

# 微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定 食用菌中的 16 种金属元素

王 洁\*, 徐 萍, 吴金莹

(苏州市产品质量监督检验院, 苏州 215128)

**摘 要:** **目的** 建立微波消解-电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)同时测定食用菌中 16 种金属元素含量的分析方法。**方法** 采用硝酸-双氧水微波消解进行前处理, ICP-MS 检测的方法进行测定, 并对方法的线性范围、检出限、精密度和回收率等进行考察, 并将该方法用于 5 种食用菌样品中 16 种金属元素含量的及检测。**结果** 各元素在相应的浓度标准曲线范围内呈良好的线性关系, 相关系数为 0.9992~1.0000, 检出限为 0.001~0.80  $\mu\text{g/L}$ , 回收率为 80.2%~108.3%, 相对标准偏差为 0.08%~3.88%。**结论** 该方法测定食用菌中的重金属元素操作方便, 灵敏度高, 干扰较小, 检出限低, 精密度高, 准确度较好, 能够满足食用菌中多种元素同时检测的需要。研究发现食用菌尤其是木耳类含铝元素相对较高, 同时含有微量元素锌和铜, 摄入需要适当。

**关键词:** 食用菌; 金属元素; 微波消解; 电感耦合等离子体发射质谱法

## Determination of 16 kinds of metal elements in edible fungi by microwave digestion and inductively coupled plasma-mass spectrometry

WANG Jie\*, XU Ping, WU Jin-Ying

(Suzhou Institute of Product Quality Supervision and Inspection, Suzhou 215128, China)

**ABSTRACT: Objective** To establish a method for simultaneous determination of 16 metal elements in edible fungi by microwave digestion and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). **Methods** The samples were treated by  $\text{H}_2\text{O}_2$  microwave digestion, and 16 metal elements in 5 kinds of edible fungi were analyzed by ICP-MS. The linear range, limit of detection, precision and recovery rate of the method were investigated, and the method was applied to detect 16 kinds of metal elements in 5 kinds of edible fungi samples. **Results** Each element had a good linear relationship in the range of the corresponding concentration standard curve. The correlation coefficient was 0.9992–1.0000, the limit of detection was 0.001–0.80  $\mu\text{g/L}$  and the recovery rates were 80.2%–108.3%, with the relative standard deviation between 0.08%–3.88%. **Conclusion** This method is simple, less interference, high sensitivity, low detection limit, high precision and good accuracy in the determination of various elements in edible fungi, and is suitable for simultaneous determination of various elements in edible fungi. In addition, it is found that edible fungi, especially auricularia, contains relatively high aluminum, and trace elements like zinc and copper. It is suggested that people should eat edible fungi properly.

**KEY WORDS:** edible fungi; metal elements; microwave digestion; inductively coupled plasma-mass spectrometry

\*通讯作者: 王洁, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。E-mail: 10325322@qq.com

\*Corresponding author: WANG Jie, Senior Engineer, Suzhou Institute of Product Quality Supervision and Inspection, No.1368B, Wuzhong Avenue, Suzhou 215104, China. E-mail: 10325322@qq.com

## 1 引言

随着社会经济的发展, 人们的绿色环保意识越来越强, 对食品安全的要求也越来越高。食用菌含有丰富的蛋白质和氨基酸, 其含量是蔬菜和水果的几倍至几十倍。食用菌不仅味美, 而且营养丰富, 常被人们称作“素中之荤”, 还具有降低血液中的胆固醇、治疗高血压的作用, 除此之外, 研究还发现香菇、蘑菇、金针菇、猴头菇中含有增强人体抗癌能力的物质。除了食用价值外, 食用菌还有多种抗病治病的药用保健价值, 现已引起国内外许多研究学者重视, 逐渐由食用扩大转为药用研究开发。然而由于食用菌对重金属的富集作用远超过其他绿色植物, 而如今土壤、水等环境污染日益严重, 造成食用菌中重金属超标严重<sup>[1]</sup>。GB 2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[2]</sup>中对食用菌中的铅(Pb)、砷(As)、镉(Cd)、汞(Hg)有着严格的限量要求。重金属镉(Cd)能够导致高血压, 引起心脑血管疾病, 破坏骨骼和肝肾, 并引起肾衰竭; 铊(Sb)对皮肤有放射性损伤; 钒(V)能伤害人体的心、肺, 导致胆固醇代谢异常; 锰(Mn)超量时会使人甲状腺机能亢进<sup>[3-5]</sup>。尽管国家标准中仅对食用菌中铅、砷、镉、汞含量规定了要求, 但是由于各种重金属元素对人体都有不同程度的危害, 因此研究食用菌中各种重金属含量具有非常重要的意义。

食用菌样品中的元素通常以有机态的形式存在, 因此测定之前需要进行消解处理。常用的消解方法有干法灰化、湿法消解、微波消解, 3 种前处理方法相比较, 微波消解最为方便, 消解效果也是最好<sup>[6]</sup>。本研究参照 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》<sup>[7]</sup>, 采用微波消解-电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)对食用菌中的 16 种元素进行测定, 并对该方法的准确度和精密度进行了考察, 以期在今后对食用菌中重金属元素的研究提供一定基础。

## 2 材料与方 法

### 2.1 仪器与试剂

Agilent 7700X 电感耦合等离子体质谱仪(美国安捷伦科技有限公司); Phoenix 微波灰化仪、MARS6 微波消解仪(美国 CEM 公司); Vulcan 42 全自动样品消解仪(加拿大 Questron 公司); ML104 系列天平(0~120 g, 英国梅特勒-托利多公司); BHW-09C 恒温加热器(上海博通化学科技有限公司);

标准储备溶液: 美国安捷伦公司提供的环境标样 Environmental Calibration Standard Part#5188-4688 铝(Al)、钒(V)、铬(Cr)、锰(Mn)、镍(Ni)、铜(Cu)、锌(Zn)、砷(As)、硒(Se)、钼(Mo)、银(Ag)、镉(Cd)、铋(Ba)、铅(Pb)浓度均为 10 mg/L; 汞(Hg)标准溶液浓度为 1000 mg/L; 内

标溶液: Part#5188-6525 铋(Bi)、锗(Ge)、铟(In)、锂(Li)、镱(Lu)、铈(Rh)、钪(Sc)、铽(Tb)浓度均为 100 mg/L; 硝酸、双氧水(电子级, 苏州晶瑞化学股份有限公司)。

### 2.2 实验方法

#### 2.2.1 样品前处理

食用菌样品用均质器粉碎后, 过 80 目试验筛, 备用。称取 0.3~0.5 g 样品, 置于消解管中, 加入 5 mL 硝酸, 2 mL 双氧水, 放置过夜。按照表 1 微波消解操作条件进行消解, 消解后在 160 °C 恒温加热器上赶酸 70 min, 冷却, 定容至 50 mL, 同时做空白试验, 对于有些浓度较高的元素依次稀释至标准曲线浓度范围之内。

#### 2.2.2 标准溶液的配制

将各个元素的标准储备液分别稀释, 配制成相应浓度的标准系列, 各标准溶液的浓度为 0、10、20、30、40、50 µg/L。

#### 2.2.3 仪器条件

##### (1) 微波消解

本文采用微波消解进行前处理, 微波消解条件见表 1。

表 1 微波消解条件  
Table 1 The condition of microwave digestion

| 步骤 | 控制温度/°C | 升温时间/min | 恒温时间/min |
|----|---------|----------|----------|
| 1  | 120     | 5        | 2        |
| 2  | 150     | 5        | 10       |
| 3  | 185     | 5        | 20       |

##### (2) 质谱条件

射频功率、气体流量、有无碰撞模式等是 ICP-MS 的重要工作参数, 操作条件见表 2。

表 2 ICP-MS 仪器操作条件  
Table 2 Operating condition of ICP-MS

| 条件              | 参数值  | 条件      | 参数值      |
|-----------------|------|---------|----------|
| 射频功率/W          | 1550 | 雾化器     | 高盐/同心雾化器 |
| 等离子体气流量/(L/min) | 15   | 采样锥/截取锥 | 镍/铂锥     |
| 载气/(L/min)      | 1.07 | 采样深度/mm | 8~10     |
| 辅助气流量/(L/min)   | 0.40 | 检测方式    | 自动       |
| 氦气流量/(mL/min)   | 4~5  | 每峰测定点数  | 1~3      |
| 样品提升速率/(r/s)    | 0.3  | 重复次数    | 2~3      |
| 雾化室温度/°C        | 2    | 碰撞模式    | He       |
| 蠕动泵/r           | 0.10 | 积分时间/s  | 0.30     |

## 3 结果与分析

### 3.1 干扰及校正

ICP-MS 的干扰主要有质谱干扰和非质谱干扰<sup>[8-11]</sup>。质谱干扰主要有同量异位素干扰、双电荷离子干扰和多原

子离子干扰,可通过优化仪器条件、使用干扰方程和碰撞反应池技术等方式来减少质谱干扰。选择测定同位素时应遵循丰度大、干扰少的原则。非质谱干扰主要有总固体溶解量过高、空间电荷效应和易电离元素干扰等,可通过稀释样品、在线加入内标等方式消除。适当的内标可以补偿基质干扰效应、克服信号漂移,选取的内标元素的质量数和电离能要与待测元素相近,且内标元素不应在待测元素中出现或含量极微。本实验选用 Bi、Ge、In、Li、Lu、Rh、Sc、Tb 为内标,选择合适的测定同位素,结合干扰方程和碰撞反应池技术,达到消除干扰的目的。

### 3.2 线性方程和检出限

采用上述条件对 16 种元素的标准溶液进行测定,以 16 种元素的浓度为横坐标,以各元素与相应内标计数值的比值为纵坐标,进行线性回归分析。同时测定 11 次空白溶液,依据标准 GB/T 27404-2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》<sup>[12]</sup>中附录 F 中方法,所得的标准偏差的 3 倍与方法校准曲线的斜率比值作为各元素的检出限(limit of detection, LOD),结果见表 3。结果表明,16 种元素线性范围较宽,线性范围内线性关系良好( $r>0.999$ )。

### 3.3 准确度和精密度

为了验证方法的准确性和精密性,采用上述实验条件,在 5 种食用菌中加入 3 种浓度梯度的标准混合液重复测定 11 次,计算加标回收率,取其中 1 个浓度点,计算相对标准偏差。各元素的加入量分别为 10、20、30  $\mu\text{g/L}$ 。结果见表 4。由表 4 可见,RSD 在 0.08%~3.88%之间,回收率

在 80.2%~108.3%之间。说明该方法具有良好的精密度,准确可靠,能够满足食用菌中多种元素测定的要求。

表 3 16 种元素的线性范围、相关系数、检出限及线性方程  
Table 3 Linear ranges, correlation, LODs and linear equation of 16 elements

| 元素    | 线性范围<br>/( $\mu\text{g/L}$ ) | 相关系数<br>$r$ | 检出限<br>/( $\mu\text{g/L}$ ) | 线性方程                    |
|-------|------------------------------|-------------|-----------------------------|-------------------------|
| 铝(Al) | 0~50                         | 0.9992      | 0.44                        | $Y=168.4896X+73.336$    |
| 钒(V)  | 0~50                         | 0.9999      | 0.001                       | $Y=7257.6011X+7.776$    |
| 铬(Cr) | 0~50                         | 0.9999      | 0.11                        | $Y=9393.6542X+1005.3$   |
| 锰(Mn) | 0~50                         | 0.9999      | 0.04                        | $Y=4206.2491X+175.5$    |
| 镍(Ni) | 0~50                         | 0.9999      | 0.80                        | $Y=4790.1045X+3815.0$   |
| 铜(Cu) | 0~50                         | 0.9999      | 0.12                        | $Y=13270.8490X+1649$    |
| 锌(Zn) | 0~50                         | 0.9997      | 0.54                        | $Y=1813.2184X+973$      |
| 砷(As) | 0~50                         | 0.9999      | 0.003                       | $Y=1290.7526X+4.446$    |
| 硒(Se) | 0~50                         | 0.9999      | 0.59                        | $Y=62.0427X+36.2933$    |
| 钼(Mo) | 0~50                         | 0.9998      | 0.02                        | $Y=5817.8886X+113.3$    |
| 银(Ag) | 0~50                         | 0.9999      | 0.01                        | $Y=22202.3972X+234.0$   |
| 镉(Cd) | 0~50                         | 1.0000      | 0.001                       | $Y=2854.8529X+1.480$    |
| 锑(Sb) | 0~50                         | 1.0000      | 0.005                       | $Y=7678.5074X+35.56$    |
| 钡(Ba) | 0~50                         | 0.9999      | 0.03                        | $Y=2596.7740X+85.56$    |
| 铅(Pb) | 0~50                         | 0.9999      | 0.01                        | $Y=31737.0388X+360.0$   |
| 汞(Hg) | 0~50                         | 0.9995      | 0.04                        | $Y=5801.2260X+214.8500$ |

表 4 方法回收率及精密度( $n=11$ )  
Table 4 Recoveries and precisions of the method ( $n=11$ )

| 元素    | 香菇    |       | 猴头菇   |       | 黑木耳   |       | 茶树菇   |       | 金钱菇   |       |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|       | 回收率/% | RSD/% | 回收率/% | RSD/% | 回收率/% | RSD/% | 回收率/% | RSD/% | 回收率/% | RSD/% |
| 铝(Al) | 81.3  | 1.59  | 83.2  | 1.91  | 82.6  | 1.36  | 82.6  | 1.26  | 83.1  | 1.29  |
| 钒(V)  | 99.8  | 0.37  | 89.1  | 0.42  | 95.8  | 0.20  | 85.5  | 0.14  | 86.2  | 0.26  |
| 铬(Cr) | 90.0  | 0.39  | 108.3 | 0.19  | 85.3  | 0.17  | 83.6  | 0.16  | 85.4  | 0.16  |
| 锰(Mn) | 104.4 | 1.87  | 83.2  | 0.56  | 80.2  | 3.79  | 86.8  | 1.23  | 86.9  | 1.35  |
| 镍(Ni) | 88.8  | 0.41  | 87.5  | 0.22  | 81.3  | 0.17  | 82.8  | 0.20  | 84.7  | 0.23  |
| 铜(Cu) | 97.3  | 0.96  | 81.3  | 0.74  | 81.8  | 0.32  | 95.1  | 0.86  | 81.6  | 1.11  |
| 锌(Zn) | 94.8  | 2.71  | 97.8  | 3.75  | 93.8  | 1.34  | 85.3  | 3.10  | 80.3  | 3.88  |
| 砷(As) | 92.3  | 0.42  | 84.7  | 0.19  | 93.9  | 0.13  | 83.7  | 0.44  | 83.8  | 0.57  |
| 硒(Se) | 86.7  | 0.41  | 85.7  | 0.29  | 85.7  | 0.33  | 82.0  | 0.36  | 86.6  | 0.66  |
| 钼(Mo) | 98.9  | 0.38  | 89.5  | 0.30  | 90.3  | 0.20  | 90.1  | 0.46  | 92.7  | 0.46  |
| 银(Ag) | 88.4  | 0.29  | 83.2  | 0.17  | 82.4  | 0.09  | 84.2  | 0.42  | 83.1  | 0.52  |
| 镉(Cd) | 97.4  | 0.53  | 86.2  | 0.19  | 83.5  | 0.08  | 83.8  | 0.47  | 85.4  | 0.47  |
| 锑(Sb) | 91.2  | 0.33  | 89.0  | 0.18  | 86.3  | 0.08  | 88.9  | 0.34  | 86.3  | 0.72  |
| 钡(Ba) | 97.3  | 0.64  | 88.5  | 0.21  | 87.6  | 1.19  | 99.1  | 0.34  | 99.1  | 0.67  |
| 铅(Pb) | 94.1  | 0.33  | 89.5  | 0.18  | 91.5  | 0.12  | 89.6  | 0.33  | 88.3  | 0.72  |
| 汞(Hg) | 95.3  | 0.69  | 93.6  | 0.65  | 93.2  | 0.33  | 92.6  | 0.58  | 91.63 | 0.52  |

### 3.4 样品的测定结果

分别对 20 批次常见的 5 种食用菌样品中 16 种元素含量进行测定, 除去空白后根据稀释倍数得到了在不同食用菌中的平均含量值, 结果见表 5。由表 5 可见, 食用菌中含量较高的元素有 Al、Mn、Cu、Zn、Cd、Ba。根据这 6 种元素的含量绘制图 1。由图 1 可以看出, 食用菌中的 Al 元素含量普遍较高, 尤其是木耳类, 高达 310 mg/kg, 虽然 GB 2760-2014《食品安全国家标准 食品添加剂使用标准》<sup>[13]</sup>仅针对豆类、油炸面制品等有限量要求, 对食用菌产品没有规定的限量要求, 参照该限量要求, 食用菌产品中的铝含量较高, 而 Al 作为微量重金属元素已有研究表明是一种对人体健康有害的元素, 可在人体内逐渐蓄积并产生慢性毒性, 引起中枢神经系统功能紊乱等危害<sup>[14,15]</sup>, 应引起必要的重视。Cd 元素在 GB 2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[2]</sup>标准中规定限量为食用菌  $\leq 0.2$  mg/kg, 香菇  $\leq 0.5$  mg/kg, 此限量针对的是新鲜食用菌产品。本次试验的样品均为食用菌干制品, 因此需要折算其脱水率, 脱水率可通过对食品的分析、生产者提供的信息以及其他可获得的数据信息等确定。根据《中国食物成分表标准版》第 6 版/第一册<sup>[16]</sup>中香菇脱水率为 91.7%, 猴头菇为 92.3%, 木耳为 91.8%, 折算至限量值分别为香菇  $\leq 6.0$  mg/kg, 其余  $\leq 2.5$  mg/kg, 故本次检测的食用菌产品中 Cd 元素符合标准限量要求。此外, Cu 和 Zn 是人体必需的微量元素<sup>[17]</sup>, 食用菌中含有一定的 Cu 和 Zn, 适当摄入可以补充人体必需的微量元素<sup>[18-22]</sup>。其他重金属元素, 如 Ni、Se、Sb 均为未检出, V、As、Mo、Ag、Pb、Hg 含量相对均较低, 符合 GB 2762-2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》<sup>[2]</sup>中的各项指标要求, 说明所测食用菌目前未受到这些元素的污染。

表 5 16 种元素在不同食用菌样品中的平均含量值  
Table 5 Average contents of 16 elements in different edible fungi samples

| 元素    | 香菇<br>(mg/kg) | 猴头菇<br>(mg/kg) | 木耳<br>(mg/kg) | 茶树菇<br>(mg/kg) | 金钱菇<br>(mg/kg) |
|-------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| 铝(Al) | 34.04         | 20.00          | 310.95        | 9.95           | 56.47          |
| 钒(V)  | 0.06          | 0.02           | 0.53          | 0.01           | 0.11           |
| 铬(Cr) | 0.17          | ND             | 1.65          | ND             | 0.22           |
| 锰(Mn) | 13.20         | 6.51           | 27.82         | 6.13           | 14.43          |
| 镍(Ni) | ND            | ND             | ND            | ND             | ND             |
| 铜(Cu) | 4.90          | 5.20           | 2.75          | 18.25          | 6.32           |
| 锌(Zn) | 45.30         | 20.30          | 13.72         | 50.92          | 59.15          |
| 砷(As) | 0.22          | 0.09           | 0.15          | 0.02           | 0.22           |
| 硒(Se) | ND            | ND             | ND            | ND             | ND             |
| 钼(Mo) | 0.17          | 0.06           | 0.07          | 0.05           | 0.21           |

续表 5

| 元素    | 香菇<br>(mg/kg) | 猴头菇<br>(mg/kg) | 木耳<br>(mg/kg) | 茶树菇<br>(mg/kg) | 金钱菇<br>(mg/kg) |
|-------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|
| 银(Ag) | 0.03          | 0.02           | 0.02          | 0.03           | 0.03           |
| 镉(Cd) | 0.60          | 0.28           | 0.06          | 0.05           | 0.41           |
| 锑(Sb) | ND            | ND             | ND            | ND             | ND             |
| 钡(Ba) | 0.69          | 0.75           | 10.42         | 0.22           | 1.02           |
| 铅(Pb) | 0.06          | 0.05           | 0.33          | 0.03           | 0.12           |
| 汞(Hg) | 0.05          | 0.04           | 0.02          | 0.01           | 0.02           |

注: 低于检出限, ND 视为未检出。

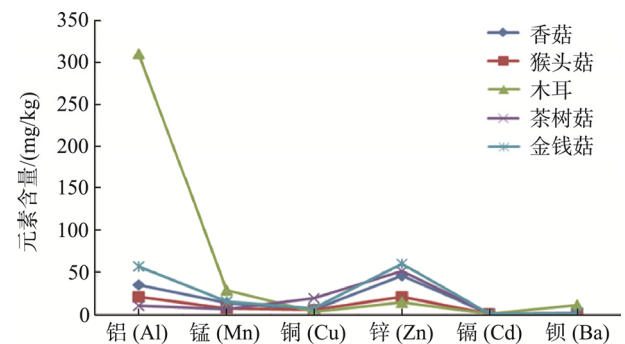


图 1 食用菌中各元素分布情况

Fig.1 Distribution of elements in edible fungi

## 4 结 论

食用菌中不同程度地含有对人体必需的微量元素, 如 Cu、Zn 等, 适当摄入对人体有好处, 而对人体有害的 Al 元素含量较高, 这需要引起我们的重视。本研究采用硝酸-双氧水微波消解进行前处理, ICP-MS 方法对 5 种常见的食用菌中的 16 种元素进行分析, 该方法可应用于同时测定食用菌中多种金属元素, 具有灵敏准确, 简便快速的优点, 为今后检测食用菌中的各种重金属含量提供了科学参考。

## 参考文献

- [1] Rácz L, Papp L, Prokai B, *et al.* Trace element determination in cultivated mushrooms: an investigation of manganese, nickel, and cadmium intake in cultivated mushrooms using icp atomic emission [J]. *Microchem J*, 1996, 54(4): 444-451.
- [2] 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-Maxium limited standards for contaminata of food [S].
- [3] 张徐惠群, 杨暄, 周忻, 等. 十八种食用菌铅、砷含量测定及其健康风险评估[J]. *食用菌学报*, 2012, 19(3): 91-96. Zhang XHQ, Yang X, Zhou Q, *et al.* Determination of lead and arsenic concentrations in 18 edible fungi in Beijing and evaluation of their health risks [J]. *Acta Edulis Fungi*, 2012, 19(3): 91-96.
- [4] 侯婷婷. 食用菌中 11 种金属元素测定研究[J]. *品牌与标准化*, 2018, (2): 51-53.

- Hou TT. Research on determination of 11 metals in edible fungi [J]. *Enterp Stand*, 2018, (2): 51–53.
- [5] 甘源, 唐晓琴, 何健, 等. 重庆市野生食用菌中总砷及砷形态含量调查[J]. *现代预防医学*, 2017, 44(22): 4073–4076.
- Gan Y, Tang XQ, He J, *et al.* Investigation and analysis of the total arsenic and arsenic species content in wild edible fungus in Chongqing city [J]. *Mod Prev Med*, 2017, 44(22): 4073–4076.
- [6] 邹敏, 段建坤, 周毅, 等. 食品中重金属检测及样品前处理方法综述[J]. *现代食品*, 2019, (6): 167–171.
- Zou M, Duan JK, Zhou Y, *et al.* Review of detection of heavy metal and sample pretreatment methods in food [J]. *Mod Food*, 2019, (6): 167–171.
- [7] GB 5009.268–2016 食品安全国家标准 食品中多元素的测定[S]. GB 5009.268–2016 National food safety standard-Determination of multi elements in foods [S].
- [8] 刘仙金. 电感耦合等离子体质谱法测定食用菌中的多种元素[J]. *现代商贸工业*, 2015, (9): 227–228.
- Liu XJ. Determination of many elements in edible fungi by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Mod Comm Trad Ind*, 2015, (9): 227–228.
- [9] 余红英, 曹海军, 宋鹏, 等. 三种常见食用蕈菌对重金属的耐受与富集研究[J]. *四川大学学报(自然科学版)*, 2008, 45(5): 1263–1268.
- She HY, Cao HJ, Song P, *et al.* Investigation of heavy metals resistance and accumulation in three edible mushrooms [J]. *J Sichuan Univ (Nat Sci Ed)*, 2008, 45(5): 1263–1268.
- [10] 周春艳, 何健, 唐晓琴, 等. 离子色谱-电感耦合等离子体质谱法测定野生食用菌中6种砷形态[J]. *中国卫生检验杂志*, 2017, (14): 1980–1982.
- Zhou CY, He J, Tang XQ, *et al.* Determination of 6 arsenic species in wild edible mushrooms by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Chin J Health Lab Technol*, 2017, (14): 1980–1982.
- [11] 胥佳佳, 冯鑫, 汤静, 等. 超声辅助提取-高相液相色谱-电感耦合等离子体质谱法测定香菇中6种形态砷化合物[J]. *食品科学*, 2016, 37(24): 216–221.
- Xu JJ, Feng X, Tang J, *et al.* Arsenic speciation analysis of lentinus edodes by ultrasonic-assisted extraction-high performance liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Food Sci*, 2016, 37(24): 216–221.
- [12] 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].
- [13] GB 2760-2014 食品安全国家标准 食品添加剂使用标准[S]. GB 2760-2014 National food safety standard-Standard for uses of food additives [S].
- [14] 章亚彦. 食用菌总砷和镉双道原子荧光光谱法同时测定及污染监测评价[J]. *微量元素与健康研究*, 2016, 33(6): 63–65.
- Zhang YY. Simultaneous determination of total arsenic and cadmium in edible fungi by dual-channel atomic fluorescence spectrometry and pollution monitoring and evaluation [J]. *Stud Trac Elem Health*, 2016, 33(6): 63–65.
- [15] 常惟丹, 鲍长俊, 李笑, 等. 食用菌对汞、砷的富集研究进展[J]. *食品工业科技*, 2017, 38(9): 374–380.
- Chang WD, Bao CJ, Li X, *et al.* Research progress in the enrichment of mercury and arsenic by edible fungi [J]. *Sci Technol Food Ind*, 2017, 38(9): 374–380.
- [16] 杨月欣. 中国食物成分表[M]. 北京: 北京大学医学出版社, 2018.
- Yang YX. *Chinese Food Composition List* [M]. Beijing: Peking University Medical Press, 2018.
- [17] 王安, 岳鹏, 杜欣悦, 等. 浅谈罐头食品中微量元素锌的检验[J]. *食品安全导刊*, 2018, (9): 118.
- Wang A, Yue P, Du XY, *et al.* A brief talk on the detection of trace elements zinc in canned food [J]. *Chin Food Saf Magaz*, 2018, (9): 118.
- [18] 黄晨阳, 陈强, 赵永昌, 等. 云南省主要野生食用菌中重金属调查[J]. *中国农业科学*, 2010, 43(6): 1198–1203.
- Huang CY, Chen Q, Zhao YC, *et al.* Investigation of heavy metals in major wild edible fungi in Yunnan province [J]. *Sci Agric Sinica*, 2010, 43(6): 1198–1203.
- [19] 于文清, 彭艳芳, 许迎迎, 等. 五种野生食用菌干品营养及鲜味成分分析和评价[J]. *天然产物研究与开发*, 2015, (2): 271–276, 313.
- Yu WQ, Peng YF, Xu YY, *et al.* Analysis and evaluation of nutritional and flavor components of five wild dried edible fungi [J]. *Nat Prod Res Dev*, 2015, (2): 271–276, 313.
- [20] 林佑, 许燕, 赵世文, 等. 云南省8种常见野生食用牛肝菌中总砷、总汞、铅、镉含量的检测及食用安全性评价[J]. *职业与健康*, 2016, 32(9): 1203–1205.
- Lin J, Xu Y, Zhao SW, *et al.* Detection of total arsenic, total mercury, lead and cadmium contents in 8 kinds of common wild edible boletus in Yunnan province and food safety evaluation [J]. *Occup Health*, 2016, 32(9): 1203–1205.
- [21] Chen S, Guo Q, Liu L. Determination of arsenic species in edible mushrooms by high-performance liquid chromatography coupled to inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Food Anal Method*, 2017, 10(3): 740–748.
- [22] Fang Y, Pan Y, Li P, *et al.* Simultaneous determination of arsenic and mercury species in rice by ion-pairing reversed phase chromatography with inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *Food Chem*, 2016, (213): 609–615.

(责任编辑: 于梦娇)

## 作者简介



王洁, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为食品检测。

E-mail: 10325322@qq.com