

食品中铝含量国标测定法的改进

刘越*, 李尔春, 张潇, 党欣, 贾兵, 张亚锋

(西安市食品药品检验所, 西安 710054)

摘要: **目的** 通过优化微波消解试剂和微波消解条件, 解决国标推荐方法对生物样品消解不彻底的问题, 使其能够准确测定食品中铝含量。 **方法** 采用国标推荐的微波消解方法和优化后的微波消解方法进行样品的前处理, 消解河南小麦、芹菜、猪肝、大虾和粉丝粉条等标准参考物质, 采用电感耦合等离子体发射光谱法测定铝含量。 **结果** 采用国标推荐的微波消解前处理方法, 试样测定结果远低于参考值。采用优化的微波消解程序(硝酸-氢氟酸体系), 标准参考物质的铝含量测定结果较为接近标准参考值。铝含量在 0~10.0 $\mu\text{g/mL}$ 范围内线性关系良好($r=0.9998$), 标准参考物质中铝含量的回收率为 71.9%~110%, 相对标准偏差为 1.3%~6.3%。 **结论** 硝酸-氢氟酸体系与优化的微波消解程序方法能将样品消解更为彻底, 使检测结果更加准确, 该法可用于食品中铝含量的测定。

关键词: 铝; 食品; 微波消解; 国标; 电感耦合等离子体发射光谱法

Improvement of national standard method for determination of aluminum in food

LIU Yue*, LI Er-Chun, ZHANG Xiao, DANG Xin, JIA Bing, ZHANG Ya-Feng

(Xi'an Institute for Food and Drug Control, Xi'an 710054, China)

ABSTRACT: Objective To solve the problem of incomplete digested of biological samples, by optimizing the reagent and the conditions of microwave digestion, making the aluminum content in food accurately determined. **Methods** Using the microwave digestion method recommended by the national standard and the optimized microwave digestion method to pre-treat the sample, the standard reference materials such as Henan wheat, celery, pig liver, prawns and vermicelli noodles were digested, then the aluminum contents were determined by inductively coupled plasma optical emission spectrometry. **Results** The microwave digestion pretreatment method recommended by the national standard was adopted, and the sample measurement results were far below the reference values. Using an optimized microwave digestion procedure (nitric acid-hydrofluoric acid system), the aluminum content of the standard reference material was closer to the standard reference value. Aluminum content had good linear relationship within 0–10.0 $\mu\text{g/mL}$ ($r=0.9998$), and the recovery rates of aluminum content in standard reference materials were in the range of 71.9%–110%, and the relative standard deviations were 1.3%–6.3%. **Conclusion** The nitric acid-hydrofluoric acid system and the optimized microwave digestion procedure can make the sample digestion more thorough and make the detection result more accurate. The method can be used to determine the aluminum content in food.

基金项目: 陕西省科技厅重点研发计划项目(2017SF-311)

Fund: Supported by Key Research and Development Plan of Shanxi Science & Technology Department (2017SF-311)

*通讯作者: 刘越, 主要研究方向为食品、药品检验。E-mail: 807488958@qq.com

*Corresponding author: LIU Yue, Xi'an Institute for Food and Drug Control, No.26, Yanta Road, Xi'an 710054, China. E-mail: 807488958@qq.com

KEY WORDS: aluminum; food; microwave digestion; national standard; inductively coupled plasma optical emission spectrometry

1 引言

铝(Al)是地壳中含量最多的金属,在自然界中以复杂的硅酸盐、硫酸盐、氧化物等形式存在,被认为是一种有害的元素,它能在人体内蓄积并产生慢性毒性^[1,2]。如果长期过量摄入铝元素,铝会在人体内不断蓄积,产生毒害作用。铝主要进入脑神经细胞内,对神经细胞造成毒性,会增加老年性痴呆症的发病几率;同时人体中铝元素含量过高,会影响对磷的吸收,而缺磷又会影晌钙的吸收,造成沉积在骨质中钙的流失,抑制骨生长,导致骨软化症;摄入过量的铝,还可能导致低磷血症,骨质疏松,易发生骨折。此外对于婴幼儿摄入过量的铝,会引起神经发育受损,导致智力发育障碍等^[3]。

世界卫生组织和联合国粮农组织(WHO/FAO)在 1989 年正式将铝确定为食品污染物加以控制。WHO 在 2004 年推荐的铝元素的每日最大摄入量为 5 mg^[4]。2011 年 WHO/FAO 食品添加剂专家委员会将铝的每周耐受摄入量(provisional tolerable weekly intake, PTWI)由 7 mg/(kg·bw) 暂修正为 2 mg/(kg·bw),欧盟标准为 1 mg/(kg·bw)^[5]。

目前,关于食品中铝含量的测定以及人体摄入量的研究已愈来愈多^[4-15,18-20],大多都是通过测定食品中的铝含量来判断是否超范围、超限量地使用含铝食品添加剂。食品中的铝元素一部分来自于含铝食品添加剂、含铝炊具和锡纸、除虫剂磷化铝^[16]的使用,同时因土壤、水质等因素使得生物性食品中天然存在一定量的铝,通过加工去皮等工艺也不能去除。因此获得准确可靠的食品中铝含量,准确测定植物源性和动物源性食品中铝的含量,能够为食品安全风险评估、食品安全标准修订提供科学依据。目前,GB 5009.182-2017《食品安全国家标准 食品中铝的测定》^[17]中采用的单硝酸消解体系适用于外源性铝,但在测定生物样品标准参考物质的过程中会遇到消解不彻底、测定结果低于参考值的现象。这主要是由于生物样品中的铝被硅包裹,消解时没有被完全溶出^[19,20],而样品的消解效果对检测结果具有十分重大的意义,建立测定食品中铝含量的准确合理的前处理方法,可以提高检测数据准确性。因此,对于生物样品(即样品自然本底)铝的测定来说,需要更彻底的消解方法进行前处理。

本研究中对比了 GB 5009.182-2017^[17]第三法中推荐的前处理方法与经优化的微波消解方法,对河南小麦、芹菜、猪肝、大虾和粉丝粉条等生物成分标准物质进行消解,

利用电感耦合等离子体发射光谱法(inductively coupled plasma optical emission spectrometry, ICP-OES)进行铝含量的测定。通过优化的微波消解方法对不同基质生物成分标准物质进行消解并测定,建立准确检测食品中铝含量的方法,以期准确测定食品中铝含量,降低食品安全风险提供依据。

2 材料与方法

2.1 仪器与试剂

iCAP 7400 电感耦合等离子体发射光谱仪 ICP-OES(美国 Thermo 公司); ETHOS UP 微波消解仪(意大利 Milestonesrl 公司); VB 15 赶酸器(美国 LabTech 公司); Mini-Q Integral 超纯水装置(美国 Millipore 公司)。

铝标准溶液(1000 μg/mL, GSB04-1713-2004, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 硝酸 HNO₃(优级纯,德国 Merck 公司); 氢氟酸 HF(UP 纯,苏州晶瑞化学股份有限公司); 30%过氧化氢 H₂O₂(分析纯,国药集团化学试剂有限公司)。

河南小麦[GBW10046(GSB-24)]、芹菜[GBW10048(GSB-26)]、猪肝[GBW10051(GSB-29)]、大虾[GBW10050(GSB-28)]等生物成分标准物质购于地球物理地球化学勘查研究所,粉丝粉条中铝成分分析标准物质[GBW10022(16109)]购于中国计量科学研究院。

2.2 实验方法

2.2.1 标准溶液配制

铝标准溶液配制:精确吸取适量 1000 μg/mL 的铝标准溶液,用体积分数 5%硝酸(以浓硝酸为基准)逐级稀释配成 0、0.500、2.00、5.00、8.00、10.00 μg/mL 的标准溶液。

2.2.2 样品前处理

粉丝粉条中铝成分分析标准物质根据证书要求,于 85 °C 恒温干燥箱干燥 4 h。其他生物成分标准物质没有要求。

(1) GB 5009.182-2017 消解法

分别准确称取 0.5 g(精确至 0.001 g)试样于聚四氟乙烯消解内罐中,加入 10 mL 硝酸加盖放置 1 h,然后盖上内罐盖,旋紧外罐置于微波消解仪中按照微波消解程序进行消解,具体消解程序详见表 1。冷却后取出内罐,置于赶酸器于 140 °C 赶酸至近干,用超纯水洗涤消解罐 3~4 次,合并洗液于 50 mL 聚丙烯离心管中,并称重复定容待测。同时做空白试验。

表 1 GB 5009.182-2017 微波消解仪条件

Table 1 Microwave digestion conditions of GB 5009.182-2017

步骤	控制温度/℃	升温时间/min	恒温时间/min
步骤 1	120	5	5
步骤 2	150	5	15
步骤 3	190	5	20

(2) 优化消解体系消解法

分别准确称取 0.5 g (精确至 0.001 g)试样于聚四氟乙烯消解内罐中, 加入 8 mL 硝酸, 加盖放置 1 h, 再加入 2 mL 双氧水或者氢氟酸(H₂O₂/HF)。然后盖上内罐盖, 旋紧外罐置于微波消解仪中按照微波消解程序进行消解, 具体消解程序详见表 2。冷却后取出内罐, 置于赶酸器于 140 ℃赶酸至近干, 用超纯水洗涤消解罐 3~4 次合并洗液于 50 mL 聚丙烯离心管中, 并称重定容待测。同时做空白实验。

由于氢氟酸对石英等含硅材料具有极强的腐蚀性, 消解完毕后一定要将氢氟酸彻底去除, 否则会对仪器的雾化器等部件造成损坏^[20]。为了将 HNO₃+HF 体系中的氢氟酸彻底除去, 在上述赶酸结束后向 HNO₃+HF 消解体系的消解罐内加入适量超纯水, 再次赶酸至近干后进行定容。

表 2 微波消解仪参考条件(1)

Table 2 Microwave digestion conditions (1)

步骤	控制温度/℃	升温时间/min	恒温时间/min
步骤 1	130	15	5
步骤 2	180	15	15

(3) 优化微波消解参考条件消解法

分别准确称取 0.5 g (精确至 0.001 g)试样于聚四氟乙烯消解内罐中, 加入 8 mL 硝酸, 加盖放置 1 h, 再加入 2 mL 氢氟酸(HF)。然后盖上内罐盖, 旋紧外罐置于微波消解仪中按照优化的微波消解程序进行消解, 具体消解程序详见表 3。冷却后取出内罐, 置于赶酸器于 140 ℃赶酸至近干, 再次向消解罐内加入适量超纯水, 再次赶酸至近干, 用超纯水洗涤消解罐 3~4 次合并洗液于 50 mL 聚丙烯离心管中, 并称重定容待测。同时做空白实验。

表 3 微波消解仪参考条件(2)

Table 3 Microwave digestion conditions (2)

步骤	控制温度/℃	升温时间/min	恒温时间/min
步骤 1	140	10	5
步骤 2	170	5	10
步骤 3	190	5	20

2.2.3 试样测定方法

(1) ICP-OES 仪器条件

检测波长 396.15 nm, 射频功率 1150 W, 辅助器流量 0.5 L/min, 冷却器流量 12 L/min, 雾化器体流量 0.70 L/min, 泵速 50 r/min。

(2) 标准曲线的制作

将铝标准溶液注入 ICP-OES 中, 测定铝元素分析谱线的强度信号响应值, 以铝元素的浓度为横坐标, 其分析谱线强度响应值为纵坐标, 绘制标准曲线。

(3) 试样溶液的测定

将空白溶液和试样溶液分别注入 ICP-OES 中, 测定铝元素分析谱线的强度信号响应值, 根据标准曲线得到试样中铝元素的浓度, 通过计算得到铝含量。

3 结果与分析

3.1 GB 5009.182-2017 国标方法测定结果

按照 2.2.2(1)法进行消解, 2.2.3 进行测定, 结果见表 4。根据表 4 可知, 除粉丝粉条标准物质的回收率较高之外, 其余标准物质的回收率均较低, 测定值均远低于参考值。而粉丝粉条在制作过程中允许添加含铝食品添加剂, 因此, GB 5009.182-2017 中采用的单硝酸消解体系仅适用于外源性铝, 但在测定生物样品标准参考物质的过程中会遇到消解不彻底、测定结果低于参考值的现象。

表 4 基于 GB 5009.182-2017 微波消解条件下的标准物质中的铝含量测定结果(n=6)

Table 4 Determination result of aluminum content in standard materials based on GB 5009.182-2017 microwave digestion conditions (n=6)

标准物质	参考值/(mg/kg)	HNO ₃ (10 mL)		
		测定值/(mg/kg)	相对标准偏差/%	回收率/%
河南小麦	210	38.4	3.4	18.3
芹菜	1400	518	9.5	37
猪肝	120	26.7	11	22
大虾	290	136	3.6	47
粉丝粉条	70.1±2	68	2.7	97

3.2 改进消解体系的测定结果比较

分别以硝酸-双氧水体系和硝酸-氢氟酸体系采用 2.2.2(2)法进行消解, 按照 2.2.3 进行测定, 结果见表 5。由结果可知, 以硝酸-双氧水体系消解上述几种生物成分标准物质时, 依然是除粉丝粉条外测定结果均低于参考值, 如对河南小麦标准物质进行微波消解, 测定检测铝的结果为 43.7 mg/kg, 远低于参考值 210 mg/kg。通过查阅生物成

分标准物质证书, 河南小麦、芹菜和大虾等生物成分样本中都含有部分的硅, 硅主要以硅酸盐水合二氧化硅或单硅酸的形式存在; 部分铝参与了硅酸盐的构成, 这部分被硅酸盐晶格包裹的铝不溶于普通酸, 只有氢氟酸才能将其从晶格中释放出来^[20]。因此在进行样品处理时可以加入适量氢氟酸。对于硝酸-氢氟酸体系, 由结果可知, 河南小麦、猪肝和大虾的铝含量测定值有显著提高, 但是仍不能将其中的铝完全消解出来。而芹菜生物成分标准物质的结果不太理想, 在消解完成后消解罐底部均有肉眼可见的残渣, 说明芹菜在此过程中消解不彻底, 因此需要优化微波消解条件来提高消解效率。

3.3 消解溶剂用量的研究比较

由 3.2 结果可知, 在 2.2.2(2)条件下消解芹菜生物成分标准物质时, 测定的铝含量值远低于参考值 1400 mg/kg, 并且在消解罐底部有肉眼可见的残渣, 因此可能是由于消解体系中溶剂用量较少、消解不彻底造成的。在此基础上, 加入 8 mL 硝酸, 加盖放置 1 h, 再加入 4 mL 双氧水或者氢

氟酸(H₂O₂/HF), 按照 2.2.2(2)方法中微波消解参考条件消解芹菜生物成分标准物质, 测定结果见表 6, 铝含量有较大的提高, 但仍未达到参考值。但可以发现, 通过适当增加消解溶剂用量可以提高消解效率, 且平行性更好, 试验的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)值由 6.5%~34.2%下降至 0.36%~5.4%。由于氢氟酸对消解设备及电感耦合等离子发射光谱仪的雾化器等零件有腐蚀作用, 所以没有进行更进一步的实验。

3.4 微波消解参考条件的研究比较

在上述实验基础上, 通过适当提高消解温度并延长消解时间来优化微波消解条件, 即按照 2.2.2(3)方法对河南小麦、芹菜、猪肝和大虾等生物成分标准物质进行消解, 结果见表 7。与 3.2 中硝酸-氢氟酸体系相比较, 在消化能力更强的微波消解条件下, 消解液测得的铝含量有显著提高, 而且在此微波消解条件下可以非常有效地将样品中被硅包裹的铝溶解出来, 极大提高分析测试的准确度。

表 5 基于微波消解条件(1)下的不同酸体系对标准物质中的铝含量测定值的影响(n=6)

Table 5 Influence of different acid systems on the determination of aluminium content in standard reference materials based on microwave digestion condition (1) (n=6)

标准物质	参考值/(mg/kg)	HNO ₃ +H ₂ O ₂ (8:2, V:V)			HNO ₃ +HF (8:2, V:V)		
		测定值/(mg/kg)	相对标准偏差/%	回收率/%	测定值/(mg/kg)	相对标准偏差/%	回收率/%
河南小麦	210	43.7	4.5	20.8	173	8.8	82.5
芹菜	1400	575	6.5	41.1	479	30	34.2
猪肝	120	24.3	10	20.2	95.7	4.7	79.7
大虾	290	145	8.7	50.1	241	3.1	83.0
粉丝粉条	70.1±2	72.2	0.50	103	75.0	2.9	107

表 6 基于微波消解条件(1)下的不同酸用量对标准物质芹菜中的铝含量测定值的影响(n=6)

Table 6 Influence of different acid dosages on determination value of aluminum content in celery standard reference material based on microwave digestion condition (1) (n=6)

标准物质	参考值/(mg/kg)	HNO ₃ +H ₂ O ₂ (8:2, V:V)		HNO ₃ +HF (8:2, V:V)		HNO ₃ +H ₂ O ₂ (8:4, V:V)		HNO ₃ +HF (8:4, V:V)	
		测定值/(mg/kg)	RSD/%	测定值/(mg/kg)	RSD/%	测定值/(mg/kg)	RSD/%	测定值/(mg/kg)	RSD/%
芹菜	1400	575	6.5	479	34.2	709	0.36	943	5.4

表 7 基于不同微波消解条件下的硝酸-氢氟酸体系对标准物质中的铝含量测定值的影响($n=6$)

Table 7 Influence of $\text{HNO}_3\text{-HF}$ system on the determination of aluminium content in standard reference materials based on different microwave digestion conditions ($n=6$)

标准物质	参考值/(mg/kg)	微波消解参考条件(1)			微波消解参考条件(2)		
		测定值/(mg/kg)	RSD/%	回收率/%	测定值/(mg/kg)	RSD/%	回收率/%
河南小麦	210	173	8.8	82.5	205	2.1	97.6
芹菜	1400	479	30	34.2	1006	3.0	71.9
猪肝	120	95.7	4.7	79.7	102	4.5	85.0
大虾	290	241	3.1	83.0	258	6.3	89.0
粉丝粉条	70.1±2	75.0	2.9	107	76.8	1.3	110

3.5 利用国标法和本研究得出的样品前处理方法对市场上典型的食品进行铝含量分析

利用 GB 5009.182-2017 第三法中推荐的前处理方法与经优化的微波消解方法对市售的锅盔、蔬菜锅盔、绿豆粉丝、蕨根粉丝和油条等典型食品进行消解, 并进行铝含量的测定, 结果见表 8。从中可以看出, 经过本研究优化的前处理方法消解的食品, 其铝含量值均高于采用国标方法消解的铝含量值。表明采用国标中的前处理方法对于市场常见的典型食品同样存在消解不彻底的现象存在, 而本文中优化的微波消解方法可以更加彻底地将食品中的铝释放出来, 提高了检测的准确性。

表 8 基于国标法和微波消解参考条件(2)+(HNO₃+HF)方法对市售食品进行铝含量分析

市售食品	国标方法/(mg/kg)	微波消解参考条件 (2)+(HNO ₃ +HF) /(mg/kg)
锅盔	18.3	36.8
蔬菜锅盔	9.80	18.3
绿豆粉丝	29.5	34.5
蕨根粉条	168	232
油条	82.0	97.0

4 结论与讨论

本文通过对比国标推荐的前处理方法和经优化的微波消解方法, 对河南小麦、芹菜、猪肝、大虾和粉丝粉条等生物成分标准物质进行消解, 测定其铝含量。结果表明, GB 5009.182-2017 中采用的单硝酸消解体系仅适用于毒性较大的外源性铝, 在测定生物样品过程中会遇到消解不彻底、测定结果偏低的现象。而采用优化后消解能力较强的硝酸-氢氟酸体系在微波消解程序(2)条件下测定结果更

接近标准参考值, 更加准确。由于生物成分样本中大都含有部分的硅, 硅主要以硅酸盐水合二氧化硅或单硅酸的形式存在; 部分铝参与了硅酸盐的构成, 因此常规的消解方法不能将其从晶格中释放出来。而经优化的方法可以较好地将其从晶格中溶解出来, 极大地提高了检测的准确性, 并且具有很好精密度、重复性和再现性, 优于传统方法, 回收率也有明显提高。该方法的建立为规范食品行业生产经营活动, 增强该领域食品安全监管工作的规范性、科学性和有效性, 保障食品安全, 具有重要意义。

参考文献

[1] Walton RC, Mcrohana CR, Livens F, *et al.* Trophic transfer of aluminum through an aquatic grazer-omnivore food chain [J]. *Aquat Toxicol*, 2010, 99: 93–99.

[2] 王冰, 邵爱梅, 夏俊鹏. 电感耦合等离子体质谱法测定谷物样品中铝的样品处理方法研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2016, 7(5): 1832–1835.

Wang B, Shao AM, Xia JP. Pre-treatment of the determination of aluminum in the grain samples by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(5): 1832–1835.

[3] 贺婷婷. 浅谈铝与人体健康的关系[J]. *微量元素与健康研究*, 2013, 30(2): 70–71.

He TT. The study of the relationship between aluminum and human health [J]. *Stud Trace Elem Health*, 2013, 30(2): 70–71.

[4] WTO. Global environment monitoring system-food contamination monitoring and assessment programme (GEMS/Food) [C]. Geneva: WTO, 2010.

[5] 张克梅. 食品中铝的样品前处理及检测方法进展[J]. *安徽预防医学杂志*, 2015, 5: 332–337, 369.

Zhang KM. Research progress of sample processing and aluminum detection methods in foods [J]. *Anhui J Prevent Med*, 2015, 5: 332–337, 369.

[6] Anetta ZF, Jan K, Marcin F. Application of a new HPLC-ICP-MS method for simultaneous determination of Al^{3+} and aluminium fluoride complexes [J]. *Heliyon*, 2015, 1(2): 1–10.

[7] 杨小弟, 章福平, 王先龙, 等. 环境与生物体系中铝形态分析技术的新

- 进展[J]. 分析化学, 2003, 31(9): 1131–1138.
- Yang XD, Zhang FP, Wang XL, *et al.* Novel analytical techniques for fractionation and speciation of aluminum in environmental and biological systems [J]. *Chin J Anal Chem*, 2003, 31(9): 1131–1138.
- [8] 刘文新, 栾兆坤, 汤鸿霄. 饮用水中铝的生物可给性研究进展[J]. 环境与健康杂志, 1997, 14(1): 44–46.
- Liu WX, Luan ZK, Tang HX. Research progress on the bioavailability of aluminum in drinking water [J]. *J Environ Health*, 1997, 14(1): 44–46.
- [9] 梁春穗, 胡曙光, 王晶. 食品中铝的分析方法改进及在风险监测中的应用[J]. 中国食品卫生杂志, 2012, 24(2): 97–101.
- Liang CS, Hu SG, Wang J. Improving the method for detecting aluminum in food and its application in risk monitoring [J]. *Chin J Food Hyg*, 2012, 24(2): 97–101.
- [10] 聂晓玲, 王敏娟, 郭荣, 等. 陕西省市售食品中铝含量调查与健康风险评估[J]. 现代预防医学, 2017, 44(17): 3121–3124.
- Nie XL, Wang MJ, Guo R, *et al.* Investigation of aluminium content in food on sale and health risk assessment in Shaanxi province [J]. *Mod Prev Med*, 2017, 44(17): 3121–3124.
- [11] 张邈, 李高华, 王昌钊, 等. 陕西地区面粉及挂面中铝的测定与分布研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2012, 3(2): 195–198.
- Zhang L, Li GH, Wang CZ, *et al.* Study on the determination and distribution of aluminum in flour and noodle in Shaanxi [J]. *J Food Saf Qual*, 2012, 3(2): 195–198.
- [12] 李青, 刘思洁, 方赤光. 食品中铝含量及其危害研究发展[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(1): 14–19.
- Li Q, Liu SJ, Fang CG. Research progress on the content and harm of aluminum in food [J]. *J Food Saf Qual*, 2016, 7(1): 14–19.
- [13] 卢丽, 刘二龙, 詹业添, 等. 超级微波消解-电感耦合等离子体发射光谱法测定小麦中总铝含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(3): 564–569.
- Lu L, Liu EL, Zhan YT, *et al.* Determination of total aluminum in wheat by ultra wave digestion-inductively coupled plasma optical emission spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(3): 564–569.
- [14] 吕昭玮, 何国彪, 刘辉. 食品中铝含量检测优化技术体系研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2018, 9(12): 3115–3121.
- Lv ZW, He GB, Liu H. Optimization of technology system for determination of aluminum content in foods [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(12): 3115–3121.
- [15] 耿巧红, 焦培福, 魏丽娟, 等. 分光光度法和等离子体发射光谱法测定茶叶中铝[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(3): 175–178.
- Geng QH, Jiao PF, Wei LQ, *et al.* Comparison of the detection methods of aluminum in tea by plasma emission spectrometry (ICP-AES) and ultraviolet-visible spectrophotometry [J]. *Food Res Dev*, 2018, 39(3): 175–178.
- [16] 郑国灿, 刘毅, 陈江, 等. 顶空-气相色谱法测定木耳中的磷化铝残留量[J]. 食品安全质量检测学报, 2014, 5(10): 3249–3254.
- Zheng GC, Liu Y, Chen J, *et al.* Determination of aluminium phosphideresidue in agaric by headspace-gas chromatography [J]. *J Food Saf Qual*, 2014, 5(10): 3249–3254.
- [17] GB 5009.182-2017 食品安全国家标准 食品中铝的测定[S].
- GB 5009.182-2017 National food safety standard-Determination of aluminum in food [S].
- [18] Durkan N, Ugulu I, Unver MC, *et al.* Concentrations of trace elements aluminum, boron, cobalt and tin in various wild edible mushroom species from Buyuk Menderes river basin of Turkey by ICP-OES [J]. *Trace Elem Electrol*, 2011, 28(4): 242–248.
- [19] 王小平. 不同分解方法对 ICP-AES 测定植物样品中元素含量的影响[J]. 光谱学与光谱分析, 2005, 25(4): 563–566.
- Wang XP. Comparison of different digestion methods used for the decomposition of plant samples in elemental quantification by using ICP-AES [J]. *Spectrosc Spect Anal*, 2005, 25(4): 563–566.
- [20] 姜杰, 张慧敏, 林凯, 等. 食品中铝的硝酸-氢氟酸消解-电感耦合等离子体光谱测定法[J]. 环境与健康杂志, 2015, 32(2): 155–157.
- Jiang J, Zhang HM, Lin K, *et al.* Determination of aluminum in food by inductively coupled plasma optical emission spectrometer with digestion by nitric acid coupled with hydrofluoric acid [J]. *J Environ Health*, 2015, 32(2): 155–157.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



刘 越, 主要研究方向为食品、药品检验。
E-mail: 807488958@qq.com