

高盐食品中铅测定方法的研究进展

杨佳佳*, 孙海波, 杨彦丽, 林立

(国家食品质量安全监督检验中心, 北京 100094)

摘要: 目前, 高盐食品中铅的测定方法主要有原子吸收光谱法(包括石墨炉原子吸收法和火焰原子吸收光谱法)、原子荧光光谱法及双硫脲比色法。此外, 还有电感耦合等离子质谱法和电感耦合等离子体发射光谱法。电感耦合等离子体质谱法具有极高的灵敏度与较宽的线性范围, 并且不受高盐食品中氯化钠的干扰, 对高盐食品中铅的测定具有很强的优势。石墨炉原子吸收光谱法操作简便、灵敏度高, 但容易产生基体干扰, 主要表现为产生严重的背景吸收, 对测定结果造成很大的影响。国家标准方法测定高盐食品的铅含量, 通常需加入适当的基体改进剂并优化仪器条件, 才能得到准确的实验结果。本文综合概述了上述常用检测方法在高盐食品中铅含量的应用, 以期对相关研究提供参考。

关键词: 铅; 高盐食品; 原子吸收光谱法; 电感耦合等离子体发射光谱法; 原子荧光光谱法

Research progress on the determination methods of lead in high salt foods

YANG Jia-Jia*, SUN Hai-Bo, YANG Yan-Li, LIN Li

(National Food Safety Supervision and Inspection Center, Beijing 100094, China)

ABSTRACT: At present, the national standard methods for the determination of lead include atomic absorption spectrometry (including graphite furnace atomic absorption spectrometry and flame method), atomic fluorescence spectrometry and dithizone colorimetric method. In addition, there are inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and inductively coupled plasma atomic emission spectrometry (ICP-AES). ICP-MS has a very high sensitivity and wide linear range, and has a strong advantage to determine lead in high salt foods without interference of sodium chloride. Graphite furnace atomic absorption spectrometry is simple and easy, high sensitive, but prone to interference matrix with serious back ground absorption which results in big impact on the measured results. The national standard method for determination of the lead in high salt foods needs to add the appropriate matrix modifier and optimize the instrument conditions so as to get precise results. This paper summarized the applications of common methods for the determination of lead in high salt foods, in order to provide references for relevant researches.

KEY WORDS: lead; high salt food; atomic absorption spectrometry; inductively coupled plasma atomic emission spectrometry; atomic fluorescence spectroscopy

1 引言

铅是一种具有蓄积性的有害元素, 进入人体后通过

血液侵入大脑神经组织, 使营养物质和氧气供应不足, 造成脑组织损伤, 严重者可能导致终身残废^[1]。特别是儿童处于生长发育阶段, 比成年人对铅更敏感, 进入体内的铅

*通讯作者: 杨佳佳, 硕士, 中级工程师, 主要研究方向为食品安全分析测定。E-mail: yangjiajia2450@163.com

*Corresponding author: YANG Jia-Jia, Master, National Food Safety Supervision And Inspection Center, Beijing100094, China. E-mail: yangjiajia2450@163.com.

对神经系统有很强的亲和力,因此儿童对铅的吸收量比成年人高好几倍,受害尤为严重^[2]。铅可以通过呼吸道、消化道等多种途径进入人体,并在体内积蓄,超过一定程度便会对人体造成危害。随着近代工业的发展,铅向大气圈、水圈以及生物圈不断迁移,并通过食物链不断累积^[3]。鉴于铅的严重危害性,铅已被列为重要食品卫生指标。食品成分较为复杂,基体干扰因素来源较广,尤其是高盐类食品中铅的测定,高含量的氯化钠,在石墨炉原子吸收法测定过程中,表现为很大的吸收背景,在不添加改进剂的条件下,很难测定铅的准确含量。

目前,高盐食品中铅的测定方法主要有原子吸收光谱法(atomic absorption spectrometry, AAS)(包括石墨炉法和火焰法)^[4-8]、原子荧光光谱法^[5,9-12]及双硫脲比色法^[13]。此外,还有电感耦合等离子质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)^[14-17]和电感耦合等离子体发射光谱法(inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, ICP-AES)^[18,19]。ICP-MS 具有极高的灵敏度与较宽的线性范围,并且不受高盐食品中氯化钠的干扰,对高盐食品中铅的测定具有很强的优势。ICP-AES 可测定高含量的铅,由于其测定的灵敏度较低,在测定痕量铅含量方面有一定局限性。氢化物原子荧光光谱法是一种灵敏度高、操作简单快速的痕量分析方法,并且不受高盐的影响。

2 检测方法

2.1 石墨炉原子吸收光谱法

石墨炉原子吸收光谱法是根据物质产生的原子蒸气对特定波长光的吸收作用来进行定量分析的方法,具有取样量少、操作简便、灵敏度高的特点,一直作为食品中通用的测定方法。但由于食品成分复杂,在用石墨炉法测定铅的过程中,不可避免地产生基体干扰,特别是高盐类食品,如调味品、肉制品等,高含量的氯化钠,使得样品测定过程中背景吸收很高,对测定结果影响较大。石墨炉原子吸收光谱法测定铅时主要是光谱干扰和化学干扰。光谱干扰的抑制采用塞曼(Zeeman)效应背景校正法。化学元素干扰主要是样品溶液中被测元素与共存元素之间的化学反应引起的干扰,化学干扰的抑制主要采用加入基体改进剂的方法,常用的改进剂有硝酸钡、氯化钡、磷酸二氢铵、磷酸铵、硝酸镁、重铬酸钾、硝酸镍和抗坏血酸等。

氯化钠产生的背景干扰非常严重,超出了氘灯背景校正的范围。国家标准方法采用磷酸铵作为石墨炉法测定铅的基体改进剂,其灰化温度仅为 600 °C 左右,超过 600 °C,铅就会在灰化阶段损失。采用氯化钡和磷酸二氢铵作为基体改进剂,可将灰化温度提高到 1000 °C 左右。加入氯化钡的目的是钡可以和元素铅形成配体,从而提高铅的稳定性,磷酸二氢铵的加入可以使氯化钠转化为更易挥发

的组分,降低基体分解温度,使基体在干燥灰化阶段就已经挥发,从而降低基体对测定结果的干扰。测定高盐食品中铅的方法检出限可达 0.024 mg/kg,回收率在 94.0%~108%之间^[20]。周聪等^[21]曾使用硝酸作为基体改进剂,测定了海水中的铅和镉,得到了满意的实验结果。张家树等^[22]采用微波消解法处理食品样品,优化测定条件,使用磷酸二氢铵作为基体改进剂,用德国耶拿 ZEE nit700P 型原子吸收光谱法测定食品中的金属元素。该方法线性关系和重复性较好,铅相关系数 $r > 0.999$,检测限为 0.5 μg/L,回收率范围在 87%~103%之间。胡海蓉等^[23]比较了分别以 NH_4NO_3 、Vc、草酸和 $\text{La}(\text{NO}_3)_3$ 作为基体改进剂,对石墨炉原子吸收光谱法测定酱油中的铅含量,探讨了这 4 种基体改进剂的加入量、灰化温度、原子化温度及作用机制,实验表明,这几种改进剂均能有效消除食盐的基体干扰。邓泽英等^[24]在石墨炉原子吸收分光光谱法测酱油中的铅时采用 20 g/L 抗坏血酸为基体改进剂,明显降低了背景基体的干扰,可使背景电导值从 0.9716 降至 0.0332,且加标实验回收率达到 103.4%,大大提高了样品检测灵敏度。

此外,在样品中测定超痕量铅时,只采用加入基体改进剂并不能达到理想的实验效果,有些研究者通过有效的前处理方法将铅从高盐样品中分离出来,不仅能更好地去除高盐背景的干扰,还可以提高检测结果的准确性。戚承星等^[25]以二氧化锰吸附酱腌菜、甜面酱等样品处理液中的铅离子,通过过滤解析以火焰原子吸收法测定铅含量,方法准确可靠、简便易行。殷忠等^[26]提取酱油中低含量的铅,采用硝酸铋的共沉淀分离方法,富集后用火焰原子吸收法进行测定,方法的检出限可达 0.013 mg/kg,最低检出浓度为 0.045 mg/kg,结果和仲裁法一致。氢氧化镁也可用作沉淀剂,用来提取高盐食品中的铅^[27]。除去复溶沉淀物外,也可采用萃取的方式进行分离,样品进行消化处理后,铅与加入的吡咯烷二硫代氨基甲酸铵(APDC)形成金属络合物,可用甲基异丁基甲酮(MBIK)萃取,使铅络合物与水相分开,此法用于测定高盐分酱油中的铅,检出限可低至 0.010 mg/kg^[28]。固相萃取法是近年发展起来的新型前处理方法,可显著提高高盐食品中铅测定的灵敏度。王春来^[29]使用经活化后的 DigisEP-Blue 小柱,将铅吸附于基体中的盐分离,再应用石墨炉原子吸收法测定洗脱液中铅含量,方法的定量限可至 0.006 mg/kg。

2.2 电感耦合等离子质谱法

电感耦合等离子体质谱技术是将引入的带电气态离子按不同的质荷比(m/z)进行分离测定的技术,起源于 20 世纪 80 年代,是痕量元素分析的重要手段,该技术灵敏、准确、干扰少、动态范围宽、谱线简单、分析速度快。

在高盐基体的强背景信号下测定低浓度的铅元素是很困难的,高盐食品中铅的分析通常采用火焰原子吸收法、二硫脲比色法、示波极谱法及石墨炉原子吸收法等^[30-32],

但前3种方法存在灵敏度较差,易受基体影响或者样品需要复杂的分离富集处理等问题。石墨炉原子吸收法灵敏度较高,但由于受基体中大量盐类的干扰,背景较高,需要加入基体改进剂并优化升温程序才可实现分析,颇为耗时并且易造成较大的误差,在一定程度上影响了方法的可行性和准确性。相比较而言,电感耦合等离子体质谱法具有极高的灵敏度与较宽的线性范围。林立等^[33]采用电感耦合等离子体质谱法直接测定酱油样品中的痕量铅,样品无需前处理,可直接进行测定,在线内标法校准基体效应,方法简便、快速,回收率为94.2%~102%。

高盐食品中铅含量较低的情况下,可采用富集的方式进行测定。黄志勇等^[34]使用5-磺基-8-羟基喹啉作为微柱流动注射在线分离、富集和电感耦合等离子体质谱分析流程中的螯合剂,实现了用同位素稀释电感耦合等离子体质谱法测定海水中的痕量铅,海水的铅加标回收率分别为101%和97.9%,相对标准偏差为0.98%,检测限为0.204 μg/L。采用碰撞反应池电感技术的耦合等离子体质谱仪进行测定,通过引入8%氢气(H₂)/92%氦气(He)混合气的碰撞反应池技术去除等离子体干扰,屏蔽或防止碰撞室内金属氧化物的形成,降低干扰背景^[35]。由于电感耦合等离子质谱测定铅含量不受高盐体系的干扰,通过微波消解样品,优化ICP-MS的工作参数,即可满足常规检测需求。李爱阳等^[36]应用ICP-MS法测定了食盐中痕量铅镉铜铬,铅的方法检出限可达0.003 μg/L,回收率为93.33%~109.52%。

2.3 原子荧光光谱法

原子荧光光谱法(atomic fluorescence spectrometry, AFS)是介于原子发射光谱(atomic emission spectroscopy, AES)和原子吸收光谱(atomic absorption spectroscopy, AAS)之间的光谱分析技术,基本原理是基态原子(一般蒸汽状态)吸收合适的特定频率的辐射而被激发至高能态,而后激发过程中以光辐射的形式发射出特征波长的荧光。荧光分光光度法具有所用药剂较少、毒性较小、操作简便、灵敏度高、结果准确可靠及常见金属离子干扰小等特点,适用于高盐食品中铅含量的测定。

高盐食品的铅可采用铁氰化钾-草酸的体系用氢化物原子荧光法进行测定。氢化物法的特点是大量基体元素对氢化物测定没有干扰,且灵敏度高,因而样品不需经过萃取、富集、反萃等预处理,可直接测定,从而加快了分析速度。铁氰化钾直接溶解于硼氢化钾碱性溶液中,与盐酸作介质的分析溶液混合进行氢化反应发生铅烷,即氢化物发生-原子荧光法测定样品中的铅。赵祥梅等^[37]用1.5%硝酸介质溶解并加入草酸作为干扰抑制剂,以KBH₄-K₃Fe(CN)₆-KOH混合液作为载入剂体系,其中KBH₄和K₃Fe(CN)₆浓度为20 g/L, KOH浓度为1.4 g/L,用氢化物原子荧光光谱法测定食品中的痕量铅。最低检出浓度为0.001 mg/mL,5种食品的回收率为90%~101%。戴志

英等^[38]使用1.0%盐酸浓度的载流,20 g/L硼氢化钾、20 g/L铁氰化钾溶液和0.5%KOH的浓度作为还原剂,测定灵芝功能食品中铅的含量,最低检出浓度为0.0021 μg/g,方法的精密度和准确度及线性关系均比较理想,微波消解使样品消化具有快速、完全,且元素损失少、空白低等优点,大大提高了检测结果的准确性。

2.4 其他检测方法

双硫脲分光光度法^[39]中所使用的双硫脲、盐酸羟胺、柠檬酸铵、氰化钾的提纯是实验中的重要环节。即使试剂纯度是分析纯级以上,仍有必要进一步提纯,这使得实验过程变得十分繁琐。同时,氯仿、氰化钾的毒性较大,这些都影响了此法在实际应用中的优势地位。

电感耦合等离子体原子发射光谱法(inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, ICP-AES),是以电感耦合等离子炬为激发光源的光谱分析方法,具有准确度高、精密度高、测定快速、线性范围宽、可同时测定多种元素等优点,已广泛用于环境样品及岩石、矿物、金属等样品中数十种元素的测定^[40,41]。但是,由于原子发射光谱的较其他3种检测方法灵敏度较低,在食品中铅含量的检测应用较少。林淮雄^[42]应用微波消解ICP-AES法同时测定膨化食品中的铅、铝、砷,铅的仪器定量限在0.25 mg/L。为提高ICP-AES检测的灵敏度,应用巯基棉分离富集的前处理方法可测定高盐冶金废水中痕量铅镉铜银,方法快速简便、准确度高,能够满足冶金废水中痕量金属元素的检测需求^[43]。据研究报道^[44,45],Chelex-100树脂对铅、镉、钠有良好的吸附性能,同样可用于样品的铅与盐分的分离,提高检测的准确度和灵敏度。

电化学方法检测食品中的铅、镉、铜元素,因其是相对较经济和简便的方法而成为关注和研究的热点。微分电位溶出分析(DPSA)是在溶出伏安法基础上发展起来的一种新的电化学分析方法^[46],相对于其他电化学方法具有更高的灵敏度和分辨率,而且适用于多元素的同步快速检测。因各种金属溶出电位各不相同,所以该法不受高盐基体影响,可直接检测高盐食品甚至食盐中铅的含量。余明池等^[47]使用静态电位溶出标准连续加入法测定食盐中的铅,在食盐浓度为0.5%~1.0%之间,测得理想的实验结果。

3 结论

石墨炉原子吸收法是国家标准方法中用于测定食品中铅含量的第一法,取样量少、操作简便且灵敏度高,是应用最为广泛的方法,通过加入基体改进剂的方法,可满足高盐食品中铅的测定。原子荧光光谱法不受高盐含量的影响,通过优化仪器条件,可测定食品中低含量的铅。电感耦合等离子质谱法,具有高效灵敏快速高通量等特点,并且可同时测定几十种金属元素,在分析测定领域具有无法比

拟的优势。

参考文献

- [1] Wei J, Xiao C, Nan LU, *et al.* Extraction of polysaccharides from black soybean by enzyme hydrolysis method [J]. *Med Plant*, 2014, 5(2): 1-4.
- [2] 郑超一, 胡妙申. 在儿童生长发育中铅的危害与锌的作用[J]. *广东微量元素科学*, 2001, 8(10): 10-13.
Zheng CY, Hu MS. The Harm of lead and the role of zinc in children's growth and development [J]. *Guangdong Trace Elements Sci*, 2001, 8(10): 10-13.
- [3] 刘艳菊, 赵慧君, 罗双丽, 等. 铅的危害及排除初探[J]. *中国西部科技*, 2011, 10(18): 16-17.
Liu YJ, Zhao HJ, Luo SL, *et al.* The harm of lead and the eliminate method [J]. *Sci Technol West China*, 2011, 10(18): 16-17.
- [4] 胡曙光, 苏祖俭, 蔡文华, 等. 石墨炉原子吸收法测定高盐食品中的铅及其干扰消除的研究[J]. *中国食品卫生杂志*, 2005, 27(4): 394-398.
Hu SG, Su ZJ, Cai WH, *et al.* The determination of lead and interference elimination in high salty food by GFAAS [J]. *Chin J Food Hyg*, 2005, 27(4): 394-398.
- [5] 张曦. 氢化物原子荧光法与石墨炉原子吸收法测定肉制品中微量铅[J]. *肉类研究*, 2014, 28(3): 14-17.
Zhang X. Determination of trace lead in meat products by HG-AFS in comparison with GFAAS [J]. *Meat Res*, 2014, 28(3): 14-17.
- [6] 吕国良. 铋盐共沉淀分离富集火焰原子吸收法测定酱油中的微量铅[J]. *化学分析计量*, 2008, 17(3): 60-61.
Lv GL. Coprecipitation separation and preconcentration with bismuth for trace lead in soy sauce and determination of lead by flame atomic absorption spectrometry [J]. *Chem Anal Meas*, 2008, 17(3): 60-61.
- [7] 张萍. 邻近非共振线背景校正-火焰原子吸收法测定酱油中的铅[J]. *化学分析计量*, 2006, 15(4): 66-67.
Zhang P. Neighbouring non-resonance line background correction-flame atomic absorption spectrometric determination of lead in soy sauce [J]. *Chem Anal Meterage*, 2006, 15(4): 66-67.
- [8] Muhammad UH, Abdul W, Shafaqat A. Determination of lead(Pb), iron(Fe) and manganese(Mn) concentration in sewage water and vegetable leaf samples [J]. *J Microbiol, Biotechnol Food Sci*, 2015, 4(5): 387-392.
- [9] 王莉坤. 氢化物发生-原子荧光光谱法测定酱油中的铅[J]. *光谱实验室*, 2007, 24(3): 507-509.
Wang LK. Determination of lead in soy by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. *Chin J Spectrosc Lab*, 2007, 24(3): 507-509.
- [10] 程祥圣, 杨颖, 秦晓光, 等. 流动注射-氢化物原子荧光光谱法直接测定海水中的铅. *光谱实验室*, 2005, 22(6): 1245-1248.
Cheng XS, Yang Y, Qin XG, *et al.* Direct determination of trace lead in seawater samples by flowinjection-hydride generation atomic fluorescence spectrometry [J]. *Chin J Spectrosc Lab*, 2005, 22(6): 1245-1248.
- [11] 张克梅, 袁明珠. 氢化物发生-原子荧光光谱法测定高盐食品中铅[J]. *安徽预防医学杂志*, 2005, 21(3): 157-160.
Zhang KM, Yuan MZ. Determination of lead in high salt foods by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. *Chin J Anhui Prev med*, 2005, 21(3): 157-160.
- [12] 刘加成, 赵爱云. 氢化物-原子荧光法测定泡菜中的铅[J]. *现代科学仪器*, 2004, 3: 31-33.
Liu JC, Zhao AY. Determination of plumbum in pickled vegetables by hydride-atomic fluorescence spectrometry [J]. *Mod Sci Instrum*, 2004, 3: 31-33.
- [13] 郑典元, 王春景, 周雯, 等. 人工养殖海产品鲜样中铅的荧光分光光度测定法[J]. *环境与健康杂志*, 2008, 25(5): 433-435.
Heng DY, Wang CJ, Zhou W, *et al.* Determination of trace lead in fresh marine products by fluorescence spectrophotometry [J]. *Chin J Environ Health*, 2008, 25(5): 433-435.
- [14] 戴琪, 吴艳燕, 张伟, 等. 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定动植物源食品中有害元素铅、砷、镉、汞、铜的含量[J]. *食品科技*, 2009, 34(12): 315-317.
Dai Q, Wu YY, Zhang W, *et al.* Determination of harmful elements Pb, As, Cd, Hg, Cu in animal and plant origin food by inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. *Food Sci Technol*, 2009, 34(12): 315-317.
- [15] 刘海霞, 马小宁. 电感耦合等离子体质谱法同时测定食品中的铅、镉和总砷[J]. *化学分析计量*, 2014, 23(4): 31-33.
Liu HX, Ma XN. Simultaneous determination of Pb, Cd and total as in foods by inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. *Chem Anal Meterage*, 2014, 23(4): 31-33.
- [16] 李敏, 连晓文, 姚敬, 等. 电感耦合等离子体-质谱法测定酱油中12种金属[J]. *中国食品卫生杂志*, 2014, 26(4): 344-347.
Li M, Lian XW, Yao J, *et al.* Determination method of 12 metals in soy sauce by ICP-MS [J]. *Chin J Food Hyg*, 2014, 26(4): 344-347.
- [17] 张喜琦, 王骏, 陈晓媛, 等. 离子体质谱法测定高钠食品中微量铅的应用研究[J]. *中国调味品*, 2013, 38(7): 93-95.
Zhang XQ, Wang J, Chen XY, *et al.* Study on the determination of trace lead in high sodium food by plasma-mass spectrometry [J]. *China Condiment*, 2013, 38(7): 93-95.
- [18] 向德磊. ICP-AES法测定银锭中铋铁铅铜锡[J]. *冶金分析*, 2004, 24(1): 37-38.
Xiang DL. Determination of Bi, Fe, Pb, Cu, and Sb in silver ingots by ICP-AES [J]. *Met Anal*, 2004, 24(1): 37-38.
- [19] 吕水源, 李小晶, 刘伟, 等. ICP-AES法同时测定陶瓷制品铅、镉、铬、钴的溶出量[J]. *光谱学与光谱分析*, 2004, 24(9): 1124-1126.
Lu SY, Li XJ, Liu W, *et al.* Simultaneous Determination of Pb, Cd, Cr and Co released from ceramic ware by ICP-AES [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2004, 24(9): 1124-1126.
- [20] 姜杰, 林凯, 张慧敏, 等. 高盐食品中铅的石墨炉原子吸收光谱测定法[J]. *职业与健康*, 2012, 28(2): 187-189.
Jiang J, Lin K, Zhang HM, *et al.* Determination of lead in high salty food by GFAAS [J]. *Occup Health*, 2012, 28(2): 187-189.
- [21] 周聪. 硝酸作基体改进剂塞曼石墨炉原子吸收法测定海水中的铅和镉[J]. *光谱学与光谱分析*, 1996, 16(4): 68-71.
Zhou C. Determination of Pb and Cd in seawater by GFAAS with HNO₃ as a matrix modifier [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 1996, 16(4): 68-71.
- [22] 张家树, 刘卫, 张大芬. 微波消解-石墨炉原子吸收光谱法测定猪肝及海产品中的铅镉[J]. *中国卫生检验杂志*, 2012, 22(6): 1286-1290.
Zhang JS, Liu W, Zhang DF. Determination of lead and cadmium in the liver and seafood by microwave digestion graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2012, 22(6): 1286-1290.
- [23] 胡海蓉. 基体改进剂在GFAAS法测定酱油铅含量中的应用研究[J]. *中国调味品*, 2009, 34(11): 102-104.

- Hu HR. Study of matrix modifiers for determination of lead content in soy sauce in GFAAS [J]. *China Condiment*, 2009, 34(11): 102–104.
- [24] 邓泽英, 李强, 李京晶, 等. 高钠盐基体食品铅含量的综合测定[J]. *中国调味品*, 2009, 34(11): 91–93.
- Deng ZY, Li Q, Li JJ, *et al.* Synthetical determination of lead in high salinity matrix food [J]. *China Condiment*, 2009, 34(11): 91–93.
- [25] 戚承星, 陈昌兰, 丁慧敏. 二氧化锰吸附分离-火焰原子吸收光谱法测定高盐食品铅含量的方法探讨[J]. *预防医学论坛*, 2007, 13(4): 340–341.
- Qi CX, Chen CL, Ding HM. Determination of lead in high salt food with fractionation by adsorption of manganese dioxide-flame atomic absorption spectrometry [J]. *Prev Med Tribune*, 2007, 13(4): 340–341.
- [26] 殷忠, 黄培林, 李雪春. 用硝酸铋共沉淀分离富集的火焰原子吸收法测定酱油中微量铅的方法研究[J]. *现代预防医学*, 2007, 34(1): 117–119.
- Yin Z, Huang PL, Li XC. Coprecipitation separation and preconcentration with bismuth nitrate for trace lead in soy sauce and determination of lead by flame atomic absorption spectrometry [J]. *Mod Prev Med*, 2007, 34(1): 117–119.
- [27] 王会存, 施良, 叶晓东. 共沉淀-石墨炉原子吸收光谱法测定高盐食品中的铅和镉[J]. *中国卫生检疫杂志*, 2008, 18(4): 645–646.
- Wang HC, Shi L, Ye XD. Determination of lead and cadmium in high salty food by coprecipitation-GFAAS [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2008, 18(4): 645–646.
- [28] 李晓红, 丁琳, 徐榕蔓, 等. 溶剂萃取-石墨炉原子吸收光谱法测定高盐分酱油中铅[J]. *西北农业学报*, 2009, 18(1): 255–257.
- Li XH, Ding L, Xu RM, *et al.* Determination of lead in the high-salt soy sauce by solvent-extraction graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. *Acta Agric Boreali-occidentalis Sin*, 2009, 18(1): 255–257.
- [29] 王春来. 固相萃取-石墨炉原子吸收光谱法测定高盐食品中的铅[J]. *中国卫生检验杂志*, 2015, 25(23): 4010–4012.
- Wang CL. Determination of lead in high salt food by solid phase extraction and graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2015, 25(23): 4010–4012.
- [30] 孙大海, 王小如, 黄本立. 原子光谱分析中的样品处理[J]. *分析仪器*, 1999, (2): 54–57.
- Sun D, Wang X, Huang BL. Sample preparation in atomic spectroscopy [J]. *Anal Instrum*, 1999, (2): 54–57.
- [31] GB 5009.12-2010 食品中铅的测定[S].
- GB 5009.12-2010 Determination of Lead in food [S].
- [32] 韩尚桂. 原子吸收法测定铅的方法改进研究[J]. *中国卫生检验杂志*, 1994, (增刊): 203.
- Han SG. Improvement of determination of lead by atomic absorption method [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 1994, (Suppl): 203.
- [33] 林立, 陈玉红, 田艳玲, 等. 电感耦合等离子体质谱法直接测定酱油中的铅[J]. *环境化学*, 2007, 26(3): 410–412.
- Lin L, Chen YH, Tian YL, *et al.* Direct determination of lead in soybean sauce by using inductively coupled plasma mass spectrometry(ICP-MS) [J]. *Environ Chem*, 2007, 26(3): 410–412.
- [34] 黄志勇, 陈发荣, 沈金灿, 等. 用同位素稀释电感耦合等离子体质谱法测定海水中的痕量铅[J]. *质谱学报*, 2003, 24(2): 337–343.
- Huang ZY, Chen FR, Shen JC, *et al.* Determination of trace lead in seawater by isotope dilution by inductively coupled plasma mass spectrometry(ICP-MS) [J]. *J Chin Mass Spectr Soc*, 2003, 24(2): 337–343.
- [35] 殷忠, 周彬, 汪思顺. 微波消解-碰撞反应池技术电感耦合等离子体质谱法测定食品中的铅[J]. *现代预防医学*, 2013, 40(13): 2498–2501.
- Yin Z, Zhou B, Wang SS. Determination of lead in foods by inductively coupled plasma mass spectrometry based on collided reaction cell technology after microwave digestion [J]. *Mod Prev Med*, 2013, 40(13): 2498–2501.
- [36] 李爱阳, 贺惠, 李立波, 等. ICP-MS法测定食盐中痕量铅、镉、砷、锶的研究[J]. *中国井矿盐*, 2003, 34(6): 43–45.
- Li AY, He H, Li LB, *et al.* Determination of trace lead, cadmium, arsenic, chromium in salt by ICP-MS [J]. *China Well Rock Salt*, 2003, 34(6): 43–45.
- [37] 赵祥梅, 卢任远, 姚强, 等. 硝酸介质-氢化物原子荧光光谱法测定食品中的铅[J]. *中国卫生检验杂志*, 2014, 24(24): 3521–3524.
- Zhao XM, Lu RY, Yao Q, *et al.* Determination of lead in food by nitric acid medium-atomic fluorescence spectrometry [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2014, 24(24): 3521–3524.
- [38] 戴志英, 郑惠华. 氢化物发生-原子荧光光谱法测定灵芝功能食品中的铅[J]. *中国卫生检验杂志*, 2009, 19(7): 1503–1505.
- Dai ZY, Zheng HH. Determination of lead in ganoder malucidum functional foods by atomic fluorescence spectrometry [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2009, 19(7): 1503–1505.
- [39] 金淑兰. 空气中铅的双硫脲水相增溶分光光度测定法[J]. *环境与健康杂志*, 2007, 24(7): 538–540.
- Jin SL. Airlsolubility of lead in water with dithizone spectrophotometry [J]. *J Environ Health*, 2007, 24(7): 538–540.
- [40] 石晓丽, 王荣. ICP-AES 测定软钎料中杂质铅和铁[J]. *现代科学仪器*, 2006, 4: 90–91.
- Shi XL, Wang R. Determination of impurity lead and iron in soft solder by ICP-AES [J]. *Mod Sci Instrum*, 2006, 4: 90–91.
- [41] 刘磊, 刘毅, 李红梅. ICP-AES 法同时测定食品玻璃容铅、镉、砷、锶的溶出量[J]. *食品科学*, 2008, 29(2): 353–354.
- Liu L, Liu Y, Li HM. Simultaneous determination of lead cadmium arsenic and antimony released from glass contains by ICP-AES [J]. *Food Sci*, 2008, 29(2): 353–354.
- [42] 淮雄, 詹铁成, 杨绍丰. 微波消解-ICP-AES 法同时测定膨化食品中的铅、铝、砷[J]. *食品工业*, 2012, 33(8): 158–161.
- Lin HX, Zhan TC, Yang SF. Simultaneous determination of lead, aluminum, arsenic in puffed food using microwave digestion and inductively coupled plasma atomic emission spectroscopy [J]. *Food Ind*, 2012, 33(8): 158–161.
- [43] 张宁, 郭秀平, 李星, 等. 巯基棉分离富集 ICP-AES 法测定高盐冶金废水中痕量铅镉铜银[J]. *岩矿测试*, 2014, 33(4): 551–555.
- Zhang N, Guo XP, L X, *et al.* Determination of trace amounts of Pb, Cd, Cu and Ag in high salinity water by ICP-AES with sulfhydryl cotton separation and preconcentration [J]. *Rock Mineral Anal*, 2014, 33(4): 551–555.
- [44] 何健, 冯民, 朱臻怡, 等. Chelex-100 树脂对铅、镉、钠的吸附性能及其应用于原子吸收光谱法测定高盐食品中铅、镉含量[J]. *理化检验-化学分册*, 2013, 49: 170–173.

He J, Feng M, Zhu ZY, *et al.* Adsorbility of lead cadmium and sodium on the chelating resin, chelex-100 and its application to AAS determination of lead, cadmium in high-salt food [J]. *Phys Testing Chem Anal (Chem Anal)*, 2013, 49: 170–173.

- [45] Chelex-100 螯合树脂分离 ICP-AES 测定高盐食品中微量铅镉 [EB/OL]. (2013-07-03).<http://www.doc88.com/p-3055973817233.html>. . Chelex-100 chelating resin separation and ICP-AES Determination of trace lead and cadmium in high-salt food [EB/OL]. (2013-07-03).<http://www.doc88.com/p-3055973817233.html>.
- [46] 谢尤勤. 电位溶出分析法评述[J]. *分析测试通报*, 1988, 5(3): 3–8.
- Xie YQ. Review of potentiometric stripping analysis [J]. *Anal Testing Communic*, 1988, 5(3): 3–8.
- [47] 余明池, 胡恩航. 静态电位溶出标准连续加入法测定食盐中的铅[J]. *中国卫生检验*, 2008, 18(1): 174–175.

Yu MC, Hu EH. Static potentiometric standard addition method in a row for the determination of lead in table salt [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2008, 18(1): 174–175.

(责任编辑: 姚菲)

作者简介



杨佳佳, 硕士, 食品中级工程师, 主要研究方向为食品安全分析测定。
E-mail: yangjiajia2450@163.com

“食品贮藏与保鲜研究与应用进展”专题征稿函

随着人们生活水平的提升, 消费者对食品的质量与安全性的要求也越来越高, 今天的消费者不仅要求食品新鲜, 而且要求食品保持原有的天然风味和营养结构, 因此如何再延长食品贮藏期的同时, 保持食品原有风味营养, 已成为人们研究的重点。

鉴于此, 本刊特别策划了“食品贮藏与保鲜研究与应用进展”专题, 由《食品安全质量检测学报》副主编、渤海大学食品科学研究院果蔬贮藏与加工研究所所长 冯叙桥 教授 担任专题主编, 主要围绕食品贮藏保鲜工艺研究、食品贮藏保鲜新技术进展(如栅栏技术、生物酶技术、可食性包装膜、超高压等)、食品贮藏保鲜机制分析等或您认为本领域有意义的问题进行论述, 计划在 2016 年 6 月份出版。

本刊编辑部和 冯叙桥 教授 欢迎各位专家为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。综述、实验报告、研究论文均可, 请在 2016 年 5 月 15 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。

投稿方式:

网站: www.chinafoodj.com

E-mail: jfoodsqa@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部