# 普通模式与八极杆碰撞/反应池电感耦合等 离子体质谱法测定大米中痕量硒和铬的比较

庞艳华<sup>1</sup>,杨春光<sup>1</sup>,李一尘<sup>1</sup>,刘淑艳<sup>1</sup>,蒋 丹<sup>2\*</sup>

(1. 大连海关技术中心, 大连 116001; 2. 大连海洋大学, 大连 116023)

**摘 要:目的** 建立八极杆碰撞/反应池(octopole reaction system, ORS)结合电感耦合等离子体质谱法测定大 米中痕量铬和硒元素含量的方法,并比较普通模式和 ORS 模式对 2 种元素测定结果的差异。**方法** ORS 模式 采用屏蔽矩技术结合氦气碰撞反应池消除<sup>40</sup>Ar<sup>12</sup>C<sup>+</sup> 对 <sup>52</sup>Cr、<sup>39</sup>Ar<sup>39</sup>Ar<sup>+</sup>和 <sup>40</sup>Ar<sup>38</sup>Ar<sup>+</sup>对 <sup>78</sup>Se 的干扰,选用丰度较 高的同位素 <sup>52</sup>Cr、<sup>78</sup>Se 测定。普通模式通过在线加入内标校正基体干扰,选择同量异位素干扰较少的同位素 <sup>53</sup>Cr、<sup>82</sup>Se 测定。**结果** 普通模式铬和硒元素的检出限为 0.059、0.023 µg/L, 而 ORS 模式铬和硒的检出限为 0.027、0.012 µg/L。ORS 模式下,铬、硒元素在 0~100 µg/L 浓度范围内与检测信号线性关系良好,相关系数 大于 0.9998。**结论** 普通模式用于测定铬和硒含量较高的大米样品是可行的,应用 ORS 模式在痕量样品分析 时测定结果更准确可靠。

关键词: 电感耦合等离子体质谱法; 碰撞/反应池; 大米; 硒; 铬

# Comparison of determination of trace selenium and chromium in rice by normal mode and eight-pole collision/reaction pool inductively coupled plasma mass spectrometry

PANG Yan-Hua<sup>1</sup>, YANG Chun-Guang<sup>1</sup>, LI Yi-Chen<sup>1</sup>, LIU Shu-Yan<sup>1</sup>, JIANG Dan<sup>2\*</sup>

(1. Technology Centre of Dalian Customs, Dalian 116001, China; 2. Dalian Ocean University, Dalian 116023, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a method for the determination of trace selenium and chromium in rice by octopole reaction system (ORS)-inductively coupled plasma mass spectrometry, and compare the results and the difference between the normal mode and the ORS mode. **Methods** In ORS mode, shielding torch technology combined with helium collision reaction pool was adopted to eliminate the interference of  ${}^{40}\text{Ar}{}^{12}\text{C}{}^+$  on  ${}^{52}\text{Cr}$ ,  ${}^{39}\text{Ar}{}^+$  and  ${}^{40}\text{Ar}{}^{38}\text{Ar}{}^+$  on  ${}^{78}\text{Se}$ . Isotope  ${}^{52}\text{Cr}$  and  ${}^{78}\text{Se}$  with higher abundance were selected for determination. In the normal mode, the isotopes with less interference of isotopes ( ${}^{53}\text{Cr}$  and  ${}^{82}\text{Se}$ ) were selected for determination by adding internal standard online to correct the matrix interference. **Results** The detection limits of  ${}^{53}\text{Cr}$  and  ${}^{82}\text{Se}$  with no gas mode were 0.059 µg/L and 0.023 µg/L, while the detection limits of  ${}^{52}\text{Cr}$  and  ${}^{78}\text{Se}$  with ORS mode,  ${}^{52}\text{Cr}$  and  ${}^{78}\text{Se}$  had good linear relationship within the concentration range of 0– 100 µg/L, and the correlation coefficient were greater than 0.9998. **Conclusion** It is feasible to determine rice

基金项目: 国家质检总局科技专项(2015IK169)

Fund: Supported by Scientific Research Project of General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of China (2015IK169) \*通讯作者: 蒋丹, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品安全检测。E-mail: jiangdan66@163.com

<sup>\*</sup>Corresponding author: JIANG Dan, Ph.D, Professor, Dalian Ocean University, No.52, Heishijiao street, Shahekou District, Dalian Liaoning 116023, China. E-mail: jiangdan66@163.com

samples with high content of chromium and selenium in the normal mode, and the determination results are more accurate and reliable in the trace sample analysis with ORS mode.

KEY WORDS: inductively coupled plasma mass spectrometry; collision/reaction system; rice; selenium; chromiun

#### 1 引 言

随着人们健康意识的增强,食品安全得到越来越广 泛的重视,食品中微量元素的检测引起人们越来越多的 关注。无机元素分析在食品安全领域具有重要的作用,尤 其是毒性较大的重金属元素和一些有益微量元素的分 析。硒是保持人和动物生命活动必不可少的微量元素,研 究显示硒具有防癌、抗癌、抗氧化和提高机体免疫力的 生理功能,然而硒的摄入量范围有限,缺硒会引起克山 病、大骨病等多种疾病,过量食用易引起硒中毒<sup>[1-3]</sup>。铬 是机体必需的微量元素之一<sup>[4]</sup>,铬的缺乏会导致糖、脂 肪、蛋白质及核酸物质的代谢紊乱,但摄入量多会损害机 体健康,引起机体蛋白质变性,干扰酶系统,从而导致机 体中毒<sup>[5,6]</sup>。

大米是人类日常生活必不可少的营养来源,研究大 米中元素铬和硒的含量有重要意义<sup>[7]</sup>。目前元素的测定方 法主要有氢化物-原子荧光光谱法<sup>[8]</sup>、原子吸收光谱法<sup>[9]</sup>、 电感耦合等离子体发射光谱法[10]和电感耦合等离子体质 谱法[11]。氢化物-原子荧光光谱法需要将六价硒还原成四 价硒进行测定,操作比较烦琐、化学干扰因素多;石墨炉 原子吸收光谱法需要加入基体改进剂; 电感耦合等离子 体发射光谱法检测限较高, 难以满足痕量样品的检测要 求。电感耦合等离子体质谱仪是 20 世纪 80 年代发展起 来的多元素分析仪器,具有其他仪器无可比拟的性能, 高灵敏度、低检测限,可以分析元素周期表上几乎所有的 元素<sup>[12]</sup>。虽然电感耦合等离子体质谱(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)技术在日常样品分析 中已显示了独特的优势,但是多原子离子干扰严重限制 了电感耦合等离子体质谱仪的实际应用。为了解决这些 干扰问题,研究人员发明了许多消除干扰技术,如屏蔽 炬技术(shield torch)被成功地应用于消除 Ar<sup>+</sup>、ArO<sup>+</sup>、 ArH<sup>+</sup>、ArC<sup>+</sup>等分子离子的干扰,目前较多应用于半导体 行业检测[13]。反应池技术的应用可以消除多原子离子对 测定的干扰<sup>[14,15]</sup>,但是不同反应气体和增敏剂的加入, 会增加样品基体复杂性,单一反应气很难消除所有的质 谱干扰。

八极杆碰撞/反应池(octopole reaction system, ORS) 系统优化加强了仪器的基体耐受能力,通过多原子离子 与 He 的碰撞来减少多原子离子的干扰,适用于动植物 样品<sup>[16]</sup>、矿物<sup>[17]</sup>、土壤<sup>[18]</sup>以及血液、尿液<sup>[19]</sup>等复杂基 体样品的分析,但应用于大米样品中的研究相对较少。 因此,本研究比较了 ORS 系统消除干扰的效果,优化了 测定条件,通过加标回收实验和国家标准参考物质对测 定结果的准确性进行验证,建立基于碰撞/反应池电感 耦合等离子体质谱法测定大米中痕量硒和铬的方法,同 时比较了选择配置 ORS 系统与不配置 ORS 系统的 ICP-MS 技术测定大米中痕量的硒和铬,比较 2 种模式 测定大米中痕量元素的差别,为同类样品的测定提供 参考。

# 2 材料与方法

### 2.1 仪器与试剂

7800 型电感耦合等离子体质谱仪(带等离子体屏蔽装置,美国安捷伦公司); ETHOS I 型微波消解系统(意大利 麦尔斯通有限公司); Milli-Q 超纯水系统(美国密理博有限 公司)。

硒、铬标准储备溶液(1000 μg/mL,国家标准物质研究 中心);内标液(<sup>72</sup>Ge)(1 μg/mL)、质谱调谐液(<sup>7</sup>Li、<sup>89</sup>Y、 <sup>205</sup>Tl)(1 μg/L)(美国安捷伦公司);超纯水,电阻率≥18.2 MΩ· cm;硝酸(优级纯,天津科密欧化学试剂有限公司); 国家标准大米参考物质(GBW 10010、GBW 10044,中国地 质科学院地球物理地球化学勘查研究所)。

#### 2.2 样品处理

将大米样品粉碎过 40 目筛,于 40 ℃下烘 24 h。称取 样品 0.5 g(精确至 0.001 g)于 100 mL 聚四氟乙烯消化罐中, 加入 7 mL 浓硝酸浸泡 1 h 后,按照预先设定的微波消解程 序(表 1)消解样品,冷却后取出消化管,电热板 120 ℃赶酸 至约 1 mL,转移至 50 mL 容量瓶,用纯水定容至刻度,同 时做试剂空白。

夜 1 回及消解性子 Table 1 Microwave digestion procedure							
步骤	温度/℃	保持时间/min					
1	120	5					
2	170	5					
3	200	15					

#### 2.3 ICP-MS 仪工作条件

采用普通(No gas)和碰撞反应池(ORS)2种模式进行元素分析,2种模式的工作参数如表2所示。

Table 2 Condition a	and parameters of	of ICP-MS
参数	普通池	碰撞反应池
射频功率/W	1500	1500
采样锥孔径/mm	1.0	1.0
截取锥孔径/mm	0.4	0.4
采样深度/mm	7.5	7.5
载气流速/(L/min)	0.85	0.85
补偿气流速/(L/min)	0.20	0.20
冷却气体流速/(L/min)	15.0	15.0
氦气/(mL/min)	0	4.3
碰撞池入口/V	-30	-40
碰撞池出口/V	-50	-60
Deflect 电压/V	10	0
Plate Bias 电压/V	-35	-60
八极杆 RF/V	180	180
八极杆偏转电压/V	-8	-18
扫描次数	10	10
积分时间/ms	500	500
重复次数	3	3

#### 表 2 ICP-MS 仪器工作参数 able 2 Condition and parameters of ICP-MS

# 3 结果与分析

#### 3.1 干扰及其校正

ICP-MS 在分析过程中的质谱干扰主要来自于同量异 位素、多原子离子、双电荷离子、以及由载气 Ar 和水溶 液中 C、H、O、N 等构成的多种复合离子形成的背景质谱。 一般采用优化仪器条件和干扰校正方程等方法校正干扰, 元素的同位素选择以测定同位素的最大丰度值为原则避免 选用多原子干扰和同量异位素重叠的同位素<sup>[18]</sup>。在 ICP-MS 分析中 CeO<sup>+</sup>/Ce<sup>+</sup>为氧化物指标, Ce<sup>2+</sup>/Ce<sup>+</sup>为双电荷 指标,通过采用<sup>7</sup>Li、<sup>89</sup>Y 和 <sup>205</sup>Tl 的混合标准质谱调谐液, 对仪器操作参数进行优化,控制仪器的氧化物指标 (CeO<sup>+/</sup>Ce<sup>+</sup>)和双电荷指标(Ce<sup>2+</sup>/Ce<sup>+</sup>)分别小于 1.5%和 3%, 可有效降低氧化物和双电荷对测定元素的干扰。

屏蔽矩技术可以抑制氩的衍生物离子的产生,提高 待测元素的检出能力,能提供较高的离子化效率和基体的 耐受性<sup>[12]</sup>。实验比较采用屏蔽矩和不采用屏蔽矩对待测元 素的影响,采用屏蔽矩可有效提高待测元素响应信号强度, 对于消除等离子体的高电势、信号的长期稳定性有很好的 效果。

非质谱干扰主要为基体效应和仪器漂移, ICP-MS 分

析中的基体效应主要是指基体元素在测量过程中对待测元 素信号强度成增强或抑制而形成的非谱线干扰。消除非质 谱干扰的主要方法是样品和标准溶液尽可能采用相同的基 体,同时选用内标元素进行外部校正。内标元素的加入, 用于监测和校正测定过程信号短期或长期的漂移,并可对 元素及一般的基体效应进行校正。内标元素 Ge 的电离能 与待测元素 Cr、Se 接近,实验采用在线加入元素 <sup>72</sup>Ge 内 标法对基体效应进行了校正。

#### 3.2 检测模式的选择

因为 ICP-MS 测定元素铬和硒时, <sup>52</sup>Cr 受到 <sup>40</sup>Ar<sup>12</sup>C<sup>+</sup> 干扰, <sup>80</sup>Se 受 Ar 双原子离子 <sup>40</sup>Ar<sup>40</sup>Ar<sup>+</sup>严重干扰, <sup>78</sup>Se 也会 受到多原子离子如 <sup>39</sup>Ar<sup>39</sup>Ar<sup>+</sup>、 <sup>40</sup>Ar<sup>38</sup>Ar<sup>+</sup>的质谱干扰。研究 通过在八极杆池内充入氦气模式,考察待测元素背景等效 浓度(background equivalent concentration, BEC)的变化情况, 通过多原子离子与氦气的碰撞来减少多原子离子的干扰, 结合高效的屏蔽炬技术达到有效消除质谱干扰的目的。实 验结果表明,在氦气模式下,易受干扰的元素背景等效浓 度大幅度降低,提高了痕量元素测定的准确度。普通模式 选择丰度较大且同量异位素干扰较少的同位素 <sup>53</sup>Cr、<sup>82</sup>Se 作为测定同位素以克服质谱干扰。

通过研究比对 2 种模式下大米标准物质(GBW 10010、GBW 10044)的检测结果, 通过对大米标准物质 进行 6 次平行测定以获得仪器的稳定性数据,结果如表 3 所示。可以看出, 普通模式(No gas)测定大米中<sup>82</sup>Se、 <sup>53</sup>Cr 的结果与证书中的值相比明显偏低, 而碰撞反应池 模式测定结果与证书值更接近。当待测元素 Se、Cr 含 量较高时,普通模式与碰撞反应池 2 种模式的测定值较 接近,且都与标准值相吻合。而当待测元素含量较低时, 2 种检测模式的测定结果有较大差异, 普通模式的测定 值明显低于标准值, 而碰撞反应池模式测定结果与证书 值更接近。这主要是因为 <sup>82</sup>Se 天然丰度为 8.73%, <sup>53</sup>Cr 天然丰度为 9.50%, 碰撞反应模式灵敏度会有一定幅度 下降,仪器数据表明 ORS 模式下 <sup>78</sup>Se、<sup>52</sup>Cr 的响应值均 明显大于普通模式下<sup>82</sup>Se、<sup>53</sup>Cr 的响应值。采用<sup>82</sup>Se、 53Cr 作为响应信号会对普通模式分析方法的灵敏度和稳 定性产生较大影响。

#### 3.3 线性关系及检出限

通过对试剂空白进行 11 次测量,3 倍相对标准偏差计 算方法的检出限。按照实验方法测定标准系列溶液,以待 测元素的质量浓度为横坐标,对应的信号强度值为纵坐标, 仪器自动给出元素的校准曲线,校准曲线线性方程及相关 系数见如表4所示,铬、硒的浓度在0~100 μg/L,与检测信 号均具有良好的线性关系。分别采用<sup>52</sup>Cr、<sup>78</sup>Se 和 <sup>53</sup>Cr、 <sup>82</sup>Se 作为碰撞反应池模式和普通模式的响应信号时,碰撞 反应池模式较普通模式方法的检出限更低。

合	口	宁.	$\Delta$	臣	具	₩	), in the	严	セ
艮	日日	女	Ξ£.	灰	里	迎	伙	÷	JK

Table 3Determination results of ICP-MS with No gas and ORS mode $(n=3)$											
样品	元素	模式		测定值/(ng/g)					平均值/(ng/g)	RSD/%	标准值/(ng/g)
Se GBW 10010 Cr	5.	No gas	39.2	51.3	48.5	36.8	55.2	45.6	46.1	6.5	61±15
	50	ORS	60.6	58.7	56.9	62.5	66.8	59.4	60.8	3.2	
	C.	No gas	72.1	67.1	79.6	69.8	74.9	66.4	71.7	4.6	96±14
	Cr	ORS	83.6	88.4	92.8	91.5	82.7	84.6	87.3	3.9	
GBW 10044	5.	No gas	15.2	21.4	16.8	13.2	22.9	16.8	17.7	3.4	20
	50	ORS	24.9	31.1	26.5	28.2	29.3	32.2	28.7	2.5	-30
	C.	No gas	168.2	161.4	154.2	144.6	155.9	161.9	157.7	7.4	170 - 50
	Cr	ORS	180.2	161.5	166.8	172.9	178.4	168.5	171.4	6.5	170±30

表 3 不同检测模式测定结果比较(n=3) able 3 Determination results of ICP-MS with No gas and ORS mode (n=3)

表 4 不同检测模式的线性范围及检出限 Table 4 Linearity range and the detection limits of ICP-MS with No gas and ORS mode

模式	同位素	线性方程	线性范围/(μg/L)	相关系数 r	检出限/(µg/L)
No gas	<sup>82</sup> Se	<i>Y</i> =0.3164 <i>X</i> + 0.00065	0~100	0.9997	0.023
	<sup>53</sup> Cr	<i>Y</i> =3.3349 <i>X</i> +0.0014	0~100	0.9999	0.059
ORS	<sup>78</sup> Se	<i>Y</i> =0.4428 <i>X</i> +0.00064	0~100	0.9998	0.012
	<sup>52</sup> Cr	<i>Y</i> =4.0472 <i>X</i> +0.0138	0~100	0.9999	0.027

# 3.4 方法的准确度

选取市售的大米样品,粉碎烘干处理后,定量加入 铬、硒标准溶液,经过微波消解前处理后 ICP-MS 仪上 机检测,样品测定结果如表 5 所示,每个样品平行测定 3 次,ORS 模式添加回收测定结果较高于普通模式,ORS 模式添加回收范围在 88.8%~101.2%,相对标准偏差 (relative standard deviation, RSD)为 5.6%~8.8%,普通模 式添加回收范围在 70.4%~94.1%,相对标准偏差为 3.2%~6.8%,方法精密度较高。

## 3.5 样品测定

选取不同产地的大米样品,按照上述检测方法,采用碰撞反应池模式检测大米中硒、铬的含量。结果如表 6 所示,不同地区采集的普通大米样品中硒含量在 33~50 ng/g 之间、铬的含量在 102~179 ng/g 之间。近年来富硒大米逐渐受到人们关注,实验同样选取了不同产地的富硒大米样品检测其中硒和铬的含量,结果发现富硒大米中硒的含量确实明显高于普通大米样品,GB/T 22499-2008《富硒稻谷》<sup>[20]</sup>对硒的含量要求为 0.04~0.30 mg/kg 之间,所有检测样品均满足标准要求。

表 5 方法精密度和回收率(n=3) Table 5 Precisions and recoveries test of the method(n=3)

元素 本底值/(ng/g)	<b>太</b> 広広((	加标量/(ng/g)	No gas			ORS		
	平成值/(ng/g)		测定值/(ng/g)	RSD/%	回收率/%	测定值/(ng/g)	RSD/%	回收率/%
		50	41.3	8.8	82.6	45.5	6.5	91.0
Cr	98.2	100	89.5	7.2	89.5	93.6	5.2	93.6
		200	188.2	5.6	94.1	189.8	4.6	94.9
		25	17.6	7.9	70.4	22.2	6.8	88.8
Se	52.6	50	42.8	6.6	85.6	50.6	4.9	101.2
		100	92.4	6.4	92.4	94.7	3.2	94.7

Tuble 0	r county o	ice samples	nu șelentum	content m	
之事	普通大利	枨/(ng/g)	富硒大米/(ng/g)		
) 112	Cr	Se	Cr	Se	
辽宁	133.2	42.5	145.4	102.6	
湖南	102.6	49.4	120.5	93.2	
四川	178.9	39.6	165.4	88.6	
黑龙江	119.6	46.5	114.9	111.5	
广西	161.6	33.8	178.7	124.5	

# 表 6 大米样品中铬和硒含量的检测结果 Table 6 Testing results of chromium and selenium content in

# 4 结 论

本研究建立了碰撞反应池-电感耦合等离子体质谱法 测定大米中痕量铬和硒的检测方法。样品经过微波消解处 理,在线加入内标元素 <sup>72</sup>Ge 校正基体效应,八极杆碰撞/ 反应池结合屏蔽炬技术有效消除质谱干扰,通过加标回 收、精密度实验和标准物质测定,证明该方法准确度、精 密度好,且操作简单,检出限低,完全可以满足大米中痕 量铬和硒的测定要求。通过对普通模式和配置 ORS 模式对 比,进一步证实八极杆碰撞/反应池技术是目前质谱分析 中消除质谱干扰最有效的手段之一,比普通模式下获得的 结果更准确,为同类样品的测定提供了参考。

#### 参考文献

王秀红. 微量元素硒与人体健康[J]. 微量元素与健康研究, 2006, 23(1):
 66.

Wang XH. Selenium and health [J]. Stud Trace Elem Health, 2006, 23(1): 66.

- [2] Brown KM, Arthur JR. Selenium, selenoproteins and human health: A review [J]. Publ Health Nutr, 2001, 4(2B): 593–599.
- [3] Rayman MP. Selenium in cancer prevention: a review of the evidence and mechanism of action [J]. Proc Nutr Soc, 2005, 64(4): 527–542.
- [4] Ali AH, Kondo K, Namura T, et al. Aberrant DNA methylation of some tumor suppressor genes in lung cancers from workers with chromate exposure [J]. Mol Carcinogen, 2011, 50(2): 89–99.
- [5] 王振来, 钟艳玲. 微量元素铬的研究进展[J]. 中国饲料, 2001, 4: 16-17.

Wang ZL, Zhong YL. Research progress of trace element chromium [J]. China Feed, 2001, 4: 16–17.

[6] 李桂影. 铬中毒的临床反应和实验研究[J]. 国外医学(医学地理分册), 2002, 23(1): 33-35.

Li GY. Clinical and experimental study on chromium poisoning [J]. Foreign Med Sci (Sect Medgeogr), 2002, 23(1): 33–35.

[7] Guo X, Popkin BM, Mroz TA, et al. Food price policy can favourably

alter macronutrient intake in China [J]. J Nutr, 1999, 129(5): 994-1001.

[8] 刘丙正. 微波消解-原子荧光光谱法测定富硒精米中硒[J]. 环境卫生学 杂志, 2013, 18(2): 49–52.

Liu BZ. Determination of selenium-rich rice by atomic fluorescence spectrometry with microwave digestion [J]. J Environl Hyg, 2013, 18(2): 49–52.

- [9] 陈露, 陈季旺, 刘珊珊, 等. 石墨炉原子吸收法测定武汉市售大米中镉 含量的研究[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(4): 1394-1400. Chen L, Chen JW, Liu SS, *et al.* Determination of cadmium content tin rice from Wuhan market using graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(4): 1394–1400.
- [10] 马占玲, 励建荣. ICP-AES 法测定小米和高粱米中的金属元素[J]. 中国 粮油学报, 2012, 18(2): 63-64.
   Ma ZL, Li JR. Determination of metal elements in millet and sorghum rice

by ICP-AES [J]. J Chin Cere Oils Assoc, 2015, 23(4): 56-60. [11] 刘淑君, 平庆杰, 李菊, 等. 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定大 米及米粉类食品中有害元素[J]. 食品与生物技术学报, 2012, 31(7):

771–775. Liu SJ, Ping QJ, Li J, *et al.* Determination of the harmful elements in rice

and rice flour noodles by inductively coupled plasma mass spectrometry[J]. J Food Sci Biotechnol, 2012, 31(7): 771–775.[12] Montaser A. Inductively coupled plasma mass spectrometry [M]. New

- [12] Montaser A. Inductively coupled plasma mass spectrometry [M]. New York: Wiley, 1998.
- [13] 黄双. 电感耦合等离子体质谱法测定高纯五氧化二铌中25种痕量杂质 元素[J]. 冶金分析, 2019, 39(3): 13-20.
  Huang S. Determination of twenty-five trace impurity elements in high purity niobium pentoxide by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Metal anal, 2019, 39(3): 13-20.
- [14] 杏朝刚,袁京群,李士敏. 微波消解-动态反应池电感耦合等离子体质 谱测定农产品中的痕量硒[J]. 浙江农业学报, 2018, 30(8): 1414–1419. Xing CG, Yuan JQ, Li SM. Determination of trace selenium in agricultural products with microwave digestion-dynamic reaction cell inductively couples plasma mass spectrometry [J]. Acta Agric Zhejiangensis, 2018, 30(8): 1414–1419.
- [15] 许佳章, 谭洪兴, 刘小立, 等. ICP-MS 动态反应池(氧气)模式检测水 果中硒元素含量[J]. 卫生研究, 2011, 40(4): 510–511. Xu JZ, Tan HX, Liu XL, *et al.* Determination of selenium in fruits with oxygen dynamic reaction cell inductively couples plasma mass spectrometry [J]. J Hyg Res, 2011, 40(4): 510–511.
- [16] 王楠, 庞艳华, 孙瑶等. 碰撞反应池-电感耦合等离子体质谱法检测海 藻食品中重金属[J]. 食品安全质量检测学报, 2015, 6(1): 48-53.
  Wang N, Pang YH, Sun Y, *et al.* Determination of heavy metals in seaweed food by inductively coupled plasma-mass spectrometry with octopole reaction system [J]. J Food Saf Qual, 2015, 6(1): 48-53.
- [17] 章连香,冯先进.八极杆碰撞/反应池(ORS)-电感耦合等离子体质谱 (ICP-MS)法测定复杂矿物中的稀土元素[J].中国无机分析化学,2017, 7(2):22-26.

Zhang LX, Feng XJ. Determination of rare earth elements in complex minerals by octopole reaction systems (ORS)-inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) [J]. Chin J Inorg Anal Chem, 2017, 7(2): 22–26.

- [18] Amr MA, Helal AF, Al-Kinani AT, *et al.* Ultra- trace determination of <sup>90</sup>Sr, <sup>137</sup>Cs, <sup>238</sup>Pu, <sup>239</sup>Pu and <sup>240</sup>Pu by triple quadruple collision/reaction cell-ICP-MS/MS: Establishing a baseline for global fallout in Qatar soil and sediments [J]. J Environ Radioactiv, 2016, 153(12): 73–87.
- [19] 欧阳珮珮,吴惠刚,黄诚,等.血液和尿液及头发中 16 种稀土元素的 电感耦合等离子体质谱测定法[J].环境与健康杂志,2019,36(1): 57-60.

Ouyang PP, Wu HG, Huang C, *et al.* Determination of sixteen rare-earth elements in blood, urine and hair samples by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. J Environ Health, 2019, 36(1): 57–60

[20] GB/T 22499-2008 富硒稻谷[S].GB/T 22499-2008 Rich selenium paddy [S].

(责任编辑:李磅礴)



作者简介

庞艳华,博士,高级工程师,主要研究
 方向为食品安全检测。
 E-mail: pyh\_lnciq@126.com

蒋 丹,博士,研究员,主要研究方向
 为食品安全检测。
 E-mail: jiangdan66@163.com

# "果蔬加工和质量安全控制"专题征稿函

我国是果蔬生产大国,水果蔬菜的总产量在世界名列前茅,果蔬产品也成为我国较好的经济来源之一。蔬菜、水果等农产品的质量安全越来越受到全社会关注,在生产阶段和加工、包装、储运等采后阶段进行质量 安全风险控制显得越来越必要和紧迫。

鉴于此,本刊特别策划了"果蔬加工和质量安全控制"专题,由郑州轻工业学院纵伟教授担任专题主编。 专题将围绕(1)果蔬加工过程质量安全识别控制; (2)果蔬生产过程质量安全朔源控制; (3)果蔬产后处理与贮运 过程质量安全控制。或您认为本领域有意义的问题综述及研究论文均可,专题计划在 2020 年 12 月出版。

本刊主编国家风险评估中心吴永宁研究员与专题主编纵伟教授及编辑部全体成员特邀请有关食品领域研究人员为本专题撰写稿件,综述、研究论文和研究简报均可。请在 2020 年 11 月 20 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并经审稿合格后优先发表。

同时烦请您帮忙在同事之间转发一下,希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。再次感谢您的关怀与支持!

投稿方式(注明专题<mark>果蔬加工和质量安全控制</mark>):

网站: www.chinafoodj.com(备注: 投稿请登录食品安全质量检测学报主页-作者

登录-注册投稿-投稿栏目选择"2020 专题: 果蔬加工和质量安全控制")

邮箱投稿: E-mail: jfoodsq@126.com(备注: 果蔬加工和质量安全控制 专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部