

海蜇中铝测定前处理方法及检测方法比较

白艳艳^{1,2}, 谷伟丽³, 马元庆^{1,2}, 孙珊^{1,2}, 魏潇¹, 张秀珍^{1,2*}

(1. 山东省海洋资源与环境研究院, 烟台 264006; 2. 山东省海洋生态修复重点实验室, 烟台 264006;
3. 烟台山水海产有限公司, 烟台 264006)

摘要: **目的** 采用4种不同的前处理方法结合2种不同检测方法对海蜇产品中铝含量进行测定, 探索简易、精密度高、准确度高、适用性强的检测方法。 **方法** 取鲜海蜇、盐渍海蜇、即食海蜇样品, 采用水煮消解、酸煮消解、微波消解、电热板消解4种不同前处理方法结合滴定和ICP-MS2种方法测定海蜇产品中铝, 同时做精密度及回收率试验。 **结果** 酸煮消解、微波消解及电热板消解3种前处理方法检测结果经统计学检验无显著性差异($P>0.01$), 三种前处理方法的RSD% $<2\%$, 回收率在101.2%~105.4%; 水煮消解法测定铝含量低, 与其他方法有显著性差异($P<0.01$); 酸煮消解-ICP-MS法回收率低, 只有78.7%。 **结论** 水煮消解法提取率低, 不适用于海蜇产品中铝提取; 酸煮滴定法检测成本低、有较高精密度及准确度, 可被企业及检测机构用于海蜇中铝的测定; 电热板消解-滴定法亦取得满意效果, 样品量较大时可考虑代替酸煮滴定法用于企业检测; 微波消解-ICP-MS测定法操作方便、灵敏度高、回收率高, 适用于检测条件较好的研究机构。

关键词: 海蜇; 铝; 前处理; 测定方法

Comparison of different preparation and determination methods of aluminum in jellyfish products

BAI Yan-Yan^{1,2}, GU Wei-Li³, MA Yuan-Qing^{1,2}, SUN Shan^{1,2}, WEI Xiao¹, ZHANG Xiu-Zhen^{1,2*}

(1. Marine Resources and Environment Research Institute of Shandong Province, Yantai 264006, China;
2. Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology, Yantai 264006, China;
3. Yantai Shanshui Seafood Co. Ltd, Yantai 264006, China)

ABSTRACT: Objective Four different pre-treatment methods combined with two different detection methods was established to determinate the aluminum content in jellyfish products to explore simple, precise, accuracy, strongly applicable detection method. **Methods** Fresh jellyfish, salted jellyfish and instant jellyfish samples were prepared by boiled digestion, acid digestion, microwave digestion and electric-heating-plate digestion respectively, and then aluminum content of each sample was determined using titration and ICP-MS methods, respectively. The precision and recoveries were measured simultaneously. **Results** There were no significant difference among 3 preparation approaches including acid digestion, microwave digestion and electric-heating-plate digestion with paired *t*-test ($P>0.01$). The recoveries were in the range of 101.2%~105.4% with RSD $<2\%$. Significant difference was found between boiled digestion and the other

基金项目: 农业部海蜇铝产品铝安全性应急调查项目

Fund: Supported by Ministry of Agriculture about Jellyfish Aluminum Safety Emergency Investigation

*通讯作者: 张秀珍, 研究员, 主要研究方向为水产品质量安全检测与标准化。E-mail: zxz0535501@126.com

*Corresponding author: ZHANG Xiu-Zhen, Professor, Marine Resources and Environment Research Institute of Shandong Province, No.216, Changjiang Road, Yantai 264006, China. E-mail: zxz0535501@126.com

methods ($P < 0.01$), and the recovery ratio was only 78.7% for acid digestion-ICP-MS method. **Conclusion** Boiled digestion was not suitable for pretreatment of aluminum in jellyfish products with low extraction rate. Acid titration method could be used for the determination of jellyfish aluminum by enterprises and inspection agencies, with low costs, high precision and accuracy. Electric-heating-plate digestion plus titration method could be applied with satisfactory precision and accuracy to replace acid titration detection by the enterprises in case of a large quantity of samples. Microwave digestion plus ICP-MS method was suitable for research institutes of high standard facilities, because of its convenient operation, high sensitivity, and high recovery ratio.

KEY WORDS: jellyfish products; aluminum; preparation; determination method

1 引言

近年来,关于铝对人体产生危害的研究不断加深,食品中铝含量也越来越受到人们的关注^[1-7]。研究表明,铝具有神经毒性^[4]和生殖毒性^[5-7],其对人体产生的毒性作用是缓慢、不易被察觉的,然而造成的后果却是严重、不可恢复的^[2]。为此 WHO 于 1989 年正式将铝确定为食品污染物加以控制^[8]。除药源性铝之外,人体中铝的主要来源是食物性铝和铝制炊具溶出的铝。含铝食品添加剂是食品中铝的主要来源之一,我国生产和使用的含铝食品添加剂主要是明矾(十二水合硫酸铝钾)^[7]。海蜇在生产过程中必须使用明矾脱水及脱毒性粘蛋白,在一定程度上增加了产品的品质,但同时也引入了铝的残留问题。我国的海蜇产品普遍存在铝含量高,面临不合格下架的困境,生产企业苦不堪言,因此探索合适的检测方法及判定标准等工作尤为迫切。

国内外关于食品中铝的测定方法有着大量研究^[8-20],目前国内测定海蜇中的铝的方法有 GB/T 23374-2009《食品中铝的测定 电感耦合等离子体质谱法》^[10]、铬天青 S 分光光度法^[12]、原子吸收分光光度法等^[13], SC/T 3210-2001《盐渍海蜇皮和盐渍海蜇头》中测定明矾含量的水煮滴定法^[9]、酸煮滴定法^[11]。岑剑伟对水煮滴定法、酸煮滴定法、原子吸收光谱法及分光光度法四种方法进行了初步比较^[14],并提出水煮滴定法不能够很好地提取海蜇中的铝^[11]。本文拟在此研究基础之上采用水煮消解、酸煮消解、微波消解、电热板消解四种不同前处理方法结合滴定和 ICP-MS 等对海蜇产品中铝进行测定,探讨测定结果的差异以及方法的适用性,以期为企业检测部门及生产企业建立灵敏度高、精密度高、适用性强的检测方法。

2 材料与方 法

2.1 仪器与试剂

捣碎机、DL-1 型万用电炉(上海乔跃电子有限公司);微量酸式滴定管(最小分度值为 0.01 mL,天津市天玻玻璃仪器有限公司);MARS 微波消解仪(美国 CEM 公司);EH35B 型电热板(LabTech 公司);ICP-MS 7500ce 型电感耦合等离子体质谱仪(安捷伦公司)。

优级纯硝酸(天津市科密欧化学试剂有限公司);0.6 mol/L 高氯酸溶液(天津市科密欧化学试剂有限公司);0.03 mol/L EDTA 溶液(天津市红岩化学试剂厂);1:1 氨水溶液(国药集团化学试剂有限公司);1:1 盐酸溶液(天津市科密欧化学试剂有限公司);乙酸钠缓冲溶液(天津市光复科技发展有限公司);冰乙酸(天津市瑞金特化学品有限公司);六次甲基四胺缓冲溶液(国药集团化学试剂有限公司);0.5%二甲酚橙指示剂(成都市科龙化工试剂厂);铝元素溶液标准物质(GBW(E)080219 中国计量科学研究院,100 $\mu\text{g}/\text{mL}$);锌标准溶液(GBW08620 中国计量科学研究院,1000 \pm 1 $\mu\text{g}/\text{mL}$)。实验用水均为 milli-Q 高纯水。

2.2 方 法

2.2.1 样品前处理方法

水煮消解,参考水产行业标准 SC/T 3210-2001《盐渍海蜇皮和盐渍海蜇头》^[9]。称取 20 g 混匀捣碎的样品,放入烧杯内加水煮沸,过滤于 500 mL 容量瓶中,冷却至室温后,用水稀释至刻度。

酸煮消解,参考岑剑伟等提出的酸煮滴定法测定海蜇产品中的明矾的操作方法^[11]。用 0.6 mol/L 高氯酸代替水煮沸样品 6 min。

微波消解,经反复实验确定 CEM MARS 微波消解仪程序条件为:室温~120 $^{\circ}\text{C}$,升温时间 5 min,恒定 120 $^{\circ}\text{C}$,保持 5 min;120~160 $^{\circ}\text{C}$,升温 5 min,恒定

160 ℃, 保持 5 min; 160~180 ℃, 升温 10 min, 恒定 180 ℃, 保持 5 min。称取样品 2~5 g(精确至 0.0001 g)于消解罐中, 加入 10 mL 硝酸, 按照微波消解仪操作步骤消解, 消解完成之后将消解罐放在控温电热板上于 140~160 ℃赶酸, 待冷却后将消解液转移至 50 mL 比色管中, 用高纯水洗涤消解罐 3 次, 合并于比色管中定容, 待测定; 同时做试剂空白试验。

电热板消解, LabTech EH35B 型电热板仪器条件为: 室温~120 ℃, 恒定 120 ℃, 保持 5 min; 升温至 180 ℃, 恒定 180 ℃, 保持 2 h, 再升温至 220 ℃。称取样品 2~5 g(精确至 0.0001 g)于消化管中, 加入 10 mL 硝酸, 在控温电热消解器上加热消解, 若变棕褐色, 再加硝酸, 消解至冒白烟, 消解液呈无色透明或者略带黄色, 加 10 mL 高纯水蒸发至冒白烟, 取出冷却, 转移至 50 mL 比色管中, 用高纯水洗涤消解罐 3 次, 合并于比色管中定容, 待测定; 同时做试剂空白试验。

2.2.2 样品检测方法

滴定法, 采用上述四种消解液, 按照水产行业标准 SC/T 3210-2001《盐渍海蜇皮和盐渍海蜇头》^[9]中 EDTA 滴定方法进行操作。

ICP-MS 测定法, 经反复摸索优化, 安捷伦 ICP-MS 7500ce 型电感耦合等离子体质谱仪最佳工作条件见表 1。亦采用上述四种消解液, 用 2%硝酸溶液配制铝浓度为 0、10.0、20.0、40.0、80.0、120.0

μg/L 的标准系列。

2.3 评价方法

2.3.1 精密度计算

使用不同前处理及检测方法测定盐渍海蜇中铝的含量, 通过计算各变异系数来评价其方法的精密度。

2.3.2 回收率试验

向盐渍海蜇样品中加入铝标准溶液使得加标量分别为 100、200、300、400、500 mg/kg, 测定回收率, 比较不同方法结果的差异性。

2.3.3 数据统计方法

所得数据采用 ANOVA 和 Duncan 氏多重比较分析法进行统计分析, 显著性水平设置为 $P < 0.01$ 。

3 结果与分析

3.1 不同前处理方法处理的样品状态

水煮消解、酸煮消解、微波消解、电热板消解四种前处理方法的实验现象见表 2。

从表 2 可看出, 水煮消解过滤后残渣明显, 仍存在较多的固形物, 造成提取不完全; 酸煮消解、微波消解及电热板消解几乎无残渣, 提取完全。但处理批量样品时, 相对微波消解及电热板消解而言, 酸煮消解法使用样品量较大, 费力且费时。

表 1 ICP-MS 仪器工作条件
Table 1 Instrument parameters for ICP-MS

项目	参数	项目	参数
等离子体气流速	15.0 L/min	采样浓度	8.0 min
载气流速	1.17 L/min	测点数	3
射频功率	1300 W	分析时间	0.1 s
雾化室温度	2 ℃	重复次数	3

表 2 四种不同前处理方法的实验现象差异
Table 2 Different pretreatment phenomena of 4 methods

前处理方法	样品用量(g)	消耗时间	实验现象
水煮消解	20	6 min	沸腾剧烈, 产生大量气泡, 消解液呈白色浑浊状, 有大量残渣, 过滤速度慢。
酸煮消解	20	6 min	沸腾时有少量气泡, 消解液呈浅黄色浑浊状, 少量残渣, 过滤速度快。
微波消解	2~5	1~2 h	无残渣, 消解液呈浅黄色透明状。
电热板消解	2~5	4~5 h	无残渣, 消解液呈浅黄色透明状

3.2 不同检测方法测定结果的比较

水煮消解、酸煮消解、微波消解、电热板消解四种前处理方法得到的四种消解液分别用滴定法和 ICP-MS 法测定, 鲜海蜇、盐渍海蜇及即食海蜇的测定结果见表 3 所示。

从表 3 可看出, 用水煮消解法处理的鲜海蜇、盐渍海蜇和即食海蜇, 无论是用滴定法还是 ICP-MS 法测出的铝含量都远低于其他三种前处理法测出的铝含量($P<0.01$), 说明水煮消解法未能有效提取样品中的铝。

对于同类海蜇样品, 采用微波消解及电热板消解不同前处理方式, ICP-MS 测定结果普遍略高于滴定法测定结果; 但酸煮消解法得到的消解液采用滴定法和 ICP-MS 法检测得到的铝含量相差较大($P<0.01$), 分析其原因是酸煮过程中使用高氯酸残留的 Cl 容易和 H、O、Ar 等结合, 对 Al 的测定产生干扰。

同类海蜇样品, 使用相同检测方法, 酸煮消解、微波消解和电热板消解三种前处理方式对铝的提取效果差别不大, 电热板消解略高, 微波消解次之, 酸

煮消解最低。鲜海蜇中铝含量为 8.17~8.82 mg/kg; 盐渍海蜇中铝的含量为 555~586 mg/kg; 即食海蜇中铝的含量为 377~415 mg/kg。表明酸煮消解、微波消解及电热板消解均能有效地提取样品中的铝。

3.3 方法精密度的比较

不同检测方法测定结果精密度比较, 见表 4 所示。从表 4 可以看出, 水煮消解法提取不完全且平行性较差, 水煮消解滴定法及水煮消解-ICP-MS 法 RSD%较大, 分别为 6.59%和 3.44%; 酸煮消解、微波消解及电热板消解结合滴定和 ICP-MS 法的 RSD%均小于 2%, 符合分析要求。

3.4 方法回收率的比较

8 中不同方法回收率见表 5 所示。从结果看, 酸煮消解-ICP-MS 法回收率较小为 78.7%, 分析其原因可能是高氯酸的使用干扰 ICP-MS 仪器测定; 水煮消解、微波消解、电热板消解及酸煮滴定测定方法均有较高的回收率, 达到 101.2%~105.4%, 符合分析要求。

表 3 不同检测方法铝的测定结果
Table 3 Monitoring results of content of aluminum using different methods

样品名称	方法	铝含量 mg/kg	样品名称	方法	铝含量 mg/kg
鲜海蜇	水煮消解滴定法	0	即食海蜇	水煮消解滴定法	65.1
	水煮消解-ICP-MS 法	0.052		水煮消解-ICP-MS 法	62.3
	酸煮消解滴定法	8.60		酸煮消解滴定法	377
	酸煮消解-ICP-MS 法	4.12		酸煮消解-ICP-MS 法	191
	微波消解滴定法	8.17		微波消解滴定法	376
	微波消解-ICP-MS 法	8.72		微波消解-ICP-MS 法	384
	电热板消解滴定法	8.77		电热板消解滴定法	400
	电热板消解-ICP-MS 法	8.82		电热板消解-ICP-MS 法	415
盐渍海蜇	水煮消解滴定法	163			
	水煮消解-ICP-MS 法	171			
	酸煮消解滴定法	561			
	酸煮消解-ICP-MS 法	355			
	微波消解滴定法	562			
	微波消解-ICP-MS 法	571			
	电热板消解滴定法	577			
	电热板消解-ICP-MS 法	586			

表4 方法精密度比较
Table 4 Comparison of precision of different determination methods

方法	测定次数 n	样品中铝的含量(mg/kg)	RSD%
水煮消解滴定法	10	163±10.8	6.59
水煮消解-ICP-MS法	10	171±5.89	3.44
酸煮消解滴定法	10	561±4.69	0.84
酸煮消解-ICP-MS法	10	355±6.81	1.92
微波消解滴定法	10	562±10.6	1.88
微波消解-ICP-MS法	10	571±6.15	1.08
电热板消解滴定法	10	577±9.61	1.67
电热板消解-ICP-MS法	10	586±5.42	0.92

表5 方法的加标回收率比较
Table 5 Comparison of recoveries of determination methods

加标量 mg/kg	100	200	300	400	500	平均回收率%
水煮消解滴定法回收率范围%	99.2~100.7	100.7~101.3	101.1~101.5	99.0~101.1	99.9~100.8	101.2
水煮消解-ICP-MS法回收率范围%	99.7~103.0	99.9~102.2	99.7~104.2	98.9~103.3	99.1~103.1	102.7
酸煮消解滴定法回收率范围%	92.3~107.8	93.6~105.6	96.2~107.5	95.0~102.2	90.6~109.3	104.4
酸煮消解-ICP-MS法回收率范围%	65.5~81.2	60.2~79.3	70.1~80.1	58.1~80.1	55.1~71.3	78.7
微波消解滴定法回收率范围%	88.8~110.1	92.5~101.5	95.6~111.2	89.9~102.1	90.1~102.3	101.4
微波消解-ICP-MS法回收率范围%	89.2~110.3	89.9~101.3	91.3~103.6	99.2~111.3	95.6~105.1	104.9
电热板消解滴定法回收率范围%	85.4~111.2	90.2~104.3	89.6~108.2	95.2~107.1	91.2~101.5	105.4
电热板消解-ICP-MS法回收率范围%	89.3~106.2	90.2~104.2	88.8~110.1	79.6~101.0	80.6~102.1	103.8

注:每个加标实验结果为3次测定的结果。

4 讨论

4.1 海蜇产品中铝的来源

从检测结果来看,鲜海蜇中铝的含量远低于盐渍海蜇及即食海蜇中铝的含量,充分印证了岑剑伟2010年提出海蜇产品中的Al元素来源主要为加工过程添加产生的观点^[14]。因此,采用微波消解及电热板消解等完全消化的前处理方法测定铝的结果可用

于判定外加明矾含量的多少。

4.2 各种方法的特点

检测结果的差异主要是各种前处理方法对铝的提取效率差异引起的。水煮消解时海蜇组织没有被有效地分解,导致海蜇中的铝提取不完全。但在加标回收率试验中,水煮消解法也具有较高的回收率,表明水煮法只能将游离的Al离子提取出来,而不能将与海蜇组织结合的Al离子提取出来。因此水煮消解

法不适合用于海蜇中铝的前处理方法。

酸煮滴定法可有效地将海蜇中的铝提取出来,测定结果精密度及准确度均符合分析要求,但处理批量样品时,相对微波消解及电热板消解来说操作繁琐,费力,费时。同时由于酸煮消解液酸度较大,不适用于 ICP-MS 上机测定。

微波消解法操作简便,灵敏度和准确度高,尤其适用于大量样品的前处理。微波消解得到的样品消解液可用于滴定法和 ICP-MS 法测定,滴定法相对费时费力,ICP-MS 灵敏度及精密度高但较为昂贵。

电热板消解法同样灵敏度和准确度高,消解样品时相对于微波消解较为费时,但相对酸煮消解法来说又较为省时。

4.3 检测方法的适用性

经过本研究分析,酸煮滴定法检测成本低、有较高精密度及准确度,可被企业及检测机构用于海蜇中铝的测定;样品量较大时可考虑采用电热板消解-滴定法。微波消解-ICP-MS 测定法操作方便、灵敏度高、回收率高,更适用于条件较好的研究机构。

5 展望

研究过程中发现,现行的 GB 2760-2011《食品添加剂使用卫生标准》(水产品及其制品中铝残留量应 100 mg/kg(干样品,以 Al 计))不适用于水分含量较高海蜇产品,并且与行业标准 SC/T 3210-2001《盐渍海蜇皮和盐渍海蜇头》^[9]标准不统一,有待于进一步研究;此外也应从安全食用海蜇产品角度加强研究,以期有效脱除海蜇产品中的铝,降低铝残留的危害。

参考文献

- [1] 陈建文,李慧,王红玲.日照市 2011~2012 年市售食品中铝含量的调查分析[J].食品安全质量检测学报,2013,4(2):540-543.
Chen JW, Li H, Wang HL. Investigation and analysis of aluminum content in commercial foods in Rizhao city during 2011~2012[J]. J Food Safe Qual, 2013, 4(2): 540-543.
- [2] 李清虹,李清峰.沧州市食品污染物铝的调查分析[J].医学动物防制,2010,24(21):1027-1028.
Li QH, Li QF. Food contaminant survey of aluminum in Cangzhou [J]. Med Anim Contr, 2010, 26(11): 1027-1028.
- [3] 陶瑞霄,张海均,贾冬英,等.薯类粉条粉丝加工中明矾替代物的研究进展[J].粮食与饲料工业,2012,(2):39-40.
Tao RX, Zhang HJ, Jia DY, et al. The Progress of alum substitutes in processing of Sweet potato vermicelli[J]. Grain Feed Ind, 2012, (2): 39-40.
- [4] 牛侨.铝的神经毒性[A]//第十次全国劳动卫生与职业病学术论文集[C].杭州:中华预防医学会,2009.
Niu Q. Neurotoxicity of aluminum [A]// The tenth national labor hygiene and occupation disease symposium [C]. Hangzhou: Chinese preventive medicine association, 2009.
- [5] 郑新.铝对人体健康的影响及食品中铝含量的测定[J].重庆科技学院学报:自然科学版,2007,9(1):36-37.
Zheng X. Influence of aluminum to people's health and testing the content of aluminum food [J]. J Chongqing univ Sci Technol(Natural Sci), 2007, 9(1): 36-37.
- [6] 陈建军,杨双喜,杨庆荣,等.铝对人体健康的影响及相关食品安全问题研究进展[J].中国卫生检验杂志,2007,17(7):1326-1329.
Chen JJ, Yang SX, Yang QR, et al. Progress in study on effects of aluminum on human health and food safety [J]. Chin J Health Lab Technol, 2007, 17(7): 1326-1329.
- [7] 庞洁.铝对人体的毒性及相关食品安全问题研究进展[J].内科.2011,6(5):470-473.
Pang J. Progress in study on aluminum toxicity to the human body and the related food safety [J]. Internal medicine. 2011, 6(5): 470-473.
- [8] 裴立晓,徐奋奋,汪婵娜.食品中铝测定前处理方法比较[J].中国卫生检验杂志,2011,4(21):842-843.
Qiu LX, Xu FF, Wang LN. A comparison of different preparation approaches for aluminum determination in food [J]. Chin J Health Lab Technol, 2011, 4(21): 842-843.
- [9] SC/T 3210-2001 盐渍海蜇皮和盐渍海蜇头[S].
SC/T 3210-2001 Salted jellyfish and salted jellyfish head [S].
- [10] GB/T 23374-2009 食品中铝的测定 电感耦合等离子体质谱法[S].
GB/T 23374-2009 Determination of aluminum in foods-Inductively coupled plasma mass spectrometry [S].
- [11] 岑剑伟,李来好,杨贤庆,等.酸煮滴定法测定海蜇产品中的明矾[J].食品科学,2008,29(9):481-484.
Cen JW, Li LH, Yang XQ, et al. Determination of alum in jellyfish products by titration method after acid boiling [J]. Food Sci, 2008, 29(9): 481-484.
- [12] GB/T 5009.182-2003 面制食品中铝的测定[S].
GB/T 5009.182-2003 Determination of aluminum in flour products [S].
- [13] 张志胜,高峰,阎军,等.石墨炉原子吸收光谱法测定水产加工品中铝[J].分析实验室,2007,29(12):290-293.
Zhang ZS, Gao F, Yan J, et al. Study method of determination of

- aluminum in aquatic products by Graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. *Anal Lab*, 2007, 29 (12): 290–293.
- [14] 岑剑伟, 李来好, 杨贤庆, 等. 海蜇中明矾(铝)质量分数 4 种测定方法的比较[J]. *南方水产*, 2010, 6(3): 7–11.
Cen JW, Li LH, Yang XQ, *et al.* Comparison of 4 determination methods of alum(aluminum) in jellyfish [J]. *South China Fish Sci*, 2010, 6(3): 7–11.
- [15] 陈昌, 宋颖华, 高小强. 干法消解与湿法消解测定紫菜中铝的含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2010, 27(3): 118–122.
Chen C, Song YH, Gao XQ. Dry and wet digestion determination of aluminum content in Laver [J]. *J Food Safe Qual*, 2010, 27(3): 118–122.
- [16] Sun M, Wu Q. Determination of ultra-trace aluminum in human albumin by cloud point extraction and graphite atomic absorption spectrometry [J]. *J Hazard Mater*, 2010, 176(1–3): 901–905.
- [17] Ramachandraiah C, Rajesh KJ, Reddys A, *et al.* Development of a highly sensitive and selective for extractive spectrophotometric determination of aluminum(III)from environmental matrices synthetic mixtures, and alloys using orthohydroxy propiophenonei sonicotinoylhydrazone [J]. *Environ Monit Assess*, 2010, 160 (1–4): 23–31.
- [18] Ziola-frankowska A, Frankowski M, Siepeak J. Development of a new analytical method for online simultaneous qualitative determination of aluminum (free aluminum ion, aluminium-fluoride complexes) by HPLC-FAAS[J]. *Talanta*, 2009, 78(2): 623–630.
- [19] Al-Kindy SMZ, Al-Ghamari SS, Suliman FEO. A sequential injection method for the fluorimetric determination of aluminium in drinking water using 5-quinoline sulfonic acid[J]. *Spectrochem Acta Part A*, 2007, 68: 1174–1179.
- [20] Saiyed SM, Yokel RA. Aluminium content of some foods and products in the USA, with aluminum food additives[J]. *Food Addit Contam*, 2005, 22(3): 234–244.

(责任编辑: 赵静)

作者简介



白艳艳, 助理研究员, 主要方向为水产品质量安全。
E-mail: rain831003@163.com



张秀珍, 研究员, 主要方向为水产品质量安全检测与标准化。
E-mail: zxz0535501@126.com