

直接测汞仪测定食品中总汞

章锦涵¹, 蔡展帆¹, 周忆莲¹, 张佩霞¹, 王晶², 林辉焕¹, 梁旭霞^{1*}, 熊欣¹

(1. 广东省食品检验所, 广州 510435; 2. 广东省疾病预防控制中心, 广州 511430)

摘要: 目的 建立直接测汞仪测定食品中总汞的方法。**方法** 采用直接测汞仪测定食品中的总汞, 并对 FAPAS 07322 大豆粉样品采用直接测汞仪法、原子荧光光谱法、电感耦合等离子质谱法测定进行方法比对, 结合 FAPAS 07322 能力验证报告对直接测汞仪法进行评价。**结果** 直接测汞法在低浓度范围(0~20 ng)和高浓度范围(20~300 ng)的相关系数均能达到 0.999, 方法检出限为 0.07 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 精密度小于 8.0%, 回收率范围为 90.0%~103.5%。FAPAS 07322 测定结果为 323 $\mu\text{g}/\text{kg}$, Z 值为 0.0, 接近实验室比对中位值。**结论** 直接测汞仪测定食品中的总汞, 操作简便快捷, 结果准确, 适用于食品中总汞的分析。

关键词: 总汞; 直接测汞仪; 食品

Determination of total mercury in food by direct mercury analyzer

ZHANG Jin-Han¹, CAI Zhan-Fan¹, ZHOU Yi-Lian¹, ZHANG Pei-Xia¹, WANG Jing²,
LIN Hui-Huan¹, LIANG Xu-Xia^{1*}, XIONG Xin¹

(1. Guangdong Institute of Food Inspection, Guangzhou 510435, China; 2. Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangzhou 511430, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the determination of total mercury in food by using the direct mercury analyzer. **Methods** Total mercury in food was determined by direct mercury analyzer. FAPAS 07322 soybean powder samples were determined by direct mercury analyzer, atomic fluorescence spectrometry, inductively coupled plasma mass spectrometry for comparison, and the direct mercury analyzer was evaluated in combination with FAPAS 07322 capability verification report. **Results** The correlation coefficients of direct measurement method of mercury in low concentration range (0–20 ng) and high concentration range (20–300 ng) were both up to 0.999. The limit of detection of this method was 0.07 $\mu\text{g}/\text{kg}$, the precision was lower than 8.0%, and recoveries ranged from 90.0% to 103.5%. The result of FAPAS 07322 was 323 $\mu\text{g}/\text{kg}$, and the Z-score was 0.0, which was close to the median value in laboratory comparison. **Conclusion** Using direct mercury analyzer for total mercury analysis in food is a fast, accurate and easy-to-use method, which is suitable for the analysis of total mercury in food.

KEY WORDS: total mercury; direct mercury analyzer; food

基金项目: 广东省食品药品监督管理局科技创新项目(2018YDB12)、广东省科技计划项目(2019B020208008)

Fund: Supported by the Technological Innovation Project of Guangdong FDA (2018YDB12), and the Provincial Science and Technology Project of Guangdong (2019B020208008)

*通讯作者: 梁旭霞, 博士, 主任技师, 主要研究方向为化学污染物监测与风险评估。E-mail: liangxuxia@126.com

*Corresponding author: LIANG Xu-Xia, Ph.D., Chief Technician, Guangdong Institute of Food Inspection, No. 1103, Zengcha Road, Baiyun District, Guangzhou 510435, China. E-mail: liangxuxia@126.com

1 引言

汞是一种剧毒非必需元素,通过人为或自然的方式从地壳中被释放到环境中^[1],在生态系统内循环,但蓄积在人体内的汞不易排出,被认为是毒性最大的物质之一,同时世界卫生组织(World Health Organization, WHO)也将汞列为最需要关注的重金属^[2-4]。自然界的汞主要以元素汞、无机汞和有机汞 3 种基本状态存在,前两种形态主要损害肠黏膜与肾脏,导致神经功能缺损和其他损害,对人体的脏器造成不可逆的伤害,降低生育能力,而胎儿长期暴露在汞环境中会对其脑部发育有不良影响^[3,5-7],有机汞的毒性则更强。汞主要通过膳食暴露的途径进入人体^[8,9],食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)推荐的每周耐受摄入量为 4 $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{bw})$ (除鱼类和甲壳类)^[8],我国国家标准 GB 2762-2017《食品中污染物限量》对食品中的汞作出明确的限量要求^[11]。

目前国内汞的分析方法主要是依据 GB 5009.17-2014《食品中总汞及有机汞的测定》中规定的总汞测定方法,包括原子荧光光谱分析法(atomic fluorescence spectroscopy, AFS)、冷原子吸收光谱法(cold vapor atomic fluorescence spectrometry, CV-AFS)^[12], AFS 法使用时间久远,技术成熟,仪器成本较低,是现行测定汞应用最广泛的方法,但前处理操作繁琐,并伴有试剂污染^[13,14];随着电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)的发展和普及,ICP-MS 法已逐步被增加到食品安全标准中^[15],GB 5009.268-2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》中也将 ICP-MS 法作为汞的测定手段之一^[16],该方法灵敏度、准确度高,可实现多元素同时测定,但仪器成本高,耗气量大,应用普及程度不及原子荧光光谱法,且 ICP-MS 存在汞离子的记忆效应干扰,会造成测定结果偏低^[17]。

直接测汞法是利用直接进样器将样品带入仪器,然后干燥、分解,热分解产物被氧气流带入催化管催化除杂,所有汞氧化成氧化汞后被载气带到汞齐化器中进行金汞齐反应,随后齐化器瞬间加热,最后汞蒸气被释放到波长 253.7 nm 的原子吸收光谱计进行测定的方法。直接测汞法是近几年的研究热点,该方法可以直接测定食品等复杂基质样品中的汞,取样量少,灵敏度高,回收率高,安全快捷,方便环保,同时减少人为误差,大大提升分析效率^[18-20]。

英国全球实验室食品分析水平评估计划(Food Analysis Performance Assessment Scheme, FAPAS)通过统一发送均匀稳定的测试样品给各个实验室进行测试,根据实验室间结果的一致性来判断各实验室对于特定项目的检测能力^[21,22]。本研究建立直接测汞仪测定食品

中总汞含量的方法,测定 FAPAS 07322 大豆粉中总汞,与 AFS、ICP-MS 测定结果比对分析,结合 FAPAS 07322 能力验证结果报告,验证直接测汞法测定食品中总汞的准确性,以期提高总汞的定量测定能力和分析效率。

2 材料与方法

2.1 试剂与试样

2.1.1 实验试剂

汞标准溶液(浓度为 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 美国 Inorganic Ventures 公司);金标准溶液(浓度为 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 国家有色金属及电子材料分析测试中心);铋标准溶液(浓度为 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$, 美国 Inorganic Ventures 公司)。

硝酸(优级纯,上海安谱实验科技股份有限公司);盐酸(优级纯)、氢氧化钾、重铬酸钾(分析纯,广州化学试剂厂);硼氢化钾(分析纯,天津市大茂化学试剂厂);Milli-Q 超纯水(电导率为 0.55 $\mu\text{S}/\text{cm}$, 25 $^{\circ}\text{C}$)。

2.1.2 实验样品

大米粉标准物质(NIST1568b)、菠菜标准物质(NIST1570)、牡蛎粉标准物质(NIST1566b)(美国国家标准与技术研究院);紫菜成分分析标准物质(GBW10023)、牡蛎粉标准物质(NIST1566b)鸡肉成分分析标准物质(GBW10018)(地球物理地球化学勘查研究所)。

大米、淡水鱼、深水鱼(市场采购)。

能力认证样品为大豆粉(测试编号 07322)由 FAPAS 提供。

2.2 仪器与设备

AFS-8230 原子荧光光谱仪(以下简称 AFS-8230,北京吉天仪器有限公司);Agilent 7800 电感耦合等离子体质谱仪(以下简称 ICP-MS 7800,安捷伦科技有限公司);DMA-80 直接测汞仪(以下简称 DMA-80,意大利莱伯泰克有限公司);Multiwave PRO 微波消解仪(奥地利安东帕公司);LE104E 万分之一电子天平(瑞士 Mettler Toledo 公司);Milli-Q Advantage A10 型超纯水系统(德国 Merck 公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 标准溶液的制备

(1) 直接测汞法

吸取汞标准溶液 100 μL ,用固定液(0.5 g/mL 重铬酸钾-5%硝酸溶液)定容至 10 mL,得到浓度为 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 的中间储备液;用固定液将储备液稀释成标准系列工作液,得到当进样量为 100 μL 时汞含量分别为 0、1、3、5、10、15、20、25、30、40、50、100、200、300 ng 的标准系列溶液。

(2) AFS 法

吸取汞标准溶液 100 μL ,用 5%硝酸定容至 10 mL,得到浓度为 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 中间储备液;用 5% 硝酸将储备液稀释得到

浓度为 0.5、1.0、1.5、2.0、2.5、3.0 $\mu\text{g/L}$ 的标准系列溶液。

(3) ICP-MS 法

依次吸取汞标准溶液和金标准溶液各 100 μL , 用 5% 硝酸定容至 10 mL, 得到浓度为 10 $\mu\text{g/mL}$ 中间储备液; 用 5% 硝酸将储备液稀释得到浓度为 0.5、1.0、1.5、2.0、3.0、4.0 $\mu\text{g/L}$ 的标准系列溶液。

2.3.2 前处理

直接测汞法采用固体自动进样器直接进样, 无须进行样品前处理。

AFS 法和 ICP-MS 法对样品前处理方法如下: 称取 0.3~0.4 g 样品至于微波消解罐中, 加入 6 mL 硝酸, 加盖放置过夜; 旋紧罐盖, 放入微波消解仪进行消解, 消解设定参数见表 1。待消解罐冷却后缓慢打开, 置于 90 $^{\circ}\text{C}$ 下赶酸至棕色红烟消散, 用超纯水定容至刻度, 混匀, 准备上机。

2.3.3 实验前准备

(1) 直接测汞法

每次实验前将样品舟放入马弗炉中 800 $^{\circ}\text{C}$ 空烧 30 min 去除汞残留, 降低空白值, 保证其测定的吸光度小于 0.0010。

标准系列溶液和液态样品用石英舟量取 100.0 μL 、固态样品用镍样品舟称量 0.1 g, 将样品舟放置于自动进样器上, 仪器按照设定条件对样品进行检测, 整个验证实验过程自动化完成。直接测汞仪仪器参数条件如表 1 所示。

表 1 DMA-80 仪器工作条件
Table 1 Operating parameters of DMA-80

仪器参数	设定值
干燥温度/ $^{\circ}\text{C}$	200
干燥时间/s	60
分解温度/ $^{\circ}\text{C}$	650
分解时间/s	60
齐化温度/ $^{\circ}\text{C}$	850
齐化加热时间/s	12
载气流量/(mL/min)	100

(2) AFS 法和 ICP-MS 法仪器条件

根据原子荧光光谱仪 AFS-8230 的仪器要求, 配制载流(5% 盐酸)和还原剂(0.05% 硼氢化钾-0.5% 氢氧化钾)。AFS-8230 仪器条件如表 2 所示, ICP-MS 7800 仪器条件如表 3 所示。

3 结果与分析

3.1 标准曲线范围

将配制的直接测汞仪标准系列溶液按照 2.3.3 的仪器条件进行检测, 以各标准系列溶液中汞含量(ng)为横坐标,

以其对应的吸光度(A)为纵坐标, 分别绘制低含量和高含量标准曲线。低含量(0~20 ng)标准曲线方程为 $Y=0.00091409+0.05859861X-0.00097661X^2$, 相关系数 0.9998, 高含量(20~300 ng)标准曲线方程为 $Y=0.002475159+0.0008147464X$, 相关系数 0.9996。

表 2 AFS-8230 仪器工作条件
Table 2 Operating parameters of AFS-8230

仪器参数	设定值
光电倍增管负高压/V	270
灯电流/mA	30
载气流量/(mL/min)	300
屏蔽气流量/(mL/min)	800
原子化器高度/mm	8
注入量/mL	0.5
读数时间/s	20
延迟时间/s	0.5

表 3 ICP-MS 7800 仪器工作条件
Table 3 Operating parameters of ICP-MS 7800

仪器参数	设定值
RF 功率/W	1 550
雾化气体流量/(L/min)	1.02
辅助气体流量/(L/min)	0.90
等离子体气体流量/(L/min)	15.0
氦气流量/(mL/min)	5.0
分析元素	^{202}Hg
内标元素	^{209}Bi

3.2 检出限

以固定液为空白溶液, 对空白溶液进行 11 次连续测定, 按照 3 倍测定值标准偏差计算, 仪器检出限为 0.007 ng; 以称样量为 0.1 g 计, 该方法检出限为 0.07 $\mu\text{g/kg}$ 。

3.3 方法精密度

分别选取大米粉、菠菜、紫菜、鸡肉和牡蛎粉多个不同基质的质控样品进行测试, 每个样品平行测定 6 次, 计算其相对标准偏差(relative standard deviation, RSD), 多组实验数据精密度均小于 8.0%, 方法重现性良好(表 4)。质控样菠菜、牡蛎粉测定值偏低, 可能因直接测汞法取样量小, 称样过程造成损失。

3.4 准确度

选取大米、淡水鱼和深海鱼等常见食品作为测试对象, 添加 3 个不同浓度水平的汞标液进行添加回收率实

验,回收率实验结果如表 5 所示。综合质控样品测定结果及回收率实验结果考察本方法测定食品中总汞含量的准确性。质控样大米粉、紫菜和鸡肉测定值均在标准值范围内,回收率实验结果为 90.0%~103.5%,故直接测汞法测定食品中总汞的准确性良好。

3.5 FAPAS 07322 大豆粉的检测

采用直接测汞法、AFS 法和 ICP-MS 法对 FAPAS

07322 大豆粉样品进行测试,将 3 个方法结果进行比对。

3.5.1 方法对比结果

分别用直接测汞法、AFS 和 ICP-MS 对样品进行检测,每一方法分别进行 6 次平行测定,方法比对结果如表 6 所示。

3.5.2 加标回收实验

在样品中加入浓度为 1 $\mu\text{g/L}$ 的汞标准溶液,按 2.3.2 对样品进行前处理,回收率测定结果如表 7 所示。

表 4 质控样品测定结果
Table 4 Result of quality control samples

质控样品	标准值/ $(\mu\text{g/kg})$	测定值/ $(\mu\text{g/kg})$						平均值/ $(\mu\text{g/kg})$	RSD/%
		1	2	3	4	5	6		
大米粉 NIST1568b	5.91 \pm 0.36	5.7	5.6	5.6	5.6	6.0	5.5	5.7	3.1
菠菜 NIST1570	29.7 \pm 2.1	25.3	25.2	25.0	26.1	25.3	26.2	25.5	2.0
紫菜 GBW10023	16 \pm 4	16.2	16.3	16.4	15.3	15.7	15.9	16.0	2.6
鸡肉 GBW10018	3.6 \pm 1.5	3.7	3.9	3.3	3.2	3.4	3.3	3.5	7.9
牡蛎粉 NIST1566b	37.1 \pm 1.3	34.0	33.7	33.9	33.9	34.2	34.1	34.0	0.5

表 5 总汞的回收率实验结果
Table 5 Result of recovery of total mercury

样品	样品本底浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	样品加标浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	样品测定浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	回收率/%
大米	7.9	10	17.1	92.0
		20	28.6	103.5
		30	37.2	97.7
淡水鱼	2.0	2	3.8	90.0
		4	5.6	90.0
		6	7.7	95.0
深水鱼	66	30	93	90.0
		60	124	96.7
		90	150	93.3

表 6 3 种不同方法测总汞的结果比较
Table 6 Comparison of experimental results of 3 kinds of determinations of total mercury

方法	1/ $(\mu\text{g/kg})$	2/ $(\mu\text{g/kg})$	3/ $(\mu\text{g/kg})$	4/ $(\mu\text{g/kg})$	5/ $(\mu\text{g/kg})$	6/ $(\mu\text{g/kg})$	平均值	RSD/%
直接测汞仪	324	320	322	324	325	325	323	0.6
原子荧光光谱法	307	291	294	304	289	298	297	2.4
电感耦合等离子体质谱法	308	317	340	322	313	287	315	5.5

表 7 回收率实验结果
Table 7 Result of recovery experiment

方法	称样量/(g)	加标体积/ (μL)	样品本底浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	样品加标浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	样品测定浓度/ $(\mu\text{g/kg})$	回收率/%
直接测汞仪	0.1052	30	323	285.2	612.6	101.5
原子荧光光谱法	0.4055	125	297	308.3	616.7	103.7
电感耦合等离子体质谱法	0.4213	150	315	356.0	681.3	102.9

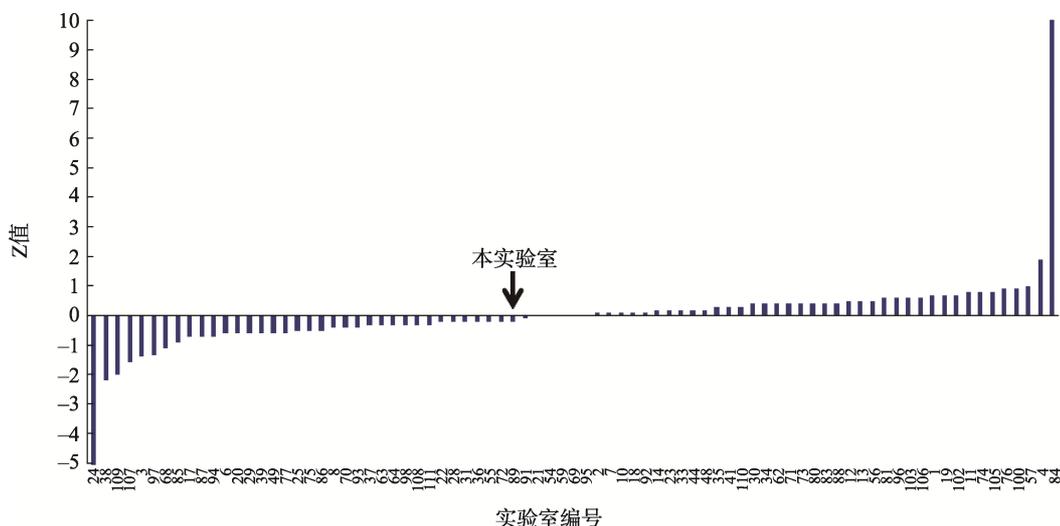


图 1 FAPAS 07322 中总汞的 Z 值分布柱状图

Fig. 1 Histogram of Z-score for mercury (total) in FAPAS 07322

3.5.3 FAPAS 能力认证 07322 总体情况

本次 FAPAS 能力认证 07322 大豆粉中的铝、总砷、镉、铅和总汞的测定项目总共有 111 家实验室参加, 其中总汞指标为“满意”的实验室 78 个; 总汞含量的指定值为 323 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

3.5.4 结果分析

结合 FAPAS 07322 能力验证结果报告对实验室测得的 3 组数据进行分析, 直接测汞法测得大豆粉中总汞含量为 323 $\mu\text{g}/\text{kg}$, Z 值为 0.0; 原子荧光光谱法测得大豆粉中总汞含量为 297 $\mu\text{g}/\text{kg}$, Z 值为 -0.4; 电感耦合等离子体质谱法测得大豆粉中总汞含量为 315 $\mu\text{g}/\text{kg}$, Z 值为 -0.2。

AFS 法和 ICP-MS 法测定总汞需要对样品进行处理, 样品在微波消解过程中加热、赶酸、转移等操作中容易造成汞的损失, 导致测定结果偏低; 直接测汞仪采用固体进样, 无须进行样品前处理操作, 可避免汞在前处理过程中的损失。

ICP-MS 法测定总汞存在记忆效应的干扰, 需要加入金溶液作为稳定剂, 结合生成金汞齐溶液减小汞的记忆效应干扰。但直接测汞仪实验过程中无需加入其他试剂, 测定全程自动化完成, 避免引入试剂污染。

4 结论

本研究通过直接测汞仪建立直接测定食品中总汞含量的方法, 结果表明在低含量范围(0~20 ng)和高含量范围(20~300 ng)相关系数均达到 0.999, 仪器检出限为 0.007 ng, 方法检出限为 0.07 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 测定样品的精密度均小于 8.0 %, 不同基体样品加标回收实验中回收率范围为 90.0%~103.5%。以 FAPAS 07322 大豆粉实验为例, 与原子荧光光谱法、电感耦合等离子体质谱法进行比较, 结合 FAPAS 能力认证结果统计报告, 3 种方法测定结果

均在满意范围, 但直接测汞仪测定结果(Z 值为 0)比其他两种方法测定结果更接近实验室比对中位值。该方法操作简便快捷, 结果准确, 成本较低, 适用于食品中总汞的分析。

参考文献

- [1] Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives (JECFA). Evaluation of certain food additives and contaminants. Seventy-second report of the Joint FAO/WHO expert committee on food additives [Z]. Geneva: WHO, 2011.
- [2] 刘学国, 刘果, 范香, 等. 汞元素高灵敏、低成本检测新方法的研究[J]. 南阳理工学院学报, 2018, 10(4): 98-104.
Liu XG, Liu G, Fan X, et al. High-sensitivity mercury detection method for low-cost detection [J]. J Nanyang Instiit Technol, 2018, 10(4): 98-104.
- [3] 李志强, 韩俊艳, 郭宇俊, 等. 汞毒性研究进展[J]. 畜牧与饲料科学, 2018, 39(12): 64-68
Li ZQ, Han JY, Guo YJ, et al. Research progress on mercury toxicity [J]. Anim Husband Feed Sci, 2018, 39(12): 64-68
- [4] 王博, 王慧, 刘思洁. 吉林省居民膳食汞暴露评估[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(12): 4908-4913.
Wang B, Wang H, Liu SJ. Assessment on dietary mercury exposure risk among residents in Jilin province [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(12): 4908-4913.
- [5] 常元勋. 金属毒理学[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2008
Chang YX. Metal toxicology [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2008.
- [6] Cloarec S, Deschênes G, Sagnier M, et al. Arterial hypertension due to mercury poisoning: diagnostic value of captopril [J]. Arch Depéd, 1995, 2(1): 72-77.
- [7] Jin HK, Su JL, Su YK, et al. Association of food consumption during pregnancy with mercury and lead levels in cord blood [J]. Sci Total Environ, 2016, 82(4): 118-124.
- [8] Houston MC. Role of mercury toxicity in hypertension, cardiovascular

- disease, and stroke [J]. *J Clin Hypert*, 2011, 13(8): 621–627.
- [9] Chan TYK. Inorganic mercury poisoning associated with skin-lightening cosmetic products [J]. *Clin Toxicol*, 2011, 49(10): 886–891.
- [10] FAO/WHO. Dietary exposure assessment of chemicals in foods, report of a joint FAO/WHO consultation [Z]. Maryland: FAO/WHO, 2005.
- [11] 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-Maximum levels of contaminants in foods [S].
- [12] GB 5009.17-2014 食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定[S].
GB 5009.17-2014 National food safety standard-Determination of total mercury and organic-mercury in foods [S].
- [13] 李建新, 李明华, 袁金华, 等. 测汞仪直接测定并评价鲫鱼组织中汞含量[J]. *中国卫生检验杂志*, 2013, 23(1): 70–72.
Li JX, Li MH, Yuan JH, *et al.* Determination and evaluation of mercury content in crucians tissue by direct mercury analyzer [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2013, 23(1): 70–72.
- [14] 叶海辉, 谢德芳, 谢轶, 等. 氢化物-原子荧光光谱法测定英国 FAPAS 鱼罐头中砷汞镉[J]. *安徽农业科学*, 2012, 40(28): 208–212.
Ye HH, Xie DF, Xie Yi, *et al.* Determination of As, Hg and Cd in FAPAS canned fish in UK by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2012, 40(28): 208–212.
- [15] 陈晓敏, 蔡展帆, 章锦涵, 等. 食品安全标准中电感耦合等离子体质谱技术在食品检验中的应用进展[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(12): 2887–2893.
Chen XM, Cai ZF, Zhang JH, *et al.* Application of ICP-MS technology applied to food inspection in food safety standards and processing [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(12): 2887–2893.
- [16] 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 standards for food safety-Determination of multiple elements in food [S].
- [17] Paul MC, Toia RF, von Nagy-Felsobuki EI. A novel method for the determination of mercury and selenium in shark tissue using high-resolution inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. *Spectrochim Acta B*, 2003, 58(9): 1687–1697.
- [18] 李思远, 黄光智, 丁晓雯. 食品中汞与甲基汞污染状况与检测技术研究进展[J]. *食品与发酵工业*, 2018, 44(12): 295–301.
Li SY, Huang GZ, Ding XW. Research progress on pollution and detection technology of mercury and methylmercury in food [J]. *Food Ferment Ind*, 2018, 44(12): 295–301.
- [19] 董娇, 岑琴, 张君. 直接测汞仪测定茶叶中的汞[J]. *食品安全导刊*, 2018, (12): 56–57.
Dong J, Cen Q, Zhang J. Direct mercury analyzer for the determination of mercury in tea [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2018, (12): 56–57.
- [20] 陈辉, 林明珠. DMA80 直接测汞仪测定螺旋藻粉中的总汞[J]. *现代预防医学*, 2007, 34(6): 1144–1144.
Chen H, Lin MZ. Determination of total mercury in spirulina powder by DMA 80 direct mercury analyzer [J]. *Mod Prev Med*, 2007, 34(6): 1144–1144.
- [21] 蔡展帆, 陈晓敏, 熊含鸿, 等. 巧克力中镉的定量测定能力验证结果与分析[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(12): 2941–2946.
Cai ZF, Chen XM, Xiong HH, *et al.* Proficiency testing results and analysis of determination of cadmium in chocolate [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(12): 2941–2946.
- [22] 王欣美, 李丽敏, 王柯, 等. ICP-MS法测定罐装鱼中5种元素含量的国际比对及其结果分析[J]. *质谱学报*, 2009, 30(4): 208–212.
Wang XM, Li LM, Wang K, *et al.* Determination of 5 kind of inorganic elements in canned fish by ICP-MS in international proficiency test and analysis of result [J]. *J Chin Mass Spectrom Soc*, 2009, 30(4): 208–212.

(责任编辑: 武英华)

作者简介

章锦涵, 助理工程师, 主要研究方向为食品质量与安全, 食品无机分析。
E-mail: 312419675@qq.com

梁旭霞, 博士, 主任技师, 主要研究方向为食品理化检验与食品安全。
E-mail: liangxuxia@126.com