

# 盐酸振荡浸取-原子荧光光谱法测定大米中的痕量镉

杨有泽<sup>1,2</sup>, 杨珍<sup>1,2</sup>, 贺攀红<sup>1,2\*</sup>, 马琳<sup>1,2</sup>, 孙银生<sup>1,2</sup>, 龚治湘<sup>3</sup>

(1. 河南省核工业地质局, 郑州 450044; 2. 河南省核工业放射性核素检测中心, 郑州 450044;  
3. 重庆民泰新农业科技发展集团有限公司, 重庆 400060)

**摘要:** **目的** 建立盐酸振荡浸取原子荧光光谱法测定大米中痕量镉的分析方法。**方法** 使用体积比为 1:1 的盐酸溶液振荡快速浸取大米, 在原子荧光光谱仪上, 采用以水为载流的进样方式测定大米中的镉含量。研究优化进样方式后的记忆效应、盐酸酸度、硼氢化钾浓度、镉增敏剂用量及共存离子的影响。**结果**  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$  对镉的测定干扰较为严重, 100  $\mu\text{g/L}$  以上的  $\text{Cu}^{2+}$ 、50  $\mu\text{g/L}$  以上的  $\text{Pb}^{2+}$  对镉的测定产生负干扰。以水为载流的进样方式无记忆效应, 节省了酸试剂用量。方法检出限为 0.75  $\mu\text{g/kg}$ , 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)小于 2%, 样品加标回收率为 91.6%~100.6%。**结论** 该方法前处理操作简单、分析速度快、灵敏度高, 适用于大米样品中痕量镉的测定。

**关键词:** 盐酸振荡浸取; 氢化物发生-原子荧光光谱法; 大米; 痕量; 镉

## Determination of trace cadmium in rice by atomic fluorescence spectrometry with hydrochloric acid oscillating extraction

YANG You-Ze<sup>1,2</sup>, YANG Zhen<sup>1,2</sup>, HE Pan-Hong<sup>1,2\*</sup>, MA Lin<sup>1,2</sup>, SUN Yin-Sheng<sup>1,2</sup>, GONG Zhi-Xiang<sup>3</sup>

(1. Henan Province Nuclear Industry Geology, Zhengzhou 450044, China; 2. Henan Radionuclide Detection Center of Nuclear Industry, Zhengzhou 450044, China; 3. Chongqing Mintai New Agricultural Science and Technology Development Group Co., Ltd., Chongqing 400060, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a method for the determination of trace cadmium in rice by atomic fluorescence spectrometry with hydrochloric acid oscillating extraction. **Methods** The rice was quickly extracted by 1:1 hydrochloric acid, and cadmium in rice was determined by atomic fluorescence spectrometry with water as carrier current. The memory effect after optimizing injection mode, acidity of hydrochloric acid, concentration of potassium borohydride, dosage of cadmium sensitizer and influence of coexisting ions were studied in detail. **Results** The interference of  $\text{Cu}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  on the determination of cadmium was more serious.  $\text{Cu}^{2+}$  above 100  $\mu\text{g/L}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  above 50  $\mu\text{g/L}$  had negative interference on the determination of cadmium. The injection mode with water as carrier current had no memory effect and saved the amount of acid reagent. The limit of detection cadmium was 0.75  $\mu\text{g/kg}$ , the relative standard deviation (RSD) was less than 2%, and the recoveries were 91.6%~100.6%. **Conclusion** The method is simple, rapid and sensitive, and suitable for the determination of trace cadmium in rice samples.

**KEY WORDS:** hydrochloric acid oscillating leaching; hydride generation-atomic fluorescence spectrometry; rice;

\*通信作者: 贺攀红, 高级工程师, 主要研究方向为光谱分析。E-mail: hepanhong1983@163.com

\*Corresponding author: HE Pan-Hong, Senior Engineer, Henan Radionuclide Detection Center of Nuclear Industry, No.79, Kaiyuan Road, Huiji District, Zhengzhou, 450044, China. E-mail: hepanhong1983@163.com

trace; cadmium

## 0 引言

大米是我国主要的粮食作物之一,近些年来镉超标大米频繁出现,引起了人们对镉污染的高度重视。镉在人体内长期累积会诱发多种疾病,严重危害我们的健康。GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[1]</sup>明确了食品中镉元素限量值 $\leq 0.2$  mg/kg,同时 GB 5009.15—2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》<sup>[2]</sup>明确了镉元素的石墨炉原子吸收光谱法检测方法。

镉元素常见的检测方法主要有石墨炉原子吸收光谱法<sup>[3-7]</sup>、电感耦合等离子体质谱法<sup>[8-14]</sup>、氢化物发生-原子荧光光谱法<sup>[15-19]</sup>等。在这些方法中常用的前处理方法有微波消解<sup>[20-21]</sup>、湿式消解法<sup>[22-23]</sup>、干灰化法消解法<sup>[24]</sup>等,这些方法都较为成熟。但在测定大米样品时,传统的消解方法步骤烦琐,前处理时间长,并且污染环境,对检测人员身体有伤害。同时大米样品中镉含量低,复杂前处理过程容易污染样品,影响测试结果的准确性。

本研究对大米样品前处理的操作,采用稀盐酸溶液快速振荡法浸取大米中的镉,在浸取液中加入镉增敏剂和硫脲,直接定容至刻度后,以水为载流,在原子荧光光谱仪上测定大米中的镉。以期为大米样品中痕量镉的测定提供参考。

## 1 材料与方 法

### 1.1 仪器与试剂

CAF-1800 双道原子荧光光谱仪(重庆民泰新农业科技发展集团有限公司);镉特制空心阴极灯;调速多用振荡器(江苏金坛市中大仪器厂);BSA224S 电子天平(德国赛多利斯公司);50 mL 规格聚四氟乙烯溶样管(江苏滨海县正红塑料仪器厂)。

镉标准储备溶液(国家有色金属及电子材料分析测试中心)。

大米粉成分分析标准物质[GBW(E)100352,钢铁研究总院分析测试研究所];硼氢化钾(优级纯,天津南开公允集团有限公司);氢氧化钠(优级纯,天津科密欧化学试剂有限公司);硫脲(分析纯,国药集团化学试剂有限公司);镉增敏剂(谱焰实业有限公司);盐酸(优级纯,烟台双双化工有限公司)。

实验用水为超纯水(电阻率大于 18.0 M $\Omega$ .cm)。实验所用的器皿均需硝酸(20:80, V:V)浸泡 24 h 后使用超纯水冲洗干净,晾干后使用。

### 1.2 仪器工作条件

负高压为 240 V、灯电流为 30 mA、原子化器高度为

9 mm、进样泵转速为 100 r/min、载气流量为 450 mL/min、屏蔽气流量为 1200 mL/min、取样时间为 5 s、信号采集时间为 10 s。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 溶液配制

镉标准溶液配制:镉标准储备溶液(10.0 mg/L)用盐酸(4:96, V:V)逐级稀释成 5.0  $\mu$ g/L 的标准溶液。分别准确吸取 0.00、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 mL 的 5.0  $\mu$ g/L 镉标准溶液于 1~6 号 50 mL 容量瓶中,每个容量瓶中加入 5.0 mL 50 g/L 硫脲,1.5 mL 50 g/L 镉增敏剂,用(4:96, V:V)定容至刻度,混匀。此标准系列镉的质量浓度为 0.00、0.10、0.20、0.30、0.40、0.50  $\mu$ g/L。

硼氢化钾-氢氧化钠混合溶液(25~8 g/L):称取 0.8 g 氢氧化钠用水溶解冷却后,再称取 2.5 g 硼氢化钾,定容至 100 mL(使用前现配)。

硫脲溶液(50 g/L):称取 5.0 g 硫脲用水溶解后,定容至 100 mL。

镉增敏剂(50 g/L):称取 5.0 g 镉增敏剂用水溶解后,定容至 100 mL。

盐酸(1:1, V:V):量取 100 mL 水于 250 mL 烧杯中,再量取 100 mL 浓盐酸与水混合,搅拌均匀。

盐酸(4:96, V:V):量取 192 mL 水于 250 mL 烧杯中,再量取 8 mL 浓盐酸与水混合,搅拌均匀。

#### 1.3.2 样品前处理

准确称取 0.2 g(精确至 0.1 mg)大米样品于聚四氟乙烯溶样管中,加入盐酸(1:1, V:V)4.0 mL,在振荡器上振荡约 3 min 后取下,加入 5.0 mL 50 g/L 硫脲,1.5 mL 50 g/L 镉增敏剂,定容至 50 mL,静置澄清后,以水为载流上机测定,同时制备 2 个试剂空白。

#### 1.3.3 标准工作曲线绘制

使用配制的镉标准系列溶液,制作标准工作曲线,原子荧光仪的双进样管一根进标准系列溶液,一根进硼氢化钾-氢氧化钠溶液,吸取样品结束后,将双进样管全部放入水中,以水为载流进样测定。以镉标准溶液的质量浓度  $\rho$ ( $\mu$ g/L)为横坐标,荧光强度  $I$  为纵坐标,绘制标准曲线。

## 2 结果与分析

### 2.1 进样方式优化

所用原子荧光仪在吸取样品 5 s 后,将 2 根进样管一同放入水中,以水为载流进样。仪器根据设定时间(10 s 左右)自动读取信号。此种以水为载流的进样方式,区别于以稀酸为载流消除管路中残存样品记忆效应的做法。考察以水为载流进样方式下的记忆效应,配制 0.00  $\mu$ g/L 和

0.40 μg/L 的镉标准溶液, 采用交替测定方法, 考察试剂空白的荧光强度变化, 结果见表 1。

由表 1 可知, 测定 0.40 μg/L 镉标准溶液后立刻测定试剂空白, 试剂空白的荧光强度基本无变化, 说明以水为载流的进样方式无记忆效应的影响, 采用此种进样方式是可行的, 操作简单同时节省了酸试剂的用量。

### 2.2 标准工作曲线绘制

以镉标准溶液的质量浓度  $\rho(\mu\text{g/L})$  为横坐标, 荧光强度  $I$  为纵坐标, 得到镉标准系列的线性方程为  $I=14774.3\rho+40.9$ , 镉在实验浓度范围内, 质量浓度与荧光强度呈线性, 线性相关系数为 0.9997。

### 2.3 盐酸酸度的选择

不同的酸度对元素的荧光强度有较大的影响。实验测定了不同盐酸 1%、2%、2.5%、3%、3.5%、4%、4.5%、5%、5.5%、6%、7%、8%、9%、10%( $V/V$ ) 酸度下镉荧光强度, 确定镉所使用的最佳盐酸酸度。用 0.40 μg/L 的镉标准溶液测定 1%~10% 盐酸酸度下的镉荧光强度, 结果见图 1。

由图 1 可出, 随着盐酸酸度的增大, 镉的荧光强度图形几乎呈抛物线形状, 表明镉对盐酸酸度的要求范围较窄, 3.5%~4.5% 荧光强度比较大, 本研究选择 4% 的盐酸酸度进行实验。

### 2.4 硼氢化钾浓度的影响

硼氢化钾作为还原剂, 其浓度的多少直接影响镉

氢化物的产生效率。浓度过小, 氢化物反应不完全, 导致荧光强度降低; 浓度过大产生大量氢气稀释了氢化物浓度, 导致荧光强度降低, 并且荧光强度稳定性也会变差。测定了镉元素在 0~35 g/L 硼氢化钾的荧光强度, 见图 2。

图 2 实验结果表明, 在 0~35 g/L 范围内, 镉元素荧光强度随着硼氢化钾浓度增大而增大, 但是硼氢化钾浓度大于 25 g/L 后, 荧光强度增加不明显, 同时考虑到信号的稳定性和本底值, 本研究选择 25 g/L 的硼氢化钾浓度为实验浓度。

### 2.5 硫脲用量的选择

硫脲在  $\text{Co}^{2+}$  存在下对镉也有增敏作用。用 0.40 μg/L 的镉标准溶液实验考察硫脲的用量。分别加入 0、0.5、0.75、1.0、1.5、2.0 mL 50 g/L 的硫脲溶液, 结果显示加入硫脲后, 镉的荧光强度有 3% 左右的增加。在实验用量 0.5~2.0 mL 范围内, 镉的荧光强度变化不明显。为方便使用, 本研究选择每 10 mL 溶液中加入 1.0 mL 50 g/L 的硫脲溶液。

### 2.6 镉增敏剂的用量和作用时间

在测定镉的过程中, 需要使用到含钴离子的镉增敏剂, 以提高测定镉的灵敏度和稳定性。用 0.40 μg/L 的镉标准溶液实验, 考察使用不同浓度镉增敏剂的荧光强度, 并在各浓度点分别测定 7 次, 考察其各浓度点的稳定性, 结果见表 2。

表 1 记忆效应  
Table 1 Memory effect

测定顺序	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
镉标准浓度/(μg/L)	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00	0.40	0.00
荧光强度	994	5828	985	5795	978	5841	971	5765	963	5798	970

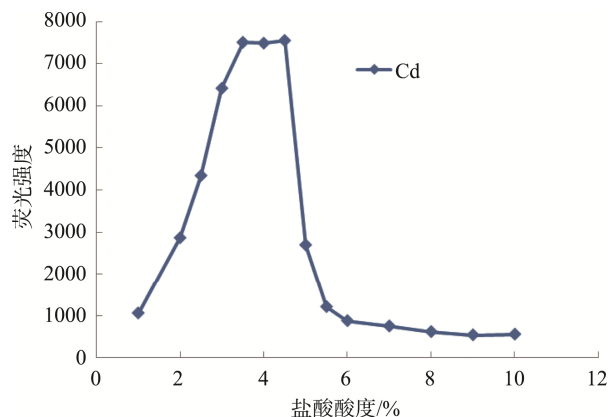


图 1 盐酸酸度对荧光强度的影响

Fig.1 Effects of hydrochloric acid acidity on fluorescence intensity

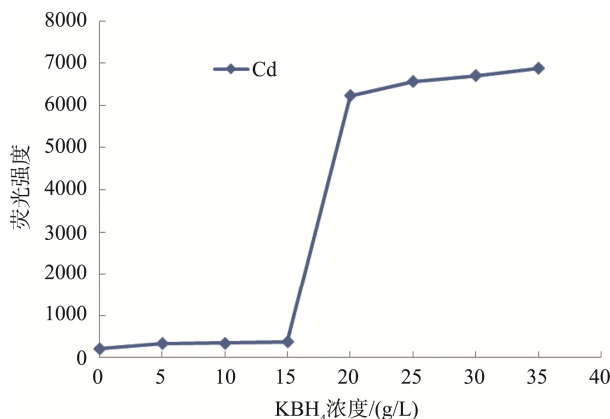


图 2 硼氢化钾浓度对荧光强度的影响

Fig.2 Effects of concentration of  $\text{KBH}_4$  on fluorescence intensity

由表2可知, 镉增敏剂的使用提高了镉的测定灵敏度, 含0.15%镉增敏剂溶液的荧光强度较不加增敏剂的溶液提高了约3.7倍。从稳定性看, 不使用增敏剂RSD%大于5%, 增敏剂的使用在提高灵敏度的同时提高了数据稳定性。镉增敏剂用量在0.15%~0.175%时荧光强度最大, 考虑到配制试剂方便及节省试剂, 本研究选择0.15%镉增敏剂进行实验。

在0.40  $\mu\text{g/L}$ 的镉标准溶液中加入0.15%的镉增敏剂, 考察其与样品作用时间的关系。结果显示, 加入镉增敏剂后在1~25 min内间隔时间测定, 其荧光强度没有明显改变, 即镉增敏剂的作用是瞬间的, 加入镉增敏剂后即可测定。

## 2.7 共存离子 $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 的影响

考察了大米样品中共存离子  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 对镉测定的影响。配制0~500  $\mu\text{g/L}$ 不同质量浓度的  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 混合标准系列溶液, 采用在线三通法考察其干扰情况。实验结果表明,  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 对镉的干扰较为严重, 100  $\mu\text{g/L}$ 以上的  $\text{Cu}^{2+}$ 、50  $\mu\text{g/L}$ 以上的  $\text{Pb}^{2+}$ 对镉产生负干扰。

使用电感耦合等离子体质谱法测定了市售几种大米中  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 共存离子的大致含量, 其结果显示大米测定

溶液中  $\text{Cu}^{2+}$ 含量为10~20  $\mu\text{g/L}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ 含量为0.3~1.5  $\mu\text{g/L}$ , 远低于  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 对镉的干扰浓度, 所以在测定大米中镉时可以不考虑  $\text{Cu}^{2+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 的影响。

## 2.8 方法检出限与精密度

按照实验方法连续11次测定试剂空白, 根据  $DL=3 \times s/K$  计算镉元素的检出限, 根据称样量换算样品检出限。对国家标准物质 GBW(E)100352 中镉含量进行测定, 平行测定7次, 计算相对标准偏差。结果见表3、表4。GB 5009.15-2014《食品安全国家标准 食品中镉的测定》方法检出限为1.0  $\mu\text{g/kg}$ , 本研究方法检出限略低。

## 2.9 样品测定

按照实验方法测定了5种不同品牌的大米实际样品, 并进行加标回收实验, 同时用石墨炉原子吸收光谱法进行了测定, 结果见表5。表中数据显示, 本研究测定的实际样品加标回收率在91.6%~100.6%之间, 满足 GB/T 27404-2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》<sup>[25]</sup>中回收率范围要求, 该法适合大米中痕量镉的测定。

表2 增敏剂用量  
Table 2 Dosage of sensitizer

溶液中镉增敏剂用量/%	0	0.05	0.075	0.1	0.125	0.15	0.175	0.20	0.25
荧光强度平均值	1305	3282	3698	4407	4582	4847	4852	4783	4613
相对标准偏差( $n=7$ )/%	5.12	1.73	1.96	1.25	1.38	2.15	2.24	2.14	6.86

表3 检出限实验结果( $n=11$ )  
Table 3 Results of tests for detection limit( $n=11$ )

试剂空白荧光强度	标准偏差 $s$	DL/ $(\mu\text{g/L})$	方法检出限/ $(\mu\text{g/kg})$
773、753、764、779、786、770、793、795、788、795、791	14.0	0.003	0.75

表4 精密度实验结果( $n=7$ )  
Table 4 Results of tests for precision( $n=7$ )

标准物质名称	元素	标准值 $\omega/(\mu\text{g/kg})$	测定值 $\omega/(\mu\text{g/kg})$	相对误差/%	RSD/%
GBW(E)100352	Cd	870	859	-1.26	1.01

表5 样品分析结果  
Table 5 Sample analysis results

样品名称	测定值 $\omega/(\mu\text{g/kg})$	加标量 $\omega/(\mu\text{g/kg})$	测得总量 $\omega/(\mu\text{g/kg})$	加标回收率/%	国标法测定值 $\omega/(\mu\text{g/kg})$
大米 1#	5.00	5.00	9.92	98.4	5.11
大米 2#	3.70	5.00	8.28	91.6	3.85
大米 3#	9.00	5.00	13.9	98.0	9.22
大米 4#	3.80	5.00	8.41	92.2	3.92
大米 5#	2.40	5.00	7.43	100.6	2.38

### 3 结 论

采用盐酸振荡浸取法处理样品,测定时采用水为载流的进样方式,建立原子荧光光谱法快速测定大米中镉的方法,经大米标准物质和实际样品验证,取得满意结果。盐酸振荡快速浸取的前处理方法简单、快速,与其他国标和文献方法相比,减少了中间易污染步骤,节省了试剂。方法准确度、精密度较好,适合批量大米样品的快速测定。

### 参考文献

- [1] GB 2762-2017 食品安全国家标准 食品中污染物限量[S].  
GB 2762-2017 National food safety standard-Limit pollution in food [S].
- [2] GB 5009.15-2014 食品安全国家标准 食品中镉的测定[S].  
GB 5009.15-2014 National food safety standard-Determination of cadmium in food [S].
- [3] 徐小艳,孙明远,苏文焯,等.微波消解-石墨炉原子吸收光谱法连续测定水果和蔬菜中铅镉[J].食品科学,2009,30(10):206-208.  
XU XY, SUN MY, SU WZ, *et al.* Continuous determination of lead, chromium and cadmium in fruit and vegetable by microwave digestion-graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. Food Sci, 2009, 30(10): 206-208.
- [4] 肖竹青,袁丽红,张华,等.直接提取进样石墨炉原子吸收法测定大米中的镉含量[J].粮油食品科技,2016,24(1):61-63.  
XIAO ZQ, YUAN LH, ZHANG H, *et al.* Determination of cadmium content in rice by direct dilution injection graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. Sci Technol Cereals Oil Foods, 2016, 24(1): 61-63.
- [5] 王亚东,王志鹏,吕秉霖,等.石墨炉原子吸收法检测大米中镉含量影响因素的响应面优化[J].粮食储藏,2014,43(6):41-46.  
WANG YD, WANG ZP, LU BL, *et al.* Optimization of testing conditions of cadmium of cadmium content in rice using graphite furnace atomic absorption spectrometry by response surface methodology [J]. Grain Storage, 2014, 43(6): 41-46.
- [6] 樊祥,邵敏,刘博,等.石墨炉原子吸收光谱法测定海产品中镉含量[J].理化检验-化学分册,2013,49(1):35-38.  
FAN X, SHAO M, LIU B, *et al.* GFAAS determination of cadmium in seafoods [J]. Phys Test Chem Anal Part B, 2013, 49(1): 35-38.
- [7] 郭明才.高压湿法消解样品中-石墨炉原子吸收光谱法测定食品中的镉[J].理化检验-化学分册,2014,50(10):1305-1306.  
GUO MC. Determination of cadmium in food by graphite furnace atomic absorption spectrometry with high pressure wet digestion [J]. Phys Test Chem Anal Part B, 2014, 50(10): 1305-1306.
- [8] 代伟萍,秦爱萍. ICP/MS 法测定真菌类食品中铅、镉含量[J]. 中国公共卫生管理, 2015, 31(3): 405-406.  
DAI WP, QIN AP. Determination of lead and cadmium in fungus food by ICP/MS [J]. Chin J Public Health Manag, 2015, 31(3): 405-406.
- [9] 戴骐,吴艳燕,张伟,等.电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定动植物源食品中有害元素铅、砷、镉、汞、铜[J].食品科技,2009,34(12):315-317.  
DAI Q, WU YY, ZHANG W, *et al.* Determination of harmful elements Pb, As, Cd, Hg, Cu in animal and plant origin food by inductively coupled plasma-MS spectrometry [J]. Food Sci Technol, 2009, 34(12): 315-317.
- [10] 吴友玲.湿法快速消解-ICP-MS法测定大米中的铅、镉、铬[J].轻工科技,2019,35(7):11-13.  
WU YL. Determination of lead, cadmium and chromium in rice by ICP-MS with rapid wet digestion [J]. Light Ind Sci Technol, 2019, 35(7): 11-13.
- [11] 伍燕湘,周明慧,张洁琼,等.稀酸提取-ICP-MS法测定大米中的铅、镉、铬[J].中国粮油学报,2019,34(2):112-117.  
WU YX, ZHOU MH, ZHANG JQ, *et al.* Rapid detection of Cd, Mn, Pb, Zn, Cu, Rb and Sr in rice using diluted acid extraction method by ICP-MS method [J]. J Chin Cereals Assoc, 2019, 34(2): 112-117.
- [12] 张吴,唐珂,龚娴. ICP-MS 法测定大米中的镉[J]. 轻工科技, 2015, (3): 107-109.  
ZHANG W, TANG K, GONG X. Determination of cadmium in rice by ICP-MS [J]. Light Ind Sci Technol, 2015, (3): 107-109.
- [13] 黄海婷. ICP-MS 法测定大米中的铬、砷、镉、汞、铅的含量[J]. 广州化工, 2015, 43(13): 130-172.  
HUANG HT. Determination of Cr, As, Cd, Hg and Pb in rice by ICP-MS [J]. Guangzhou Chem Ind, 2015, 43(13): 130-172.
- [14] 冯秀芳.微波消解-ICP-MS法同时测定小麦籽粒中的铅、镉、铬、砷[J].湿法冶金,2016,35(3):268-270.  
FENG XF. Determination of Pb, Cd and As in wheat by microwave digestion-ICP-MS [J]. Hydrometallurgy China, 2016, 35(3): 268-270.
- [15] 李小燕,张硕,罗文明,等.氢化物发生-原子荧光光谱法测定大米中镉方法探讨[J].应用预防医学,2015,21(2):135-138.  
LI XY, ZHANG S, LUO WM, *et al.* Determination of cadmium in rice by hydride generation atomic fluorescence spectrometry [J]. Appl Prev Med, 2015, 21(2): 135-138.
- [16] 艾伦弘,汪模辉,朱霞萍,等.氢化物发生-原子荧光光谱法测定蔬菜中的镉[J].分析实验室,2007,26(5):119-122.  
AI HL, WANG MH, ZHU XP, *et al.* Determination of cadmium in vegetables by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. Chin J Anal Lab, 2007, 26(5): 119-122.
- [17] 吴育廉,杨捷,吴晓萍,等.氢化物发生-原子荧光光谱法测定牡蛎中的镉[J].化学分析计量,2013,22(2):28-30.  
WU YL, YANG J, WU XP, *et al.* Determination of cadmium in oyster by hydride generation atomic fluorescence spectrometry [J]. Chem Anal Meter, 2013, 22(2): 28-30.
- [18] 张锂,韩国才.微波消解-无色散原子荧光光谱法直接测定食品添加剂中镉[J].中国卫生检验杂志,2006,16(7):788-789.  
ZHANG L, HAN GC. Determination of cadmium in food addition by atomic fluorescence spectrometry with microwave digestion [J]. Chin J Healthy Lab Technol, 2006, 16(7): 788-789.
- [19] 李艳春,李佳华,杨松梅,等.湿法消化-氢化物原子荧光法测定植物提取物中镉的含量[J].云南化工,2016,43(5):45-47.  
LI YC, LI JH, YANG SM, *et al.* Wet digestion-hydride generator atomic fluorescence spectrometry for determination content of cadmium in plant extracts [J]. Yunnan Chem Technol, 2016, 43(5): 45-47.
- [20] 刘华梅,戴瑞平,刘涛,等. ICP-MS 和石墨炉原子吸收法测定不同食品中镉含量[J].安徽农业科学,2018,46(36):178-182.  
LIU HM, DAI RP, LIU T, *et al.* Determination of cadmium in different foods by ICP-MS and graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. J Anhui Agric Sci, 2018, 46(36): 178-182.
- [21] 张建辉,张继红,张丽,等. ICP-MS 法和石墨炉原子吸收法测定大米

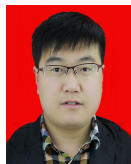
- 中镉含量不确定度评估的比较[J]. 食品科学, 2016, 37(18): 185-189.
- ZHANG JH, ZHANG JH, ZHANG L, *et al.* Comparative study of uncertainty evaluation for the determination of cadmium content in rice by inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS) and graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. Food Sci, 2016, 37(18): 185-189.
- [22] 刘小根, 曾福华, 曹维强, 等. 石墨炉原子吸收光谱法检测大米中镉含量的方法优化[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(3): 765-768.
- LIU XG, ZENG FH, CAO WQ, *et al.* Optimization of determination of cadmium content in rice by graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(3): 765-768.
- [23] 李欣, 吴跃, 周文化, 等. 湿法消解条件对大米中镉定量检测的影响[J]. 粮食与油脂, 2016, 6(29): 82-84.
- LI X, WU Y, ZHOU WH, *et al.* Effect of wet digestion conditions on the quantitative detection of cadmium in rice [J]. Cereals Oil, 2016, 6(29): 82-84.
- [24] 梁晓聪, 朱参胜, 李天来, 等. 石墨炉原子吸收光谱法测定食品中镉[J]. 微量元素与健康研究, 2005, 22(3): 49-50.
- LIANG XC, ZHU CS, LI TL, *et al.* Determination of cadmium content in food by AAS [J]. Stud Trace Elem Health, 2005, 22(3): 49-50.
- [25] GB/T 27404-2008 实验室质量控制规范 食品理化检测[S].
- GB/T 27404-2008 Criterion on quality control of laboratories-Chemical testing of food [S].

(责任编辑: 王 欣)

### 作者简介



杨有泽, 工程师, 主要研究方向为食品安全检测。  
E-mail: 407386336@qq.com



贺攀红, 高级工程师, 主要研究方向为光谱分析。  
E-mail: hepanhong1983@163.com

## 食品加工工艺优化及应用研究

随之人类对自身健康的关注及生活水平的提高, 加工食品因保持其原色、原味及食品营养成分的优越性备受关注。越来越多的新工艺新方法应用于食品加工业, 尤其是多种工艺的综合利用, 对食品行业的发展起到了巨大的推动作用。

鉴于此, 本刊特别策划“食品加工工艺优化及应用研究”专题, 主要围绕加工工艺优化(提取工艺优化、配方优化、纯化优化、制备优化、响应面法优化等)、食品加工的综合利用及评价等问题展开讨论, 计划在 2021 年 2/3 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 学报主编国家食品安全风险评估中心 吴永宁 研究员特邀请您为本专题撰写稿件, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力, 综述及研究论文均可。请在 2021 年 1 月 30 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(注明专题食品加工工艺优化及应用研究):

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: 食品加工工艺优化及应用研究”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsqa@126.com(备注: 食品加工工艺优化及应用研究专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部