

基于电感耦合等离子体质谱技术的乳制品中多种元素的半定量分析方法

于 趁, 艾连峰, 马育松*, 姚春毅, 贾海涛, 剧京亚, 张云鹏, 侯兰静
(河北出入境检验检疫局, 石家庄 050051)

摘 要: **目的** 采用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)建立乳制品元素分析的 He 碰撞反应池模式下半定量检测方法。**方法** 称取 0.40~0.50 g 样品, 加入 5 mL 硝酸和 1 mL 双氧水消解完全后, 碰撞池反应-电感耦合等离子体质谱法半定量测定。**结果** 通过对样品加标回收及对 GSB-8 乳粉标准物质的半定量分析, 结果显示, 该方法能够有效消除干扰, 实现对 Pb、Cd、Hg、As、Cr、Cu、Zn、Ca 等 72 种元素一次性快速测定, 测定结果偏差为(-19.6%)~(+4.9%), 实际样品回收率为 80.4%~104.9%。**结论** 该方法能快速确定样品中存在的元素及浓度范围, 可以应用于奶制品元素含量扫描分析, 为快速分析评价乳制品中矿物元素提供科学依据。

关键词: 半定量分析; 多元素; 乳制品; 碰撞池反应-电感耦合等离子质谱法

Determination of multi elements in dairy products by semi quantitative microwave digestion reaction collision cell inductively coupled plasma mass spectrometry

YU Chen, AI Lian-Feng, MA Yu-Song*, YAO Chun-Yi, JIA Hai-Tao, JU Jing-Ya,
ZHANG Yun-Peng, HOU Lan-Jing

(Hebei Entry-exit Inspection and Quarantine Bureau, Shijiazhuang 050051, China)

ABSTRACT: Objective To establish a semi-quantitative detection method in collision reaction pool for the element analysis in dairy products by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). **Methods** With adding 5 mL nitric acid and 1 mL hydrogen peroxide, 0.40~0.50 g sample was digested, and then it was determined by semi quantitative microwave digestion reaction collision cell inductively coupled plasma mass spectrometry. **Results** The sample recovery and semi-quantitative analysis of GSB-8 milk standard reference material showed that this method could effectively eliminate the interference. The implementation of Pb, Cd, Hg, As, Cr, Cu, Zn, Ca and other 64 elements could be simultaneously rapidly determined, the result deviation was in range of (-19.6%)~(+4.9%), and the recoveries of actual samples were 80.4%~104.9%. **Conclusion** This method can quickly determine the elements and the concentration range in samples, which can be applied to analyze the element content in dairy and provide scientific basis for the rapid analysis and evaluation of dairy elements.

基金项目: 国家质检总局科技计划项目(2013IK154)

Fund: Supported by the National Quality Inspection Administration Science and Technology Planning Project (2013IK154)

*通讯作者: 马育松, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品质量安全。E-mail: mys1974@126.com

*Corresponding author: MA Yu-Song, Senior engineer, Technical Center of Hebei Entry-exit Inspection and Quarantine Bureau, No. 318 West Road, Shijiazhuang 050051, China. E-mail: mys1974@126.com

KEY WORDS: semi quantitative analysis; multi elements; dairy products; collision cell reaction-inductively coupled plasma mass spectrometry

1 引言

乳制品,指的是使用牛乳或羊乳及其加工制品为主要原料,加入或不加入适量的维生素、矿物质和其他辅料,使用法律法规及标准规定所要求的条件而加工制成的产品。乳制品包括液体乳(巴氏杀菌乳、灭菌乳、调制乳、发酵乳)、乳粉(全脂乳粉、脱脂乳粉、部分脱脂乳粉、调制乳粉、牛初乳粉)、其他乳制品(炼乳、奶油、干酪等)。电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)分析技术是近几十年发展最快的无机微量及痕量元素分析技术之一,可以同时测定样品中多种元素的含量^[1-6],在应急监测中可发挥重要作用^[7]。常规定量分析中对于分析检测的每种元素都要有相应标准溶液,测定标准曲线后才进行分析测定。ICP-MS 半定量分析仅需一种或几种标准物质溶液即可实现对完全未知的溶液中元素的测定,准确度可达 $\pm 30\%$ 或更好^[8]。ICP-MS 根据已知浓度的半定量标准溶液中元素的灵敏度,估算出全质量轴范围元素的灵敏度曲线,然后根据校正曲线以及各元素的特征对半定量测定元素进行测定,给出相应的浓度^[7]。应用电感耦合等离子体全定量测定乳制品中一种或几种元素的研究常见报道^[9,10],但关于乳制品半定量测定的方法还未有相关研究。

本研究建立了一种微波消解前处理,八级杆碰撞反应池ICP-MS对乳制品中多元素进行半定量分析的方法,可以迅速确定乳制品中多元素的种类及浓度范围,为之后的全定量分析提供可靠依据,在乳制品风险监测中将会发挥重要作用。

2 材料与方法

2.1 材料与试剂

超纯水:电阻率为 $18.2\text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$;硝酸(MOS级,北京化学试剂研究所);双氧水:(北京化学试剂研究所)。

实验中容器用20%硝酸溶液浸泡24 h后超纯水

洗涤。

调谐液:含Ce、Co、Li、Tl、Y $10\text{ }\mu\text{g/L}$ (美国安捷伦公司)。

混合内标溶液:含Ag、Al、As、Ba、Be、Ca、Cd、Co、Cr、Cs、Cu、Fe、Ga、K、Li、Mg、Mn、Na、Ni、Pb、Rb、Se、Sr、Tl、U、V、Zn 10 mg/L 和Ca、Fe、K、Mg、Na 1000 mg/L (美国安捷伦公司)。

Hg、P单标: $1000\text{ }\mu\text{g/mL}$ (国家钢铁材料测试中心钢铁研究总院)。

半定量标准溶液配制:准确移取Hg、P单标 1.00 mL 定容至 100.00 mL ,配制成Hg、P浓度为 10 mg/L 的混合标准溶液,再准确移取混合内标溶液和Hg、P混合标液各 1.00 mL ,2%硝酸溶液定容至 100.00 mL ,再用2%硝酸溶液稀释定容,最后得到Ag、Al、As、Ba、Be、Ca、Cd、Co、Cr、Cs、Cu、Fe、Ga、K、Li、Mg、Mn、Na、Ni、Pb、Rb、Se、Sr、Tl、U、V、Zn、Hg、P浓度为 20 ng/mL 和Ca、Fe、K、Mg、Na浓度为 $2\text{ }\mu\text{g/mL}$ 的混合标准溶液。

国家标准物质:GBW10017(GSB-8)奶粉成分分析标准物质(地球物理地球化学勘察研究所)。

2.2 仪器与设备

7500CE 电感耦合等离子体质谱(美国安捷伦公司),配Micromist同心雾化器及镍锥采样锥;微波消解萃取仪Multiwave3000(奥地利安东帕有限公司)。

2.3 实验方法

2.3.1 电感耦合等离子体质谱仪参数

RF功率: 1500 W ; 等离子气流量: 15 L/min ; 载气流量: 0.82 L/min ; 蠕动泵转速: 0.1 rps ; He气流量: 4.5 mL/min ; 雾化室温度: $2.0\text{ }^{\circ}\text{C}$; 辅助气流量: 0.18 L/min ; 采样深度: 8.5 mm 。

2.3.2 样品处理

准确称取 $0.40\sim 0.50\text{ g}$ 样品,加入 5 mL 硝酸和 1 mL 双氧水放入聚四氟乙烯消解管中,按表1微波消解条件进行消解。消解完成后赶酸至 $1\sim 2\text{ mL}$,去离子水定容至 25 mL 。同法做样品空白。

表 1 微波消解工作条件
Table 1 Work conditions of microwave digestion

程序	功率/W	爬坡时间/min	保持时间/min	风扇
1	300	5	5	1
2	700	5	5	1
3	1100	5	10	1
4			20	3

注: 1R: 180 ℃

2.3.3 样品测定

用 10 ng/mL Li、Y、Ce、Tl、Co 混合调谐液对仪器条件进行优化, 使仪器的质量轴、分辨率、氧化物、灵敏度、双电荷等各项指标达到分析要求, 见表 2。设置氦气碰撞模式半定量分析方法, 一次测定半定量空白、半定量标准溶液、样品溶液。通过半定量标准溶液校正仪器半定量响应曲线, 并对样品溶液进行半定量数据分析。

3 结果与分析

3.1 前处理方法的选择

样品前处理方法一般有 3 种: 湿法消解、干灰化法和微波消解法。湿消解法需用大量的硝酸和高氯酸, 消化过程复杂, 试剂用量大, 易对环境造成污染, 且待测组分易被污染和损失^[12]。微波消解作为一种新的样品前处理技术, 近年来在元素分析过程中已被普遍采用^[13], 与湿法消化相比, 其具有以下优点: ①加热快, 升温高, 消解能力强, 溶样时间短; ②消耗试剂少, 空白值低; ③能避免挥发损失和样品沾污, 提高分析准确度和精密度的, 回收率令人满意; ④能降低劳动强度, 改善工作环境; ⑤节省电消耗, 降低分

析成本^[14], 所以选择微波消解密闭系统处理样品。

乳制品基质复杂且油脂含量不同, 乳粉和奶酪奶油等乳制品油脂含量较高, 所以称样量不宜太大。经过试验发现称样量控制在 0.40~0.50 g, 硝酸和双氧水的配比为 5:1(V:V)时, 采用微波消解的前处理方式可以得到消解完全且澄清的结果。

3.2 ICP-MS 模式的选择

ICP-MS 有两种模式: 普通模式和 He 碰撞池反应器模式。与常规 ICP-MS 全定量分析相同, 由于同质量元素同位素或多原子离子的干扰, 半定量分析也同样存在干扰^[15]。采用在氦气碰撞模式中用精确控制的动能歧视原理(KED)去除多原子离子干扰, 从而使对复杂和未知样品基体的分析得到准确的半定量结果, 基于干扰分子离子的直径总大于待测元素离子的直径而达到“分子过滤”的原理。对于同质量元素干扰的影响使用无干扰同位素进行测试^[16]。在乳制品半定量测定中, 质量数大于 27、小于 80 的元素易受 Ar、O、Cl、C、H 等元素干扰, 采用 He 碰撞池反应器模式可以有效的消除元素干扰, 实验结果也能达到要求。

3.3 标准样品的半定量分析

为了考察半定量分析结果的准确度, 对标准物质奶粉进行半定量分析, 半定量分析的元素有: Li、Be、B、Na、Mg、Al、Si、P、S、K、Ca、Sc、Ti、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、Ga、Ge、As、Se、Br、Rb、Sr、Y、Zr、Nb、Mo、Ru、Rh、Pd、Ag、Cd、In、Sn、Sb、Te、I、Cs、Ba、La、Ce、P、Nd、Pm、Sm、Eu、Gd、Tb、Dy、Ho、Er、Tm、Yb、Lu、Hf、Ta、W、Re、O、Ir、P、Au、Hg、Tl、

表 2 电感耦合等离子体质谱仪器工作条件和参数
Table 2 Working conditions and parameters of inductively coupled plasma mass spectrometry instrument

参数	⁷ Li	⁸⁹ Y	²⁰⁵ Tl
轴偏移(amu)	7.00±0.10	89±0.10	205±0.10
分辨率(W-10%)	0.65~0.80	0.65~0.80	0.65~0.80
灵敏度 cps/ppb(积分时间 0.1 s)		>1000	>1000
精密度(RSD)	<5%	<5%	<5%
背景(cps)	<30	<30	<30
氧化物比值		¹⁵⁶ Ce ⁺ O/ ¹⁴⁰ Ce ⁺ : <1%	
双电荷比值		⁷⁰ Ce ²⁺ / ¹⁴⁰ Ce ⁺ : <5%	

Pb、Bi、Th、U 共 72 种元素, 结合奶粉标准物质中有定值的元素, 测定结果如表 3 所示。由表 3 可以看出, 标准物质的半定量测定值在标定值范围内。

3.4 加标回收率

为考察半定量分析方法的抗干扰能力, 对某一品牌奶粉进行加标回收实验, 结果见表 4, 其中: Na、Mg、P 加标 1000 mg/kg, K、Ca 加标 2500 mg/kg, Cd、Zn、As、Pb、Cu、Sn、Cr、Hg 加标 1.00 mg/kg, Fe 加标 30 mg/kg, Se 加标 0.10 mg/kg。由表 4 可以看出, 实际样品的加标回收率在 80.4%~104.9%之间, 能得到满意结果。

3.5 实际样品的全定量和半定量分析

进行实际样品(选择某奶粉为代表)的全定量

和半定量分析比对试验, 以考察全定量和半定量结果的差异和衡量半定量分析结果的准确性, 结果见表 5。通过对比分析可以看出, 全定量和半定量测定结果均在同一浓度范围内, 分析结果较为可靠。

3.6 实际乳制样品的测量结果与分析

对市售 29 个不同厂家、不同批次、不同种类的液状乳制品进行实际测量, 测量结果见表 6。通过对 29 种市售乳制品测试发现, Pb、Cd、Hg、As 等污染元素均未检出, Cr、Cu 含量在合理值范围内, Zn、Ca 等微量元素含量与标签标定值吻合, 说明本方法快速准确, 可为快速筛查乳制品中元素含量提供可靠依据。

表 3 标准样品半定量分析结果
Table 3 Semi quantitative analysis results of standard sample

半定量元素(质量分数 %)	测定结果	标准值	半定量元素(质量分数 %)	测定结果	标准值
Na(10 ⁻²)	0.47	0.47±0.03	Zn(10 ⁻⁶)	32	34±2
Mg(10 ⁻²)	0.090	0.096±0.007	As(10 ⁻⁶)	0.024	0.031±0.007
P(10 ⁻²)	0.73	0.76±0.03	Se(10 ⁻⁶)	0.14	0.11±0.03
K(10 ⁻²)	1.21	1.25±0.05	Y(10 ⁻⁶)	0.005	0.008±0.003
Ca(10 ⁻²)	0.91	0.94±0.03	Mo(10 ⁻⁶)	0.31	0.28±0.03
Cr(10 ⁻⁶)	0.35	0.39±0.04	I(10 ⁻⁶)	1.0	1.12±0.23
Mn(10 ⁻⁶)	0.34	0.51±0.17	Cs(10 ⁻⁶)	0.029	0.034±0.005
Fe(10 ⁻⁶)	9.1	7.8±1.3	Pb(10 ⁻⁶)	0.052	0.07±0.02
Co(10 ⁻⁶)	0.023	0.030±0.007	Ba(10 ⁻⁶)	0.7	1.0±0.3
Cu(10 ⁻⁶)	0.39	0.51±0.13			

表 4 实际样品加标回收测定结果
Table 4 Results of determination of real samples spiked recovery

半定量元素	本底值(mg/kg)	加标测定(mg/kg)	回收率/%	半定量元素	本底值(mg/kg)	加标测定(mg/kg)	回收率/%
Na	1110	2116	100.6	Zn	2.64	3.51	87.0
Mg	260	1189	92.9	As	0	0.804	80.4
P	2990	4003	101.3	Se	0.085	0.167	82.0
Cd	0	0.891	89.1	Pb	0	0.932	93.2
K	5060	7683	104.9	Cu	2.67	3.55	88.0
Ca	4660	7013	94.1	Sn	0	0.866	86.6
Cr	0.011	0.937	92.6	Hg	0	0.813	81.3
Fe	59.7	86.5	89.3				

表 5 某奶粉测定结果
Table 5 Results of determination of milk powder

元素 (质量分数 %)	全定量	半定量	半定量/全定量%	元素 (质量分数 %)	全定量	半定量	半定量/全定量%
Na(10 ⁻²)	0.110	0.111	100.9	Zn(10 ⁻⁶)	2.91	2.64	90.7
Mg(10 ⁻²)	0.032	0.026	81.2	As(10 ⁻⁶)	/	<0.02	/
P(10 ⁻²)	0.315	0.299	94.9	Se(10 ⁻⁶)	0.097	0.085	87.6
Cd(10 ⁻⁶)	/	/	/	Pb(10 ⁻⁶)	/	<0.05	/
K(10 ⁻²)	0.508	0.506	99.6	Cu(10 ⁻⁶)	2.80	2.67	95.4
Ca(10 ⁻²)	0.532	0.466	87.6	Sn(10 ⁻⁶)	/	/	/
Cr(10 ⁻⁶)	0.010	0.011	110.0	Hg(10 ⁻⁶)	/	/	/
Fe(10 ⁻⁶)	6.11	5.97	97.7				

注: 1. 表示未检出。2. 因元素含量相差较大, 标准物质结果及标准物质测定结果均以质量分数计。

表 6 样品测定结果
Table 6 Results of samples determination

元素 样品	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Ca (mg/kg)	As (mg/kg)
酸牛奶	/	/	/	0.14	0.03	2.8	8.8×10 ²	/
风味酸乳	/	/	/	0.13	0.03	3.4	8.7×10 ²	/
低乳糖风味发酵乳	/	/	/	0.11	0.02	3.4	1.0×10 ³	/
益生菌风味发酵乳	/	/	/	0.11	0.03	2.9	9.9×10 ²	/
纯牛奶	/	/	/	0.13	0.04	3.6	1.2×10 ³	/
高钙调制奶	/	/	/	0.21	0.05	4.4	1.4×10 ³	/
调制乳	/	/	/	0.12	0.03	3.5	1.0×10 ³	/
调制乳	/	/	/	0.13	0.04	6.8	8.0×10 ²	/
乳饮品	/	/	/	0.89	0.11	1.3	3.7×10 ²	/
发酵乳	/	/	/	0.93	0.34	2.9	8.4×10 ²	/
发酵乳	/	/	/	0.31	0.05	3.5	1.0×10 ³	/
风味酸乳	/	/	/	0.14	0.04	3.5	1.2×10 ³	/
纯牛奶	/	/	/	0.12	0.04	1.3	1.0×10 ³	/
纯牛奶	/	/	/	0.13	0.03	3.6	1.1×10 ³	/
纯牛奶	/	/	/	0.21	0.04	3.7	1.1×10 ³	/
风味酸牛奶	/	/	/	0.14	0.03	3.1	1.0×10 ³	/
风味酸牛奶	/	/	/	0.13	0.02	3.0	1.0×10 ³	/
风味发酵乳	/	/	/	0.16	0.04	3.3	9.8×10 ²	/
风味酸牛奶	/	/	/	0.12	0.03	2.9	8.6×10 ²	/
风味酸牛奶	/	/	/	0.14	0.04	3.1	8.6×10 ²	/
风味酸牛奶	/	/	/	0.13	0.03	2.8	8.5×10 ²	/
风味酸乳	/	/	/	0.14	0.03	3.3	9.4×10 ²	/

续表 6

元素 样品	Pb (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Hg (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Ca (mg/kg)	As (mg/kg)
纯牛奶	/	/	/	0.12	0.04	3.8	1.0×10 ³	/
纯牛奶	/	/	/	0.13	0.03	3.6	1.0×10 ³	/
纯牛奶	/	/	/	0.13	0.04	3.8	1.0×10 ³	/
纯牛奶	/	/	/	0.13	0.03	3.7	1.1×10 ³	/
纯牛奶	/	/	/	0.12	0.03	3.6	9.9×10 ²	/
纯牛奶	/	/	/	0.16	0.03	3.2	1.0×10 ³	/
调制乳	/	/	/	0.13	0.03	7.4	7.4×10 ²	/

注: / 表示未检出。

5 结 论

微波消解前处理-He 碰撞池反应器模式 ICP-MS 半定量分析方法能够有效消除干扰, 具有良好的准确度, 能够在 6 min 之内对未知样品中元素进行一次半定量全扫描, 提供样品中所有金属元素存在的信息和浓度范围。本研究中乳粉的半定量分析测定结果、实际样品加标回收、实际样品的全定量和半定量分析均取得满意效果, 本方法能够为快速确定乳制品中元素种类和浓度提供科学依据。

参考文献

[1] 刘贵华, 谢建滨. 电感耦合等离子体光谱和质谱法用于饮水中多元素分析的研究[J]. 卫生研究, 2000, 29(6): 359–361.
Liu GH, Xie JB. Analysis of multi elements in drinking water by inductively coupled plasma spectrometry and mass spectrometry [J]. Health Res, 2000, 29(6): 359–361.

[2] 陈雪云, 刘丽萍. ICP-MS 测定水中 16 种元素[J]. 世界科技研究与发展, 2008, 30(2): 143–146.
Chen XY, Liu LP. Determination of 16 elements in water by ICP-MS [J]. World Sci Technol Res Devel, 2008, 30(2): 143–146.

[3] 况云所, 贾双琳, 陈菊. ICP-MS 同时测定水中 Mn 等元素[J]. 中国锰业, 2018, 28(3): 49–50.
Kuang YS, Jia SL, Chen J. ICP-MS simultaneous determination of Mn and other elements in water [J]. China Mang Ind, 2018, 28(3): 49–50.

[4] 连晓文, 杨秀环, 梁旭霞. ICP-MS 法快速测定葡萄酒中 11 种微量元素[J]. 中国卫生检验杂志, 2005, 15(8): 925–927.
Lian XW, Yang XH, Liang XX. ICP-MS method for the rapid determination of 11 trace elements in wine [J]. Chin J Health Ins, 2005, 15 (8): 925–927.

[5] 李冰, 杨红霞. 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)技术在地学

研究中的应用[J]. 地学前缘, 2003, 10(2): 367–377.

Li B, Yang HX. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) in the study of geo science [J]. Lead Edge, 2003, 10(2): 367–377.

[6] 彭博, 林维宣, 王玉萍, 等. 应用 ICP-MS 测定水果中重金属的分布[J]. 分析实验室, 2008, 27(增刊): 167–169.
Peng B, Lin WX, Wang YP, *et al.* Determination of the distribution of heavy metals in fruits by ICP-MS [J]. Chin J Anal Lab, 2008, 27(Suppl): 167–169.

[7] 沈沁怡, 徐蓬蓬, 季彦鋈, 等. ICP-MS 半定量分析在应急监测中的应用研究[J]. 环境科学与管理 2014, 39(2): 132–136.
Shen QY, Xu PP, Ji YJ, *et al.* Application of ICP-MS semi quantitative analysis in emergency monitoring [J]. Environ Sci Manag, 2014, 39(2): 132–136.

[8] 严霞. ICP-MS 半定量方法在水质应急监测中的应用[J]. 资源节约与环保, 2013, 7: 83–84.
Yan X. Application of ICP-MS semi-quantitative method in water quality emergency monitoring [J]. Res Sav Environ Prot, 2013, 7: 83–84.

[9] 刘丽萍, 吕超, 谭玲, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定乳制品中碘含量的方法研究[J]. 质谱学报. 2010, 31(3): 138–142.
Liu LP, Lv C, Tan L, *et al.* Study on the determination of iodine content in dairy products by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. J Mass Spect, 2010, 31(3): 138–142.

[10] 巩军, 赵建国, 姜金斗. 电感耦合等离子体质谱法测定乳制品中铝质量浓度[J]. 中国乳品工业. 2012, 40(6): 55–57.
Gong J, Zhao JG, Jiang JD. Determination of aluminum mass concentration in dairy products by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. China Dairy Ind, 2012, 40(6): 55–57.

[11] 陈义才, 沈忠民, 罗小平. 石油与天然气有机地球化学[M]. 北京: 科学出版社, 2007.
Chen YC, Shen ZM, Luo XP. Petroleum and natural gas geochemistry [M]. Beijing: Science Press, 2007.

- [12] 程玉明, 方家乐. 油品分析[M]. 北京: 中国石化出版社, 1993.

Cheng YM, Fang JL. Oil analysis [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 1993.

- [13] 侯祥麟. 中国炼油技术[M]. 北京: 中国石化出版社, 1991: 699–703.

Hou XL. China oil refining technology [M]. Beijing: China Petrochemical Press, 1991: 699–703.

- [14] 王小如. 电感耦合等离子体质谱应用实例[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.

Wang XR. Application of inductively coupled plasma mass spectrometry [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.

- [15] 樊颖果, 冯焕银. CRC- ICP- MS 在重金属突发环境事件中的半定量方法研究[J]. 中国环境监测. 2009, 25(1): 33–36.

Fan YG, Feng HY. Semi quantitative method research by CRC-

ICP- MS in heavy metal emergency accident [J]. China Environ Monit, 2009, 25(1): 33–36.

(责任编辑: 杨翠娜)

作者简介



于 趁, 硕士, 主要研究方向为食品、
化工品分析。

E-mail: yuky668@126.com

马育松, 硕士, 高级工程师, 主要研究
方向为食品质量安全。

E-mail: mys1974@126.com