	0.42
钙片	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

注: ND 表示未检出。

为质谱干扰、基质干扰和物理效应 3 大类干扰源。

质谱干扰包括双电荷离子干扰、多原子加和干扰等<sup>[15]</sup>, 可通过选择合适的同位素离子以减小双电荷离子干扰; 采用动能歧视模式可减少多原子加和离子进入四级杆, 从而降低其干扰<sup>[16]</sup>。

基质干扰是指复杂的基质引起的质谱平衡的转变, 对待测元素的质谱信号产生抑制或增强效应, 可采用加入内标元素校正和采用碰撞/反应池技术消除。本方法采用在线引入内标溶液的方式消除随机产生的偏差。

物理干扰可通过及时清洗雾化室、进样锥及进样管路消除。

## 5 结论

本方法具有较好的准确度与精密度, 较宽的线性范围, 并实现了钠、镁、钾、钙、锰、铁、铜、锌及硒等元素的同时检测, 操作简便, 可以满足液体水基、固体粉基、软胶囊基 3 种基质的保健食品中上述 9 种元素同时检测的检测要求。

## 参考文献

- [1] 杨凡, 孟庆雄, 彭珍华. 电感耦合等离子体质谱联用技术应用进展[J]. 现代仪器, 2012, 18(5): 1-4.  
Yang F, Meng QX, Peng ZH, *et al.* Progress in application of inductively coupled plasma mass spectrometry hyphenated technique [J]. Mod Instrum, 2012, 18(5): 1-4.
- [2] 姜娜. 电感耦合等离子体质谱技术在环境监测中的应用进展[J]. 中国环境监测, 2014, 30(2): 118-124.  
Jiang N. Application and research progress of inductively

coupled plasma mass spectrometry in environmental monitoring area [J]. Environ Monitor China, 2014, 30(2):118-124.

- [3] 张江义. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定食品中的主、微量元素[J]. 分析化学, 2014, (11):1706-1709.  
Zhang JY. Simultaneous determination of trace elements and major elements in food by ICP-MS using microwave digestion for sample preparation [J]. Chin J Anal Chem, 2014, (11):1706-1709.
- [4] 倪张林, 汤富彬, 屈明华, 等. 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱联用技术测定花茶中砷形态[J]. 分析科学学报, 2013, 29(4): 506-510.  
Ni ZL, Tang FB, Qu MH, *et al.* Determination of arsenic species in scented tea by HPLC-ICP-MS [J]. J Anal Sci, 2013, 29(4): 506-510.
- [5] 燕娜, 赵生国, 高芸芸. 动态反应池-电感耦合等离子体质谱法测定酒中的镉、汞、铅和铬[J]. 食品科学, 2013, 34(12): 300-303.  
Yan N, Zhao SG, Gao YY. Determination of cadmium, mercury, lead and chromium in alcoholic drinks by inductively coupled plasma-mass spectrometry with dynamic reaction cell [J]. Food Sci, 2013, 34(12): 300-303.
- [6] 覃东立. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定水产品中 28 种微量元素[J]. 食品工业科技, 2014, 35(18): 67-79.  
Qin DL. Simultaneous determination of 28 trace elements in aquatic products by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry method [J]. Sci Technol Food Ind, 2014, 35(18): 67-79.
- [7] 蒋宏霖, 徐雪芹. 电感耦合等离子体质谱法测定金银花中重金属的含量[J]. 安徽农业科学, 2014, (7):1927-1928.  
Jiang HL, Xu XQ. Simultaneous determination of heavy metals in honeysuckle by ICP-MS[J]. J Anhui Agric Sci, 2014,

- (7):1927-1928.
- [8] 汤卫国, 王奇志, 印敏, 等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定脉络宁注射液中 25 种矿物质元素[J]. 中草药, 2014, 45(15): 2172-2177.  
Tang WG, Wang QZ, Yin M, *et al.* Determination of 25 kinds of minerals in mailuoning injection by inductively coupled plasma mass spectrometry with microwave digestion [J]. Chin Tradit Herbal Drug, 2014, 45(15): 2172-2177.
- [9] 刘崴, 胡俊栋, 杨红霞, 等. 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱法快速测定天然水中无机砷的形态[J]. 分析实验室, 2014, (04): 462-465.  
Liu W, Hu JD, Yang HX, *et al.* Rapid determination of inorganic arsenic in natural water by high performance liquid chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. Chin J Anal Lab, 2014, (04): 462-465.
- [10] 王欣, 幸苑娜, 陈泽勇, 等. 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱法检测富硒食品中 6 种硒形态[J]. 分析化学, 2013, 41(11): 1669-1674.  
Wang X, Xing YN, Chen ZY, *et al.* Determination of inorganic selenium in selenium-enriched foods by high performance liquid chromatography inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Chin J Anal Chem, 2013, 41(11): 1669-1674.
- [11] NY/T 1653-2008 蔬菜、水果及制品中矿质元素的测定 电感耦合等离子体发射光谱法[S].  
NY/T 1653-2008 Determination for mineral elements in vegetables, fruits and derived products -Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry [S].
- [12] GB 5009.94-2012 食品安全国家标准 植物性食品中稀土元素的测定[S].  
GB 5009.94-2012 National standards for food safety-Determination of rare earths in vegetable foods [S].
- [13] 冯克然, 刘鸿君, 韦盈, 等. 化妆品乳液中铬测定能力验证[J]. 中国药事, 2014, 28(11): 1209-1212.  
Feng KR, Liu HJ, Wei Y, *et al.* Proficiency testing on the determination of chromium in cosmetic emulsion [J]. Chin Pharm Affairs, 2014, 28(11): 1209-1212.
- [14] GB/T 27415-2013 分析方法检出限和定量限的评估[S].  
GB/T 27415-2013 Detection limit and quantitative limit of analysis method [S].
- [15] 田佩瑶, 柳玉红, 王平, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定化妆品中 15 种稀土元素[J]. 卫生研究, 2009, 38(6): 747-749.  
Tian PY, Liu YH, Wang P, *et al.* Fifteen rare earth elements in cosmetics determined by inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. J Hyg Res, 2009, 38(6): 747-749.
- [16] 董喆, 李梦怡, 潘炜娟, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定化妆品中的 37 种元素[J]. 日用化学品科学, 2015, 38(6): 20-25.  
Dong Z, Li MY, Pan WJ, *et al.* Determination of 37 elements in cosmetics by inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. Deter Cosm, 2015, 38(6): 20-25.

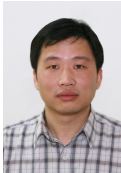
(责任编辑: 杨翠娜)

#### 作者简介



李梦怡, 硕士, 助理研究员, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: limengyi@nifdc.org.cn



曹进, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: caojin@nifdc.org.cn