

电感耦合等离子体质谱法测定话梅中 11种微量元素

杨伟*, 毛永杨*, 李蓉, 孙钢, 周美丽, 杨春花, 范晓旭

(大理州食品检验检测院, 大理 671000)

摘要: **目的** 建立电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)测定话梅中 V、Cr、Co、Ni、Cu、Zn、As、Sr、Cd、Ba 和 Pb 共 11 种微量元素的分析方法。**方法** 样品经微波消解, 用 ICP-MS 同时测定 11 种元素的含量, 测定值采用 SPSS 16.0 进行 Pearson 相关性分析。**结果** 11 种元素在 0~500 $\mu\text{g/L}$ 范围内线性关系良好, 相关系数均大于 0.9997, 检出限为 0.002~0.01 mg/kg, 加标回收率为 84.5%~110.3%, 相对标准偏差小于 5%。国家标准物质胡萝卜(GBW10047)测定结果基本在标准认定值范围内。所测样品中元素平均含量从高到低排序为: $\text{Sr} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ba} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{V} > \text{As} > \text{Co} > \text{Cd}$ 。相关性分析显示所测元素中部分元素间有一定的相关性。**结论** 该法简单、快捷、可靠, 适合于话梅中微量元素的测定, 测定结果可为话梅的质量控制提供技术依据。

关键词: 话梅; 微量元素; 微波消解; 电感耦合等离子体质谱

Determination of 11 kinds of trace elements in preserved plum by inductively coupled plasma mass spectrometry

YANG Wei*, MAO Yong-Yang*, LI Rong, SUN Gang, ZHOU Mei-Li,
YANG Chun-Hua, FAN Xiao-Xu

(Dali Institute for Food Control, Dali 671000, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for determination of 11 kinds of trace elements, including V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, As, Sr, Cd, Ba and Pb in preserved plum by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). **Methods** The samples were digested by microwave system and the content of 11 elements were simultaneously determined by ICP-MS. The measured values were analyzed by Pearson correlation analysis using SPSS 16.0 software. **Results** Eleven kinds of trace elements had good linear relationships in the range of 0-500 $\mu\text{g/L}$ with the correlations higher than 0.9997. The limits of detection were 0.002-0.01 mg/kg. The recoveries of standard addition ranged from 84.5% to 110.3%, and the relative standard deviations were lower than 5%. The results of the national standard substance (Carrot GBW10047) were basically within the range of certified values. The order of the element average contents in the samples was: $\text{Sr} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ba} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{V} > \text{As} > \text{Co} > \text{Cd}$. The correlation

*通讯作者: 杨伟, 助理工程师, 主要研究方向为食品安全分析与检测。E-mail: 1621776759@qq.com

毛永杨, 工程师, 主要研究方向为食品质量与安全检测。E-mail: maoyongyang@163.com

*Corresponding author: YANG Wei, Assistant Engineer, Dali Institute for Food Control, Longshan East Road Xiaguan Town, Dali 671000, China. E-mail: 1621776759@qq.com

MAO Yong-Yang, Engineer, Dali Institute for Food Control, Longshan East Road Xiaguan Town, Dali 671000, China. E-mail: maoyongyang@163.com

analysis showed that there were certain correlations between some elements. **Conclusion** This method is sample, rapid and reliable, which is suitable for determination of trace elements in preserved plum. The measured results can provide technology basis for the quality control in preserved plum.

KEY WORDS: preserved plum; trace element; microwave digestion; inductively coupled plasma mass spectrometry

1 引言

话梅是人们喜爱的传统食品, 是以青梅为主要原料, 经盐腌制、干燥、脱盐、配料液腌制、晒干而成的制品^[1]。作为一种由简单生产工艺生产的产品, 话梅中的微量元素主要来源于青梅、辅料、水、添加剂的使用、接触工具和设备等^[2-6]。微量元素在人体内无法合成, 对人的生命活动有很大影响。一些必须微量元素如锌、铜和铬等有促进人体生长发育的作用, 但是摄入过多会引起中毒; 一些重金属元素, 如铅、砷和镉等则对人体有危害, 它们主要通过饮食或呼吸进入人体, 在体内有蓄积性, 能够损害人体组织和器官, 相比成年人, 小孩、老人和体弱者对有毒重金属元素更为敏感^[7,8]。因此建立一种快速、灵敏、准确的分析方法测定话梅中微量元素是比较重要的。本研究之所以选择话梅中的 11 种微量元素为研究对象, 首先铬(Cr)、钴(Co)、锌(Zn)、铜(Cu)、锶(Sr)是参与人体生化反应的微量元素; 其次镉(Cd)、铅(Pb)、砷(As)是对人体有害的重金属元素; 最后钒(V)、镍(Ni)、钡(Ba)是各国科研工作者研究的热点元素, 它们可能是人体必须微量元素^[9]。

目前对话梅中重金属元素的研究已有文献报道^[4-6], 测定的方法主要包括: 电感耦合等离子体发射光谱法(inductively coupled plasma optical emission spectrometer, ICP-OES)和电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS), ICP-OES 法的检出限较高, 不同元素间光谱干扰比较严重, 而 ICP-MS 法具有检出限低、灵敏度高、谱线简单、准确性好等优点^[10-12], 非常适合话梅中微量元素的分析, 而且现在使用 ICP-MS 对话梅中多个元素同时测定的报道较少, 因此本研究基于 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》^[13]中的第一法(以下简称国标法), 采用微波消解处理话梅样品, 用 ICP-MS 同时测定样品中 V、Cr、Co、Ni、Cu、Zn、As、Sr、Cd、Ba 和 Pb 11 种微量元素的含量, 并对微波消解条件进行改进, 以期对话梅的质量控制提供技术参考。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

ETHOS UP 型微波消解仪(意大利 Milestone 公司);

Agilent 7900 型电感耦合等离子体质谱仪(美国 Agilent 公司); VB24 UP 型智能样品处理器(北京 Lab tech 公司); ML204T/02 型分析天平(瑞士梅特勒-托利多公司); 超纯水制备系统(云南优普科技有限公司)。

多元素混合标准溶液(V、Cr、Co、Ni、Cu、Zn、As、Sr、Cd、Ba、Pb, 100 $\mu\text{g/mL}$, 唯一标识: 17DA224, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 调谐液(Ce、Co、Li、Mg、Tl、Y, 1 $\mu\text{g/L}$, 批号: 5185-5959, 美国 Agilent 公司); 混合内标溶液(⁴⁵Sc、⁷²Ge、¹⁰³Rh、¹⁵⁹Tb、²⁰⁹Bi, 10 $\mu\text{g/mL}$, 批号 5188-6525, 美国 Agilent 公司); 过氧化氢(质量分数 30%, 电子级, 苏州晶瑞化学股份有限公司); 硝酸(质量分数 65%, 分析级, 德国默克公司); 国家标准参考物质胡萝卜(批号: GBW 10047, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所); 实验用水均为超纯水(电阻率 18.25 $\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$, 25 $^{\circ}\text{C}$)。

话梅: 市场上随机选取 11 个不同品牌(每个品牌 15 颗)话梅样品, 编号为 1#~11#。

2.2 实验方法

2.2.1 溶液配制

精密量取 100 $\mu\text{g/mL}$ 多元素混合标准溶液 10 mL, 置于 100 mL 容量瓶中, 用 0.5 %硝酸溶液定容至刻度, 配制浓度为 10 $\mu\text{g/mL}$ 的标准储备液, 再精密量取标准储备液 0、0.1、0.5、1、3、5 mL 加入 6 个 100 mL 容量瓶, 用 0.5% 硝酸溶液稀释至刻度, 配制浓度分别为 0、10、50、100、300、500 $\mu\text{g/L}$ 的系列混合标准溶液。

2.2.2 供试样品溶液的制备

称取样品 0.2 g(精确至 0.0001 g), 置聚四氟乙烯(poly tetra fluoroethylene, PTFE)消解罐, 依次加入 6 mL 硝酸和 2 mL 双氧水, 旋紧罐盖, 置于微波消解仪消解, 消解完毕, 放冷, 取出消解罐放入多孔智能样品处理器, 130 $^{\circ}\text{C}$ 下赶酸 1 h, 取下消解罐, 冷却, 转入 25 mL 容量瓶, 纯水少量冲洗消解罐 2~3 次, 洗液合并于容量瓶中, 加水定容至刻度, 混匀, 待测。同时做样品空白溶液。

2.2.3 ICP-MS 测定条件

功率 1550 W; 等离子体气体流量 15.0 L/min; 雾化气体流量 0.99 L/min; 辅助气体流量 0.90 L/min; 采样深度 10.0 mm; 雾化室温度 2 $^{\circ}\text{C}$; 蠕动泵 0.10 r/s; 采用 He 模式分析, 氦气流量 5.0 mL/min; 重复测定 3 次。各元素测定

的同位素分别为 ^{51}V 、 ^{52}Cr 、 ^{59}Co 、 ^{60}Ni 、 ^{63}Cu 、 ^{66}Zn 、 ^{75}As 、 ^{88}Sr 、 ^{114}Cd 、 ^{135}Ba 、 ^{208}Pb 。

2.2.4 数据处理

采用 Excel 2007 对数据进行预处理, SPSS 16.0 统计软件进行 Pearson 相关性分析。

3 结果与分析

3.1 消解过程的选择

国标法采用微波消解和压力罐消解法对食品进行前处理, 研究表明压力罐消解法费时、费力, 无压力控制系统, 温度过高存在安全隐患^[14]。相比之下, 微波消解法能准确控温控压, 样品处理通量高、消解耗时短等优点, 是比较好的消解方法, 因此本研究选择微波消解法处理样品。

硝酸容易纯化、氧化性较强, 是微波消解常用的消解试剂, 与双氧水共用, 能增强硝酸的消解能力, 使样品消解更彻底。综合国标法以及前人分析话梅中元素的报道^[5,6], 本研究对消解试剂和微波消解仪工作温度、时间和功率进行优化, 确定样品前处理方法以 6 mL 硝酸和 2 mL 双氧水为消解试剂, 按照升温程序: 设置功率为 1800 W, 15 min 内从室温升至 140 ℃, 保持 5 min, 然后 10 min 内升至 180 ℃, 保持 20 min 消解, 消解完毕, 130 ℃下赶酸 1 h, 获得的样品溶液澄清透明。优化后的消解法与国标法及文献报道相比, 一定程度上减少了试剂用量, 缩短了前处理时间。

3.2 线性考察

取 2.2.1 项系列混合标准溶液, 按 2.2.3 项仪器条件, 依次测定, 以各元素标准溶液信号值与内标元素信号值的比值为纵坐标(Y), 质量浓度为横坐标(X), 建立标准曲线,

回归方程及相关系数, 结果见表 1。各元素在 0~500 $\mu\text{g/L}$ 范围呈良好的线性关系, 相关系数均大于 0.9997。

3.3 方法检出限和精密度

连续测定 11 次样品空白溶液, 以其标准偏差的 3 倍所对应的浓度为仪器检出限, 再用仪器检出限乘以定容体积(25 mL), 除以称样量(0.2 g), 得到方法检出限; 选取 100 $\mu\text{g/L}$ 的混合标准溶液, 相同仪器条件下, 重复测定 6 次, 计算相对标准偏差, 结果见表 1。11 种微量元素的检出限在 0.002~0.01 mg/kg 之间, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)均小于 3.0%。说明方法检出限低、精密度好, 适合话梅中微量元素的分析。

3.4 加标回收率实验

称取已知含量的样品 0.2 g(精确至 0.0001 g), 加入一定浓度的混合标准溶液, 按上述方法进行前处理, 平行制备 3 份样品, 相同仪器条件测定, 结果取平均值计算, 结果见表 2。各元素回收率在 84.5%~110.3%之间, RSD 值小于 5%。说明方法达到检测话梅中微量元素的水平。

3.5 准确度实验

按照实验方法对国家标准物质胡萝卜(GBW10047)^[15]中 11 种微量元素进行测定, 测定结果见表 3。各元素测定结果基本符合标准认定值范围。说明方法准确性良好。

3.6 样品含量测定结果

对市售 11 个不同品牌的话梅样品中 11 种微量元素进行测定, 测定结果见表 4。从表 4 可知, 不同话梅中微量元素存在一定差异, 这可能与青梅生长环境以及话梅生产过程有关。话梅中元素含量的分布趋势较为相似, 其平均含量从高到低依次排序为: $\text{Sr} > \text{Zn} > \text{Cu} > \text{Ba} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{V}$ >

表 1 线性范围、回归方程、相关系数、检出限和精密度($n=6$)
Table 1 Linear ranges, regression equations, correlation coefficients, limits of detection and RSD ($n=6$)

元素	线性范围($\mu\text{g/L}$)	回归方程	相关系数(r)	检出限(mg/kg)	RSD(%)
V	0~500	$Y=0.5319X+0.0168$	1.0000	0.005	1.30
Cr	0~500	$Y=0.7538X+0.1020$	1.0000	0.008	1.36
Co	0~500	$Y=1.4935X+0.1313$	1.0000	0.007	1.50
Ni	0~500	$Y=0.4422X+0.4988$	1.0000	0.01	1.49
Cu	0~500	$Y=1.1985X+0.5903$	0.9998	0.01	2.66
Zn	0~500	$Y=0.1213X+1.1439$	0.9998	0.01	2.59
As	0~500	$Y=0.0852X+0.0536$	0.9998	0.009	2.65
Sr	0~500	$Y=0.2060X+0.0346$	0.9998	0.01	2.76
Cd	0~500	$Y=0.0130X+0.0010$	0.9999	0.002	0.18
Ba	0~500	$Y=0.0018X+0.0016$	1.0000	0.03	0.47
Pb	0~500	$Y=0.0746X+0.0638$	0.9999	0.01	0.68

表 2 加标回收率实验结果(<i>n</i> =3)					
Table 2 Results of standard addition recovery rate (<i>n</i> =3)					
元素	本底值 (μg/L)	加标值 (μg/L)	测定均值 (μg/L)	回收 率(%)	RSD (%)
V	0.979	5	5.841	97.2	2.53
		20	19.906	94.6	2.03
		40	39.807	97.1	2.39
		100	94.895	93.9	0.47
Cr	1.323	5	6.519	103.9	1.76
		20	19.878	92.8	1.96
		40	39.238	94.8	2.18
		100	93.031	91.7	0.55
Co	0.351	5	5.055	94.1	3.06
		20	18.623	91.4	2.20
		40	37.688	93.3	2.41
		100	91.497	91.1	0.49
Ni	1.933	5	6.385	89.0	2.53
		20	19.363	87.2	2.48
		40	38.172	90.6	1.75
		100	89.887	88.0	0.81
Cu	12.651	5	17.156	90.1	4.36
		20	30.770	90.6	4.99
		40	49.290	91.6	2.81
		100	107.172	94.5	2.86
Zn	34.725	5	38.982	85.1	3.61
		20	51.618	84.5	4.33
		40	69.035	85.8	2.82
		100	126.108	91.4	2.84
As	0.386	5	5.218	96.6	3.19
		20	19.294	94.5	3.21
		40	37.147	91.9	2.77
		100	94.517	94.1	2.89
Sr	36.189	5	40.940	95.0	3.53
		20	57.560	106.9	4.48
		40	75.488	98.2	4.42
		100	142.522	106.3	2.97
Cd	0.0397	5	4.892	97.0	1.50
		20	19.226	95.9	0.32
		40	38.239	97.0	0.47
		100	94.396	94.4	0.26
Ba	16.746	5	22.261	110.3	1.05
		20	37.059	101.6	1.57
		40	55.610	97.2	0.62
		100	112.062	95.3	0.96
Pb	2.997	5	7.674	93.6	2.23
		20	22.847	99.3	0.55
		40	44.103	102.8	0.25
		100	107.101	104.1	0.25

表 3 标准物质测定结果(<i>n</i> =3)			
Table 3 Determination values of standard reference materials (<i>n</i> =3)			
元素	标准认定值	测量值 (means± <i>sd</i>)	回收率 (%)
V (mg/kg)	(0.21)	0.20±0.03	95.2
Cr (mg/kg)	1.04±0.13	0.90±0.08	86.5
Co (μg/kg)	66±7	57±6	86.3
Ni (mg/kg)	0.67±0.10	0.55±0.04	82.1
Cu (mg/kg)	4.1±0.3	4.0±0.2	97.6
Zn (mg/kg)	11.2±0.5	10.7±0.3	95.5
As (mg/kg)	0.11±0.02	0.10±0.02	90.9
Sr (mg/kg)	22±2	20±0.7	90.9
Cd (mg/kg)	0.034±0.004	0.032±0.007	94.1
Ba (mg/k)	24±3	20±0.4	83.3
Pb (mg/kg)	0.43±0.07	0.43±0.04	100.0

As>Co>Cd。Sr 的平均含量最高为 11.52 mg/kg, Zn、Cu、Ba 的平均含量在 1~4 mg/kg 之间, 其他元素的平均含量都低于 1 mg/kg, 其中 Cd 的平均含量最低, 仅为 0.0023 mg/kg。依据 GB 2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》^[15]的规定, 水果制品中铅的限量值为 1.0 mg/kg, 所测话梅样品中铅的含量均未超标。

3.7 话梅中微量元素间相关性分析

对话梅样品中 11 种微量元素进行 Pearson 相关性分析, 结果见表 5。由表 5 可知, 所测话梅样品中 Co 与 Ba 呈显著正相关; Cr 与 Co、Ni、Ba, Co 与 Ni, Ni 与 Ba, Cu 与 Zn、As, Zn 与 As 呈极显著正相关。表明上述元素在话梅中的累积存在内在相关关系。

4 结 论

建立了 ICP-MS 法测定话梅中 11 种微量元素的方法, 该法检出限为 0.002~0.01 mg/kg, 加标回收率为 84.5%~110.3%, 精密度小于 5 %, 所测国家标准物质基本符合标准认定值范围, 表明该法准确度和精密度良好, 非常适合话梅中微量元素的分析。含量特征分析表明, 微量元素在不同话梅中存在一定差异, 这可能与生产话梅所需的原料、辅料、水以及所接触的工具等有关。话梅样品中元素含量高低排序依次为 Sr>Zn>Cu>Ba>Ni>Cr>Pb>V>As>Co>Cd。Pearson 相关性分析结果表明, 11 种微量元素中部分元素间呈显著相关(*P*<0.05)和极显著相关(*P*<0.01)。

表 4 话梅样品中 11 种微量元素含量($n=3$, mg/kg)
Table 4 Contents of 11 kinds of trace elements in preserved plum ($n=3$, mg/kg)

编号	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Ba	Pb
1#	0.125	0.261	0.023	0.168	1.90	1.89	0.055	3.31	ND	1.22	0.215
2#	0.122	0.165	0.043	0.241	1.57	4.33	0.048	4.56	0.0049	2.08	0.373
3#	0.103	0.141	0.027	0.182	1.37	2.84	0.010	4.36	ND	1.87	0.202
4#	0.104	0.184	0.054	0.295	1.59	1.58	0.067	4.89	ND	1.14	0.211
5#	0.188	0.365	0.039	0.346	3.11	5.86	0.194	7.49	0.0037	1.77	0.398
6#	0.160	0.326	0.039	0.370	3.04	5.78	0.230	6.93	0.0029	1.61	0.360
7#	0.062	1.750	0.090	2.530	1.30	3.97	0.057	16.5	ND	3.10	0.205
8#	0.083	0.252	0.036	0.289	1.35	2.78	0.121	35.1	0.0027	1.10	0.234
9#	0.286	0.707	0.042	0.363	1.38	2.24	0.052	5.24	0.0026	1.43	0.530
10#	0.101	0.450	0.019	0.685	1.16	2.31	0.038	33.6	0.0031	1.96	0.801
11#	0.107	0.222	0.023	0.162	1.53	2.56	0.056	4.75	0.0027	1.43	0.340
平均值	0.131	0.438	0.040	0.512	1.75	3.29	0.084	11.52	0.0023	1.70	0.352

表 5 话梅样品中微量元素的 Pearson 相关性分析
Table 5 Pearson correlation analysis of trace elements of preserved plum samples

元素	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Cd	Ba	Pb
V	1											
Cr	-0.083	1										
Mn	-0.445	0.459	1									
Co	-0.158	0.795**	0.423	1								
Ni	-0.336	0.958**	0.519	0.815**	1							
Cu	0.348	-0.204	-0.254	-0.063	-0.223	1						
Zn	0.150	0.132	0.121	0.239	0.163	0.765**	1					
As	0.252	-0.089	0.104	0.054	-0.100	0.883**	0.753**	1				
Sr	-0.385	0.185	0.705*	-0.034	0.268	-0.353	-0.123	0.016	1			
Cd	0.338	-0.282	-0.013	-0.284	-0.313	0.279	0.490	0.369	0.170	1		
Ba	-0.282	0.760**	0.302	0.622*	0.835**	-0.134	0.397	-0.163	0.089	-0.041	1	
Pb	0.370	-0.024	-0.240	-0.372	-0.082	-0.070	0.001	-0.028	0.376	0.566	0.064	1

注：“*”表示显著相关性($P<0.05$), “**”表示极显著相关性($P<0.01$)。

参考文献

[1] 刘源, 黄苇, 张敏妹, 等. 湿法制备话梅含片工艺的研究[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(21): 66–69.
Liu Y, Huang W, Zhang MM, *et al.* Study on the preparation of buccal tablests for preserved plumen [J]. Food Res Dev, 2013, 34(21): 66–69.

[2] 贾彩凤, 冯晗, 常忠义, 等. 话梅中苯甲酸和山梨酸含量的测定方法[J]. 江苏农业学报, 2008, 24(6): 932–935.
Jia CF, Feng H, Chang ZY, *et al.* Determination of benzoic acid and sorbate acid in preserved plum [J]. Jiangsu J Agric Sci, 2008, 24(6):

932–935.

[3] 杨弋星, 张态, 杨新华. 大理市售梅产品中山梨酸、苯甲酸和糖精钠的分析与评价[J]. 现代预防医学, 2015, 42(1): 44–46.
Yang YX, Zhang T, Yang XH. Analysis and evaluation of sorbic acid, benzoic acid and saccharin sodium in plum products from the market of Dali city [J]. Mod Prev Med, 2015, 42(1): 44–46.

[4] 王鲜俊, 范柯. 端视 ICP-AES 法同时测定蜜饯中的 7 种元素[J]. 现代预防医学, 2001, (4): 499.
Wang XJ, Fan K. Simultaneous determination of 7 kinds of elements in preserved fruits by axial view ICP-AES [J]. Mod Prev Med, 2001, (4):

- 499.
- [5] 陈瑞敏, 袁洁, 温力力, 等. 蜜饯中铝残留量的检测及结果分析[J]. 食品研究与开发, 2017, 38 (6): 149–152.
- Chen RM, Yuan J, Wen LL, *et al.* Investigation and analysis of residual aluminum in preserved fruits [J]. Food Res Dev, 2017, 38(6): 149–152.
- [6] 王红梅, 黄文水. 微波消解-ICP-MS 法测定话梅中的二氧化钛[J]. 化学分析计量, 2014, 23(5): 48–50.
- Wang HM, Huang WS. Determination of titanium dioxide in preserved plum by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Chem Anal Meter, 2014, 23(5): 48–50.
- [7] Lodico GM, Galvano F, Dugo G, *et al.* Toxic metal levels in cocoa powder and chocolate by ICP-MS method after microwave-assisted digestion [J]. Food Chem, 2018, (245): 1163–1168.
- [8] Orecchio S, Amorello D, Raso M, *et al.* Determination of trace elements in gluten-free food for celiac people by ICP-MS [J]. Microchem J, 2014, (116): 163–172.
- 熊婵, 蒋学慧, 田亚平 等. ICP-MS 法测定采血管中的 20 种微量元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2016, 11(36): 3676–3682.
- Xiong C, Jiang XH, Tian YP *et al.* Determination of 20 trace element in blood collection tubes with ICP-MS [J]. Spectrosc Spectr Anal, 2016, 11(36): 3676–3682.
- [9] Correia FO, Silva DS, Costa SL, *et al.* Optimization of microwave digestion and inductively coupled plasma-based methods to characterize cassava, corn and wheat flours using chemometrics [J]. Microchem J, 2017, (135): 190–198.
- [10] 樊祥, 曹晨, 张润何, 等. 全自动微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定保健食品中 12 种常量、微量元素[J]. 分析实验室, 2018, 37(2): 157–162.
- Fan X, Cao C, Zhang RH, *et al.* Determination of 12 major and trace elements in health-care products with microwave assisted full-automatic sample digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Chin J Anal Lab, 2018, 37(2): 157–162.
- [11] Yin LL, Tian Q, Shao XZ, *et al.* Determination of trace elements in edible nuts in the beijing market by ICP-MS [J]. Biomed Environ Sci, 2015, 28(6): 449–454.
- [12] GB 5009.268-2016 食品安全国家标准 食品中多元素的测定[S].
- GB 5009.268-2016 National food safety standard-Determination of multielement in food [S].
- [13] 黄子敬, 陈孟君, 邓华阳, 等. 微波消解-ICP-MS 混合模式测定动物源食品中 11 种金属元素[J]. 分析实验室, 2017, 36(1): 24–28.
- Huang ZJ, Chen MJ, Deng HY, *et al.* Determination of 11 trace elements in animal and plant origin food by microwave digestion with ICP-MS in mixed mode [J]. Chin J Anal Lab, 2017, 36(1): 24–28.
- [14] 陈慧, 王雪婷, 夏梦, 等. ICP-MS 法同时测定进口饮料中 21 种无机元素[J]. 食品研究与开发, 2017, 38(6): 121–126.
- Chen H, Wang XT, Xia M, *et al.* Simultaneous determination of 21 inorganic elements in imported drinks by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Food Res Dev, 2017, 38(6): 121–126.
- [15] GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].
- GB 2762-2017 National food safety standard-Standard for maximum levels of contaminants in food [S].

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



杨 伟, 助理工程师, 主要研究方向为食品安全分析与检测。
E-mail: 1621776759@qq.com



毛永杨, 工程师, 主要研究方向为食品质量与安全检测。
E-mail: maoyongyang@163.com