

电感耦合等离子体发射光谱法测定食品中钠关键影响因素探究

高喜凤, 刘艳明, 张喜琦*, 董 瑞, 韩晓晓, 张寒霜, 张 栋

(山东省食品药品检验研究院, 济南 250101)

摘 要: **目的** 探究电感耦合等离子体发射光谱法测定食品中钠关键影响因素。**方法** 选用不同基质的样品, 采用微波消解的前处理方法, 用电感耦合等离子体发射光谱法测定食品中的钠。通过选取 589.592、588.995 nm 2 条谱线、对样品稀释不同的倍数使其处于不同的线性区间、选取不同基质的样品等关键因素对检测结果进行分析研究, 并应用电感耦合等离子体质谱法对分析结果进行了验证、比对。**结果** 589.592 nm 峰形好, 干扰小, 但电感耦合等离子体发射光谱法测定钠样品结果受溶液浓度范围、基质的影响较大, 溶液中的钠浓度小于 0.5 mg/L 与浓度为 5.0~10.0 mg/L 时, 平行实验检测结果偏差可达 11.9%, 根据实验结果确定 1.0~5.0 mg/L 是测定钠的最佳线性范围。特殊基质的样品蒜粉、糖果不加内标时, 加标回收率分别为 113.8%~117.1%和 115.1%~120.0%, 而通过改进实验方法, 采用 4 mg/L 的锂做内标, 蒜粉、糖果的加标回收率分别为 98.5%~104.8%、102.1%~104.3%。应用电感耦合等离子体质谱法进行方法验证, 样品加标回收率为 97.6%~104.2%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 0.984%~1.47%。**结论** 本研究指出了准确应用电感耦合等离子体发射光谱法测定食品中钠的关键点, 为准确测定食品中的钠提供了技术支持。

关键词: 电感耦合等离子体发射光谱法; 基质; 钠; 关键因素; 内标

Research on key influencing factors of determination of sodium in food by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry

GAO Xi-Feng, LIU Yan-Ming, ZHANG Xi-Qi*, DONG Rui, HAN Xiao-Xiao,
ZHANG Han-Shuang, ZHANG Dong

(Shandong Institute for Food and Drug Control, Jinan 250101, China)

ABSTRACT: Objective To explore the key factors affecting the determination of sodium in food by inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES). **Methods** Samples with different matrices were selected, the pretreatment method of microwave digestion was adopted, and the sodium in food was determined by inductively coupled plasma emission spectrometry. The detection results were analyzed and studied by the key factors such as selecting 2 spectral lines of 589.592 nm and 588.995 nm, diluting the samples at different multiples to make them in different linear intervals, and selecting the different substrates samples. The analytical results were verified and compared by inductively coupled plasma mass spectrometry. **Results** The peak shape of 589.592 nm was good and the interference was small. The determination of sodium by ICP-OES was greatly affected by the concentration range

*通信作者: 张喜琦, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品技术保障工作。E-mail: zhxiqi73@163.com

*Corresponding author: ZHANG Xi-Qi, Master, Senior Engineer, Shandong Institute for Food and Drug Control, Jinan 250101, China.

E-mail: zhxiqi73@126.com

of sample solution and matrix. When the concentration of sodium in the solution was less than 0.5 mg/L and the concentration was 5.0–10.0 mg/L, the deviation of parallel test results could reach 11.9%. According to the experimental results, 1.0–5.0 mg/L was the best linear range for the determination of sodium. The recoveries of garlic powder and candy without internal standard were 113.8%–117.1% and 115.1%–120.0% respectively. By improving the experimental method, the recoveries of garlic powder and candy were 98.5%–104.8% and 102.1%–104.3% respectively by using 4 mg/L lithium as internal standard. The method was validated by inductively coupled plasma mass spectrometry. The sample recovery rates were 97.6%–104.2%, and the relative standard deviations were 0.984%–1.47%. **Conclusion** This study points out the key points for the accurate determination of sodium in food by ICP-OES, which provides technical support for the accurate determination of sodium in food.

KEY WORDS: inductively coupled plasma optical emission spectrometer; substrates; sodium; key factors; internal standards

0 引言

钠是人体必需的营养元素,其参与水的代谢,保证体内水的平衡,调节体内水分的渗透压;维持体内酸和碱的平衡,是体液的组成成分;与三磷酸腺苷(adenosine triphosphate, ATP)的产生和利用、肌肉运动、心血管功能、能量代谢都有关系,且对于维持血压正常、增强神经肌肉兴奋性都起着重要的作用。但人体如果钠摄入过多,会使高血压等慢性病成为潜在疾病^[1–5],摄入过少则会出现低钠血症,同样危害身体健康,因而食品中钠的含量受到人们的广泛关注,准确测定食品中的钠含量对于保证人体健康具有重要的意义^[6–13]。中华人民共和国卫生部在2011年发布的GB 28050—2011《食品安全国家标准预包装食品营养标签通则》中规定,预包装食品应当在标签上强制标示能量和4种核心营养素(蛋白质、脂肪、碳水化合物、钠),因此钠的测定成为国内食品检测领域的研究热点。

随着科技的进步,钠的检测技术越来越多,也日渐成熟,GB 5009.91—2017《食品安全国家标准 食品中钾、钠的测定》中规定了火焰原子吸收光谱法、火焰原子发射光谱法、电感耦合等离子体发射光谱法(inductively coupled plasma optical emission spectrometry, ICP-OES)和电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)4种测定方法。电感耦合等离子体质谱法,是一种最稳定、最准确的检测方法,稀释不同的倍数结果差别不大,但由于其使用成本太高、普及性不广。此外电感耦合等离子体质谱法适合低含量样品的测定,因此不适合测定在食品中含量较高的钠元素含量。火焰原子吸收光谱仪由于不能实现多元素同时测定、且灵敏度不高,它较少应用于测定食品中钠元素含量。而电感耦合等离子体发射光谱仪由于具有灵敏度高、精密度好、检出限低、能够同时测定多种元素等优点,在食品检测领域得到广泛应用,成为测定钠最常用、使用频率最高的检测仪器,因此如何应用电感耦合等离子体发射光谱法准

确测定食品中的钠尤为重要。目前我国文献中虽然有对电感耦合等离子体发射光谱法测定食品中钠的报道^[14–19],但是没有对测定钠的关键影响因素进行探讨,并且我国现有食品中钠的检测方法和技术鲜少有对方法一致性的研究。

基于以上背景,本研究结合实际食品检验工作选用了具有代表性的蛋黄粉、奶粉、糖果、海洋低聚肽粉、蒜粉、固体烧烤料等不同基质、不同钠含量水平的样品,对电感耦合等离子体发射光谱法测定食品中钠的关键影响因素进行了总结归纳,针对发现的问题,进一步优化了测定方法,并对火焰原子吸收光谱法、电感耦合等离子体发射光谱法和电感耦合等离子体质谱法3种方法进行了方法一致性研究,对于企业正确的选定预包装食品中钠的测定方法具有指导性意义,同时也为食品监管部门出具准确的营养标签中钠的数据提供技术支持。

1 材料与方法

1.1 主要仪器和试剂

Optima 8000 电感耦合等离子体发射光谱仪、900F 火焰原子吸收分光光度计(美国 Perkin Elmer 公司); Agilent 7900 电感耦合等离子体质谱仪(美国安捷伦公司); Mars 6 微波消解仪(美国 CEM 公司); Advantage A10 超纯水机(美国密理博公司)。

硝酸、盐酸、30%的过氧化氢(优级纯,上海国药集团); 钠标准溶液(1000 μg/mL)、标准物质蛋黄粉[编号 GBW(E)100198, 中国计量科学院]。硝酸用酸纯化仪纯化后再使用。

奶粉:黑龙江贝特佳营养食品有限公司生产;糖果:山东希尔福生物科技有限公司生产的乳矿物盐压片糖果;海洋低聚肽粉:青岛科海健堂生物有限公司生产;蒜粉:莱芜市三庆果蔬有限公司生产;烧烤料购自济南冯氏副食调料经营部。

1.2 方 法

1.2.1 样品前处理

结合 GB 5009.91—2017《食品安全国家标准食品中钾、钠的测定》的规定, 以及微波消解法具有加热速度快、加热均匀、试剂用量少、空白低、回收率高等优势的特点, 本研究选用微波消解法作为食品中钠测定的前处理方法。

称取 0.5 g 左右经过干燥、粉碎等手段进行预处理后的样品于聚四氟乙烯消解罐中, 加入 8 mL 硝酸进行微波消解, 设定微波消解程序, 见表 1, 消解完毕冷却后取出内罐, 置于赶酸电热板上, 140 ℃赶酸至近干, 用水定容至 50 mL 容量瓶中。

表 1 微波消解程序 Table 1 Microwave digestion procedure				
程序	微波功率 /W	梯度时间 /min	设定温度 /℃	保持时间 /min
1	1600	10	140	5
2	1600	5	170	10
3	1600	5	190	20

表 2 不同分析谱线的结果比对 Table 2 Comparison of the results of different analysis lines					
样品	谱线/nm	样品含量/(mg/kg)	平均值/(mg/kg)	RSD/%	相对偏差%
蛋黄粉		1639	1623		
	589.592	1701	1637	1659	1.83
		1697			
		1696	1673		1.46
	588.995	1741	1683	1708	2.17
		1746			

1.2.2 电感耦合等离子体发射光谱仪工作条件

仪器工作参数功率: 1500 W; 等离子体流量: 10 L/min; 雾化器流量: 0.55 L/min; 辅助气流量: 0.2 L/min; 进样延迟: 45 s; 选取 589.592 nm 做为分析谱线进行测试。

2 结果与分析

2.1 ICP-OES 测定钠关键因素的影响

2.1.1 分析线的选择

选用 589.592、588.995 nm 2 条谱线, 采用 ICP-OES 方法分析了蛋黄粉标准物质中 Na 的含量, 分别测定了 5 次, 结果见表 2。测量重复性相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)分别为 1.83%和 2.17%。采用 2 条谱线测量结果相对偏差 1.46%; 以上结果说明 2 条谱线间差别小, 稳定性好, 结果可靠。但是比较图 1 峰型发现 589.592 nm 峰形好, 干扰小, 因此 ICP-OES 测定钠选用 589.592 nm 作为分析谱线, 588.995 nm 可以作为比对线。2 条不同谱线的峰形如图 1 所示。

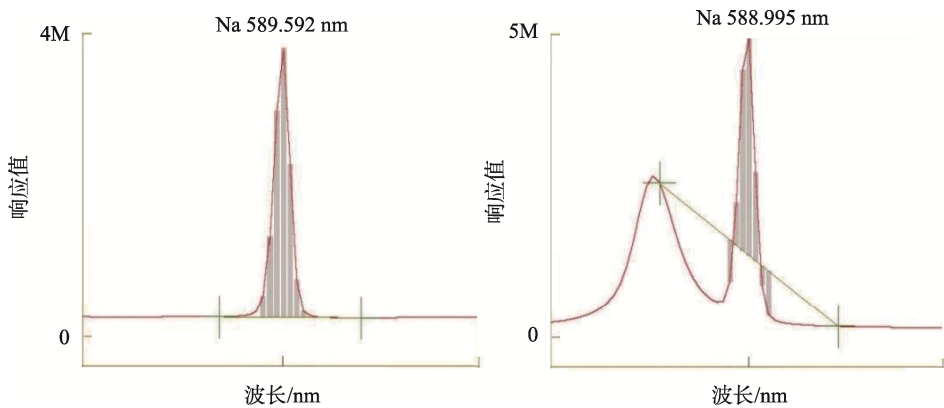


图 1 2 条不同谱线的峰形
Fig.1 Peak patterns of 2 different analysis lines

2.1.2 线性范围的选择

首先采用电感耦合等离子体发射光谱法对有证国家标准物质 GBW(E)100198 的蛋黄粉[标示值(1730±120) mg/kg]进行测定,标准溶液的线性范围选择 0.1~10.0 mg/L,通过对样品稀释不同的倍数,使得溶液中钠的含量在不同的浓度范围,同时进行了 3 次加标回收实验。从表 3 中发现蛋黄粉在不同浓度范围内加标回收率为 95.1%~120.3%,为正常范围,但是测定数据有较大的偏差。样品在溶液中的浓度 < 0.5、0.5~1.0、10.0~100.0 mg/L 时,测定值不在标准物质要求的范围内。蛋黄粉稀

释不同倍数 2 次独立测定结果的最大相对偏差为 18.6%,不符合 GB 5009.91—2017 对于精密度的要求,说明电感耦合等离子体发射光谱法测定钠在不同的浓度范围测定结果偏差大,为进一步验证实验结论,本研究选取低聚肽粉、豆乳和烧烤料进行同样稀释不同倍数的实验,结果如表 4。结果发现溶液中浓度在不同的范围内,结果差别较大,溶液中的浓度 < 0.5 mg/L 和溶液中的钠浓度在 5.0~10.0 mg/L 时,平行实验结果偏差可达 11.9%,比对质控样测定结果、加标回收实验结果,发现 ICP-OES 测定钠最可靠的线性区间是 1.0~5.0 mg/L。

表 3 稀释不同的倍数标准物质测定结果的差异
Table 3 Differences in the results of the determination of standard substances with different dilutions

样品	溶液中浓度/(mg/L)	样品含量/(mg/kg)	加标量/(mg/kg)	回收率/%	相对偏差/%	是否符合质控要求
蛋黄粉	< 0.5	1532	500/1000/2000	97.6/95.1/96.4	-11.4	否
	0.5~1.0	1564		103.0/106.1/108.2	-9.76	否
	1.0~5.0	1673		103.2/96.5/97.3	-3.29	是
	5.0~10.0	1790		108.0/107.5/109.3	3.47	是
	10.0~100.0	1873		114.4/120.3/118.3	7.23	否

表 4 稀释不同的倍数样品测定结果的差异
Table 4 Differences in the results of the determination of samples with different dilutions

样品	溶液中浓度/(mg/L)	样品含量/(mg/kg)	加标量/(mg/kg)	回收率/%
低聚肽粉	< 0.5	1100	500/1000/2000	107.9/105.7/95.8
	0.5~1.0	1270		105.4/100.8/100.9
	1.0~5.0	1301		97.8/104.9/94.5
	5.0~10.0	1398		109.7/112.8/113.4
	10.0~100.0	1456		112.4/114.2/110.9
豆乳	< 0.5	142.7	100/200/500	102.3/105.2/101.9
	0.5~1.0	152.1		97.4/95.3/96.3
	1.0~5.0	160.0		104.7/108.2/105.9
	5.0~10.0	171.2		113.2/112.1/119.2
烧烤料	< 0.5	17121	1000/2000/5000	104.3/106.8/102.1
	0.5~1.0	18045		98.4/101.5/94.6
	1.0~5.0	18685		96.7/104.8/101.9
	5.0~10.0	19891		108.9/112.1/114.3
	10.0~100.0	21331		121.0/118.3/123.4

2.1.3 基质的影响

电感耦合等离子体发射光谱法测定一般基质的样品如蛋黄粉、低聚肽粉、豆乳、奶粉、固体烧烤料等, 在最佳浓度 1.0~5.0 mg/L 范围内可以进行准确测定, 但是对于某些元素含量特别高、干扰钠的测定的样品如蒜粉、糖果(乳矿物盐压片糖果)准确度不高。如表 5 所示, 不加内标时, 测定蒜粉和糖果的加标回收率分别为 113.8%~117.1%和 115.1%~120.0%, 不符合 GB/T 27404—2008《实验室质量控制规范食品理化检测》中被测组分含量大于 100 mg/kg 时, 回收率 95%~105%的要求。为此本研究经过多次实验, 开发了一种电感耦合等离子体发射光谱加入内标的方法以测定食品中的钠, 由于钠的第一电离能小于 6.1 eV, 属于易电离易激发元素^[20], 而电感耦合等离子体温度明显高于钠原子线的标准温度, 使得钠的电离度大, 影响钠的测定,

而加入内标可以抑制钠的电离^[21], 提高测定准确性。由于锂与钠同属碱金属元素性质相近^[22], 故本研究选用锂(Li)作为内标溶液, 在标准溶液和样品溶液中加入锂, 使其最终浓度为 4 mg/L。选用特殊基质的样品蒜粉、糖果和一般基质的国家标准物质蛋黄粉样品, 前处理后通过电感耦合等离子体发射光谱法有无内标校正, 进行测定结果比对, 结果如表 5 所示。分析数据发现电感耦合等离子体发射光谱法测定蛋黄粉样品时, 加内标与不加内标, 测定结果的回收率均好、相对偏差都较小, 并且检测值都在标示值要求范围内, 采用加入内标的方法测定蒜粉和糖果, 加标回收率分别为 98.5%~104.8%、102.1%~104.3%, 说明加入内标的方法可以准确测定一般基质和特殊基质的样品, 也进一步说明通过改进实验方法电感耦合等离子体发射光谱法可以准确测定食品中的钠。

表 5 不同方法间结果比对
Table 5 Comparison of results between different methods

	ICP-OES(无内标)	ICP-MS	ICP-OES(有内标)
蛋黄粉	1639	1614.8	1673
	1701	1626.6	1692
	1697	1628.8	1684
	1623	1620.8	1702
	1664	1637.2	1655
平均值/(mg/kg)	1665	1626	1681
RSD%	1.83	1.15	1.08
加标量/(mg/kg)	500/1000/2000		
加标回收率%	104.8/100.2/103.9	103.5/97.6/101.5	95.3/98.5/96.8
蒜粉	905.7	788.8	837.7
	909.3	784.2	816.5
	893.4	800.4	817.7
	903.2	779.6	813.2
	938.9	789.6	820.5
平均值/(mg/kg)	910.1	788.5	821.1
RSD%	1.88	0.984	1.17
加标量/(mg/kg)	500/1000/2000		
加标回收率%	113.8/115.2/117.1	104.1/103.8/101.6	104.8/103.7/98.5
糖果	657.5	560.8	597.0
	678.1	560.3	585.5
	641.1	546.7	576.0
	642.7	542.6	559.2
	647.7	553.9	588.1
平均值/(mg/kg)	653.4	552.9	581.2
RSD%	2.33	1.47	2.47
加标量/(mg/kg)	500/1000/2000		
加标回收率%	118.1/120.0/115.1	102.7/104.2/102.6	104.3/102.1/103.2

2.2 电感耦合等离子体质谱法进行方法验证

本研究应用ICP-MS对ICP-OES测定不同基质的样品结果进行了验证比对,如表5所示。标准物质蛋黄粉的检测结果符合质控样的要求,且与电感耦合等离子体发射光谱法测定结果一致,蒜粉、糖果的测定结果与电感耦合等离子体发射光谱法加内标的方法一致。蛋黄粉、蒜粉、糖果这3种样品的加标回收率为97.6%~104.2%,符合GB/T 27404—2008对于加标回收率的要求,且对每种样品进行了5次平行测定,RSD为0.984%~1.47%,相对偏差小,方法精密度高,说明电感耦合等离子体质谱法能去除基质的影响,准确的测定食品中的钠,进一步表明通过选取合适的线性区间、加入内标的方法可以使电感耦合等离子体发射光谱法准确测定食品中的钠。

3 结 论

本研究通过选用不同基质的样品进行了电感耦合等离子体发射光谱法测定食品中钠的研究,考察了分析线的选择、线性范围的选择、基质的影响等影响测定结果的几个关键因素,发现ICP-OES的方法受样品溶液钠浓度范围、基质的影响较大。为此本研究改进了检验方法,开发了一种选用4 mg/L的锂作为内标溶液的方法,可以准确测定所有基质的样品,同时选取1.0~5.0 mg/L作为最可靠的线性区间。同时本研究应用电感耦合等离子体质谱法进行了方法准确性的验证比对,进一步说明了电感耦合等离子体发射光谱加入内标的方法测定结果的准确、可靠。在实际测定食品中钠时,可以首先选用ICP-OES不加入内标的方法,将溶液稀释至最佳浓度范围进行测定,同时做好质控样和加标回收实验。对于有特殊基质或者数据异常的样品,可以采用加入内标的方法进行实验,同时采用电感耦合等离子体质谱法进行验证比对。

参考文献

- LOPEZ AD, MATHERS CD, EZZATI M, *et al.* Global and regional burden of disease and risk factors, 2001: Systematic analysis of population health data [J]. *Lancet*, 2006, 367(9524): 1747–1757.
- 胡盛寿. 中国心血管健康与疾病报告 2019 概要[J]. 中国循环杂志, 2020, 35(9): 833–854.
HU SS. Report on cardiovascular health and diseases in China 2019: An updated summary [J]. *Chin Circul J*, 2020, 35(9): 833–854.
- 张杰, 赵志峰. 减盐策略及低钠盐研究进展[J]. 中国调味品, 2021, 46(3): 179–184.
ZHANG J, ZHAO ZF. Research progress of salt reduction strategies and low sodium salt [J]. *China Cond*, 2021, 46(3): 179–184.
- 翟艳丽, 冯向先, 原建慧, 等. 小学生家庭减盐教育前后食盐摄入和血压变化分析[J]. 中国预防医学杂志, 2020, 21(7): 732–736.
ZHAI YL, FENG XX, YUAN JH, *et al.* Changes of salt intake and blood pressure in elementary school students and their family members after school based salt reduction education program [J]. *China Prev Med*, 2020, 21(7): 732–736.
- HE FJ, LI JF, MACGREGOR GA. Effect of longer term modest salt reduction on blood pressure: Cochrane systematic review and meta-analysis of randomized trials [J]. *BMJ*, 2013, 346: 1325.
- 杨丽丽, 席波. 中国成年居民 2000-2015 年膳食钠、钾摄入量变化趋势分析[J]. 中国公共卫生, 2017, 33(8): 1249–1253.
YANG LL, XI B. Secular trends in dietary sodium and potassium intakes in Chinese population, 2000-2015 [J]. *China J Publ Health*, 2017, 33(8): 1249–1253.
- 何梅, 谢建斌, 唐华澄, 等. 中国包装食品中钠含量分析和变化的研究[J]. 卫生研究, 2007, 36(6): 703–705.
HE M, XIE JB, TANG HC, *et al.* Laboratory analysis and its variety for sodium in prepackaged foods in China [J]. *J Hyg Res*, 2007, 36(6): 703–705.
- 张雪松, 王竹, 何梅, 等. 中国预包装食品钠含量现状及变化趋势分析[J]. 卫生研究, 2014, 43(2): 250–253.
HANG XS, WANG Z, HE M, *et al.* Status and trend for sodium content of Chinese per-packaged foods [J]. *J Hyg Res*, 2014, 43(2): 250–253.
- 中国营养学会. 中国居民营养膳食营养素参考摄入量[M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2001.
Chinese Nutrition Society. Reference intakes of nutrients for Chinese residents [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2001.
- 于冬梅, 何宇纳, 房红芸, 等. 2010—2012 年中国成年居民食盐摄入状况[J]. 中国预防医学杂志, 2016, 50(3): 217–220.
YU DM, He YN, FANG HY, *et al.* Salt intake among Chinese adults in 2010-2012 [J]. *China Prev Med*, 2016, 50(3): 217–220.
- 何梅, 杨月欣. 各国营养标签实施方案的分析[J]. 国外医学: 卫生学分册, 2008, 2: 114–119.
HE M, YANG YX. Analysis of national nutrition labeling implementation programmes [J]. *Foreign Med Sci(Hyg Ed)*, 2008, 2: 114–119.
- 蚁碧珍, 杨婷婷, 曾健莹. 预包装食品营养标签中钠的表示问题分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(1): 351–354.
YI BZ, YANG TT, ZENG JY. Analysis of sodium labeling in nutrition label of prepackaged foods [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(1): 351–354.
- 秦乐蓉, 高梦颖, 王海滨, 等. 针对减盐减钠肉制品的问卷调查及低钠香肠研究现状的分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(16): 5577–5582.
QIN LR, GAO MY, WANG HB, *et al.* Questionnaire survey on salt and sodium-reducing meat products and analysis of current research situation of low-sodium sausages [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(16): 5577–5582.
- 林辉焕, 蔡展帆, 熊含鸿, 等. 电感耦合等离子体发射光谱法测定酱腌菜中钠含量的不确定度评定[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(18): 6462–6468.
LIN HH, CAI ZF, XIONG HH, *et al.* Uncertainty evaluation for determination of sodium in pickles by inductively coupled plasma spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(18): 6462–6468.
- 庞晋山, 黄刚, 卢森. 高压微波消解-电感耦合等离子体原子发射光谱同时测定进口奶粉中 Fe、Zn、Ca、Mg、Cu 含量[J]. 分析测试技术与仪器, 2004, 10(3): 169–172.
TANG JS, HUANG G, LU S. Simultaneous determination of Fe, Zn, Ca, Mg and Cu in exported milk powder by high pressured microwave digesting system and inductively coupled plasma atomic emission

- spectrometry [J]. Anal Test Technol Instrum, 2004, 10(3): 169–172.
- [16] 杨义钧. 电感耦合等离子体原子发射光谱法测定枸杞中11种元素含量[J]. 理化检验-化学分册, 2010, 46(4): 430–432.
- YANG YJ. Determination of 11 elements in medlar by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry [J]. Phys Test Chem Anal B, 2010, 46(4): 430–432.
- [17] 辛仁轩. 等离子体发射光谱分析[M]. 北京: 化学工业出版社, 2018.
- XIN EX. Plasma emission spectrometry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2018
- [18] 冯歆轶, 郭松年, 张耀武. 微波消解-电感耦合等离子体光谱法测定预包装食品中的钠含量[J]. 化学分析计量, 2014, 5: 27–29.
- FENG XY, GUO SN, ZHANG YW. Determination of sodium in prepackaged foods by ICP-AES with microwave digestion [J]. Chem Anal Meter, 2014, 5: 27–29.
- [19] 张遵, 赵收创, 王昌钊, 等. 电感耦合等离子体发射光谱法同时测定奶粉中钙铜铁钾镁锰钠锌和磷[J]. 理化检验-化学分册, 2007, 43(6): 465–467.
- ZHANG L, ZHAO SC, WANG CZ, *et al.* Simultaneous determination of Ca Cu Fe K Mg Mn Na Zn and P in the milk powder by inductively coupled plasma-atomic emission spectrometry [J]. Phys Test Chem Anal B, 2007, 43(6): 465–467.
- [20] 寿曼立. 仪器分析(二)发射光谱分析[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- SHOU ML. Instrumental analysis (II) emission spectrum analysis [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.
- [21] 汪正, 陈天裕, 张蓓红, 等. 端视等离子体原子发射光谱法中内标法校正钠基体干扰[J]. 分析化学, 2002, (10): 74–77.
- WANG Z, CHEN TY, ZHANG BH, *et al.* Internal standard compensation for interference of Sodium matrix in inductively coupled plasma atomic emission spectrometry [J]. Chin J Anal Chem, 2002, (10): 74–77.
- [22] 吕广顺. ICP-AES 锂内标法测定水中钾钠[J]. 理化检验-化学分册, 2003, 39(11): 677.
- LV GS. ICP-AES determination of potassium and sodium using internal standard method [J]. Phys Test Chem Anal B, 2003, 39(11): 677.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



高喜凤, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品相关分析检验。
E-mail: 565373537@qq.com

张喜琦, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品技术保障工作。
E-mail: zhxiqi73@163.com