

# 电感耦合等离子体质谱法在药品元素检测中的应用

赵婷<sup>1</sup>, 周明强<sup>1,2\*</sup>, 徐聪<sup>1</sup>, 刘伟丽<sup>1,2</sup>, 赵新颖<sup>1,2</sup>

(1. 北京市理化分析测试中心, 有机材料检测技术与质量评价北京市重点实验室, 北京 100089;

2. 北京市科学技术研究院分析测试技术重点实验室, 北京 100089)

**摘要:** 药品及药品原料中含有的重金属及有害元素如砷、汞、铅、铬、镉等会对身体产生很大的毒副作用, 而药品及药品原料中含有的必需微量元素及矿物质元素如铁、铜、锌、锰、硒、硅等摄入过量、不足也会不同程度引起人体生理的异常。因此, 药品中元素检测对于药品质量控制具有重要的意义。常见药品中元素的检测方法有原子吸收光谱法、电感耦合等离子体发射光谱法、原子荧光光谱法、比色法、电感耦合等离子体质谱法等。本文对电感耦合等离子体质谱法在药品检测中的应用包括重金属及有害元素检测、微量及矿物质元素检测、常规元素检测、同位素元素检测、元素形态检测进行了探讨。结果表明, 电感耦合等离子体法用于药品的元素检测时, 线性关系、精密度、检出限和回收率都符合检测需求。电感耦合等离子体质谱法检出限低, 线性范围宽, 可实现多元素同时测定和同位素元素检测, 且与其他分离设备联用可用于元素形态分析, 因此被广泛应用于药品的元素检测。

**关键词:** 药品; 元素; 重金属; 电感耦合等离子体质谱法

## Application of inductively coupled plasma mass spectrometry in drug elemental analysis

ZHAO Ting<sup>1</sup>, ZHOU Ming-Qiang<sup>1,2\*</sup>, XU Cong<sup>1</sup>, LIU Wei-Li<sup>1,2</sup>, ZHAO Xin-Ying<sup>1,2</sup>

(1. Beijing Centre for Physical and Chemical Analysis, Beijing Key Laboratory of Organic Materials Testing Technology & Quality Evaluation, Beijing 100089, China; 2. Beijing Academy of Science and Technology Key Laboratory of Analysis and Testing Technology, Beijing 100089, China)

**ABSTRACT:** Heavy metals and harmful metals in drugs and pharmaceutical raw materials such as As, Hg, Pb, Cr, Cd, etc. do harm to human health, while the excessive or insufficient intake of microelements and mineral elements in drugs and pharmaceutical raw materials such as Fe, Cu, Zn, Mn, Se, Si, etc. can cause different levels of human physiological abnormalities. Therefore, it is important to detect elements in drugs for quality control. Atomic absorption spectrometry, inductively coupled plasma spectrometry, atomic fluorescence spectrometry, colorimetry and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) are common detection methods of elements. The article summarized the applications of ICP-MS in drug testing, such as heavy metals and harmful metals, microelements and mineral elements, conventional elements, isotopic elements, and element speciation test. The results showed that the

基金项目: 北京市科学技术研究院创新工程III-1(2015-178305)

**Fund:** Supported by the Innovation Project III-1 of Beijing Academy of Science and Technology (2015-178305)

\*通讯作者: 周明强, 助理研究员, 主要研究方向为药物材料分析。E-mail: 111-aaadd@163.com

\*Corresponding author: ZHOU Ming-Qiang, Research Assistant, Beijing Centre for Physical and Chemical Analysis, Beijing 100089, China. E-mail: 111-aaadd@163.com

liner relationships, precisions, detection limits and recoveries could meet the detect requirements completely. Due to low detection limit, wide linear range, multi-element determination and isotope detection at the same time, and accomplishment of element speciation analysis when combined with other separation equipments, ICP-MS has been widely applied in the detection of elements in drugs.

**KEY WORDS:** drug; element; heavy metal; inductively coupled plasma mass spectrometry

## 1 引 言

药品中元素的检测对药品质量控制起着至关重要的作用。一方面,检测药品及药品原料中含有重金属及有害元素对确保用药安全非常有必要,如砷(As)、汞(Hg)、铅(Pb)、铬(Cr)和镉(Cd)等会对身体产生很大的毒副作用<sup>[1]</sup>。另一方面,检测药品及药品原料中含有的必需微量元素及矿物质元素,有助于了解元素与其功效之间的联系,如铁(Fe)、铜(Cu)、锌(Zn)、锰(Mn)、硒(Se)和硅(Si)等微量元素摄入过量、不足都会不同程度引起人体生理的异常<sup>[2]</sup>。

药品中常用的元素检测方法有原子吸收光谱法<sup>[3,4]</sup>、电感耦合等离子体发射光谱法<sup>[5]</sup>、原子荧光光谱法<sup>[6,7]</sup>、比色法<sup>[7]</sup>、电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)<sup>[8-10]</sup>等。与其他方法相比,ICP-MS 具有检出限低、线性范围宽、多元素同时测定等优点,同时可用于同位素分析及元素形态分析,在药品检测中具有广泛应用。本文对 ICP-MS 在药品检测中的应用进行探讨。

## 2 ICP-MS 概述

电感耦合等离子体质谱仪由电感耦合等离子体(ICP)和质谱(MS)两部分组成,样液经过 ICP 高温电离后从分子状态变成离子状态,经由离子透镜进入质谱检测器进行检测。与原子吸收光谱仪(atomic absorption spectroscopy, AAS)、电感耦合等离子体发射光谱仪(inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, ICP-AES)、原子荧光光谱仪(atomic fluorescence spectrometry, AFS)等常用的元素分析仪器采用光学检测系统不同,ICP-MS 采用基于质量的检测系统。由于只有特定质荷比的离子才可经过筛选进入质谱检测器,ICP-MS 可用于同位素元素的检测,而且,相比其他检测方法,ICP-MS 可同时完成多元素的检测,具有更低的检出限( $\mu\text{g}/\text{mL}$  级别)、更宽的线性范围(7~9 个数量级)。因此,该方法广泛应用于痕量元素领域,且相比其他检测方法具有更强的实用性。另外,ICP-MS 还能与高效液相色谱、气相色谱、离子色谱等分离技术进行联用<sup>[2]</sup>,从而测定不同形态的元素含量。

## 3 ICP-MS 在药品检测中的应用

### 3.1 重金属及有害元素检测

#### 3.1.1 中药及中药制剂

中药生长的土壤环境及其制作过程都有可能造成中药及中药制剂的重金属及有害元素污染,需要对有害元素进行严格控制。鼻炎康片由野菊花、黄芩提取物、猪胆汁、麻黄、薄荷油、苍耳子、广藜香、鹅不食草、当归干浸膏和扑尔敏组成,由于其中药组成成分复杂,加工程序复杂,极易带入重金属污染,尚殊等<sup>[11]</sup>建立了 ICP-MS 同时测定鼻炎康片中铅、砷、汞、镉、铜 5 种重金属元素含量的方法。该方法线性关系良好,检出限较低,相对标准偏差为 0.8%~1.4%,回收率为 88.79%~109.36%,适用于鼻炎康片中重金属元素含量的检测。王勇等<sup>[12]</sup>建立了微波消解 ICP-MS 法测定茵栀黄注射液中铅、砷、镉、汞、铜 5 种元素的方法。

除了需要对砷、铅、汞、铬、镉等重金属实施质量控制,也需要对包括稀土元素在内的微量重金属元素进行检测。常规的元素检测手段都无法对稀土元素进行检测,刘宏静等<sup>[13]</sup>以铈和镱混合溶液作为内标建立了 ICP-MS 测定肾衰宁胶囊中 14 种稀土元素含量的方法。结果表明,14 种稀土元素的相对标准差均小于 10%,加标回收率为 96.49%~114.04%,该方法适用于肾衰宁胶囊中稀土元素的测定。

#### 3.1.2 西药及其原料药

西药及其原料药在其生产、运输过程中都有可能受到重金属及有害元素污染,会对人体健康造成严重危害,应对其元素含量进行严格控制。注射剂吸收迅速,但由于直接进入人体血液或肌肉,用药安全要求比口服制剂更严格。甘盛等<sup>[14]</sup>采用 ICP-MS 测定了维生素 B<sub>2</sub> 注射液中镉、砷和铅的含量。注射液经微波消解后,作为供试品溶液,以钇、锆、铋作为内标元素进行校正,结果表明各元素检出限均 0.083  $\text{ng}/\text{mL}$ ,精密度和重复性良好,回收率为 92.4%~101.7%,且标准参考物质结果测定值与标示值相近。

### 3.2 微量及矿物质元素检测

中药的药理作用不仅与其有机成分相关,也与其含有的微量及矿物质元素有关。不同产地、品种的中药含有的微量元素不同,其药效也有差异。梁伟等<sup>[15]</sup>以 Bi、Sc、

In、Y 作内标, 采用 ICP-MS 法分别测定不同矿物中药汤剂中 12 种微量元素的含量, 选用合适的标准使用溶液, 在标准曲线工作范围内相关系数大于 0.999, 各元素检出限最高为 2.30  $\mu\text{g/L}$ , 加标回收率在 91.1%~107.1%之间, 对同一试样进行 7 次测定, 其相对偏差均 3.7%, 结果表明该方法简单、快速、线性范围宽、精密度好, 可用于矿物中药汤中 12 种微量元素的同时测定。孙杰等<sup>[16]</sup>建立了 ICP-MS 法同步测定海洋中药尖海龙中 9 种微量元素的新方法。

孙景等<sup>[17]</sup>建立了微波消解 ICP-MS 测定云南野生茯苓中 Li、Mg、K、Ca、V、Cr、Mn、Fe、Cu、Zn、As、Rb、Sr、Cs 和 Pb 15 种矿质元素的分析方法。结果表明, 元素线性方程的相关系数均大于 0.999, 相对标准偏差均小于 8%, 各测定元素均在推荐值范围内, 准确度和精密度较好, 该方法适用于云南野生茯苓中矿质元素的检测。

### 3.3 常规元素检测

由于 ICP-MS 具有极宽的线性范围, 可检测几十种元素, 且可进行多元素同时检测, 在常规元素检测中也有极其广泛的应用。李丽敏等<sup>[18]</sup>以 ICP-MS 法同时检测了 23 种中药材中 Be、Al、V、Cr、Mn、Fe、Co、Ni、Cu、Zn、As、Se、Mo、Ru、Pd、Ag、Cd、Sn、Sb、Te、Ba、Nd、Dy、Er、Ir、Hg、Tl、Pb 和 U 等 29 种元素, 采用微波消解法进行前处理, 加入在线内标消除基体效应, 通过线性范围、重复性、回收率、溶液稳定性及专属性实验研究, 表明该方法可用于中药材中多元素同时测定, 对中药材安全性、有效性研究及市场监督具有重要的意义。

### 3.4 同位素元素检测

ICP-MS 根据离子的质荷比进行测定, 与其他元素测定方式相比, 该方法还可用于同位素元素的测定。硼(B)在自然界有  $^{10}\text{B}$  和  $^{11}\text{B}$  2 种稳定同位素,  $^{10}\text{B}$  在核工业和军事装备上有广泛的应用, 因此  $^{10}\text{B}$  的浓缩具有很高的研究价值, 需要建立硼同位素丰度的测定方法。白鹏等<sup>[19]</sup>以硼同位素标准物质 NIST SRM 951 配制标准溶液, 在优化的仪器条件下对 ICP-MS 测定的硼同位素质量进行校正, 并求出校正因子, 确定了样品的线性浓度范围, 该方法记忆效应小, 结果可靠。黄志勇等<sup>[20]</sup>对 ICP-MS 的工作条件和参数进行了优化, 有效降低了 ICP-MS 进行同位素比值分析过程中因蠕动泵不稳定、雾化器波动、离子化效率波动、等离子体瞬间不稳定和电子元件噪音等因素的影响, 获得了精确度较好的同位素比值, 经铅同位素标准物质验证, 结果表明测定结果与推荐值吻合。

### 3.5 元素形态检测

元素的毒性及环境化学行为与其价态及存在形态有关, 因此研究元素的形态非常有必要。ICP-MS 与其他分离设备联用, 可用于元素形态的分析。孙婷<sup>[21]</sup>为深入研究海

藻多糖空心胶囊中是否含有铬元素以及铬元素的形态, 采用液相色谱与 ICP-MS 联用测定了海藻多糖空心胶囊中三价铬、六价铬的含量。标准曲线相关系数分别为 0.9991、0.9995, 平均回收率为 98.3%、98.7%, 精密度、稳定性、重复性均较好, 表明本方法适用于同时测定空心胶囊中三价铬和六价铬的含量。

综上所述, ICP-MS 法可广泛用于测定中、西药及其制品和原料药如鼻炎康片、茵栀黄注射液、肾衰宁胶囊、维生素 B<sub>2</sub> 注射液等样品中的重金属、有害元素、微量及矿物质元素、常规元素、同位素元素及元素形态, 并且线性关系、重复性和精密度良好, 检测限较低, 回收率符合检测需求。

## 4 ICP-MS 在本单位的应用

### 4.1 药品的定性检测

当药品中含有的元素种类不确定时, 可采用 ICP-MS 对药品进行半定量检测, 该方法不需要配制所有元素的标准溶液, 可根据部分元素的强度与仪器的库数据进行拟合, 得到各元素强度的拟合图如图 1 所示。

根据各个元素校正后的响应因子对未知样品中绝大多数的元素进行粗定量, 结果如表 1 所示。

表 1 半定量测试结果  
Table 1 Results of semi-quantitative analysis

| 元素 | 含量    | 单位               | 元素 | 含量     | 单位               |
|----|-------|------------------|----|--------|------------------|
| Li | <66.3 | $\mu\text{g/kg}$ | Cd | <2.17  | $\mu\text{g/kg}$ |
| Be | <75.8 | $\mu\text{g/kg}$ | In | 31.6   | $\mu\text{g/kg}$ |
| B  | <121  | $\mu\text{g/kg}$ | Sn | 30.3   | $\text{mg/kg}$   |
| Na | <7.69 | $\mu\text{g/kg}$ | Sb | <0.744 | $\mu\text{g/kg}$ |
| Mg | <15.3 | $\text{mg/kg}$   | Te | <17.0  | $\mu\text{g/kg}$ |
| Al | <43.7 | $\mu\text{g/kg}$ | I  | 41.3   | $\mu\text{g/kg}$ |
| Si | <191  | $\text{mg/kg}$   | Cs | <0.308 | $\mu\text{g/kg}$ |
| P  | 50.6  | $\text{mg/kg}$   | Ba | <2.09  | $\mu\text{g/kg}$ |
| S  | <9.14 | $\text{mg/kg}$   | La | <0.209 | $\mu\text{g/kg}$ |
| K  | 3.65  | $\text{mg/kg}$   | Ce | <0.168 | $\mu\text{g/kg}$ |
| Ca | <3.48 | $\text{mg/kg}$   | Pr | <0.123 | $\mu\text{g/kg}$ |
| Sc | <3.52 | $\mu\text{g/kg}$ | Nd | <0.608 | $\mu\text{g/kg}$ |
| Ti | <60.7 | $\mu\text{g/kg}$ | Sm | <0.675 | $\mu\text{g/kg}$ |
| V  | 203   | $\mu\text{g/kg}$ | Eu | <0.176 | $\mu\text{g/kg}$ |

续表 1

| 元素 | 含量     | 单位    | 元素 | 含量      | 单位    |
|----|--------|-------|----|---------|-------|
| Cr | <0.890 | μg/kg | Gd | 4.24    | μg/kg |
| Mn | <1.74  | μg/kg | Tb | <0.0728 | μg/kg |
| Fe | <1.16  | μg/kg | Dy | <0.328  | μg/kg |
| Co | <0.521 | μg/kg | Ho | <0.0738 | μg/kg |
| Ni | 100    | μg/kg | Er | <0.236  | μg/kg |
| Cu | <0.689 | μg/kg | Tm | <0.0660 | μg/kg |
| Zn | <3.82  | μg/kg | Yb | 11.6    | μg/kg |
| Ga | <1.19  | μg/kg | Lu | <0.118  | μg/kg |
| Ge | <5.48  | μg/kg | Hf | <0.460  | μg/kg |
| As | <5.85  | μg/kg | Ta | <0.0945 | μg/kg |
| Se | <64.5  | μg/kg | W  | <0.354  | μg/kg |

续表 1

| 元素 | 含量     | 单位    | 元素 | 含量     | 单位    |
|----|--------|-------|----|--------|-------|
| Br | 410    | μg/kg | Re | <0.286 | μg/kg |
| Rb | 12.2   | μg/kg | Os | <0.784 | μg/kg |
| Sr | <1.24  | μg/kg | Ir | <0.160 | μg/kg |
| Y  | <0.481 | μg/kg | Pt | <0.491 | μg/kg |
| Zr | 78.7   | μg/kg | Au | <0.416 | μg/kg |
| Nb | <0.349 | μg/kg | Hg | <1.24  | μg/kg |
| Mo | <1.32  | μg/kg | Tl | <0.150 | μg/kg |
| Ru | <0.786 | μg/kg | Pb | <0.216 | μg/kg |
| Rh | <0.144 | μg/kg | Bi | <0.148 | μg/kg |
| Pd | <0.814 | μg/kg | Th | <0.197 | μg/kg |
| Ag | <0.325 | μg/kg | U  | <0.127 | μg/kg |

半定量因子图(No模式)

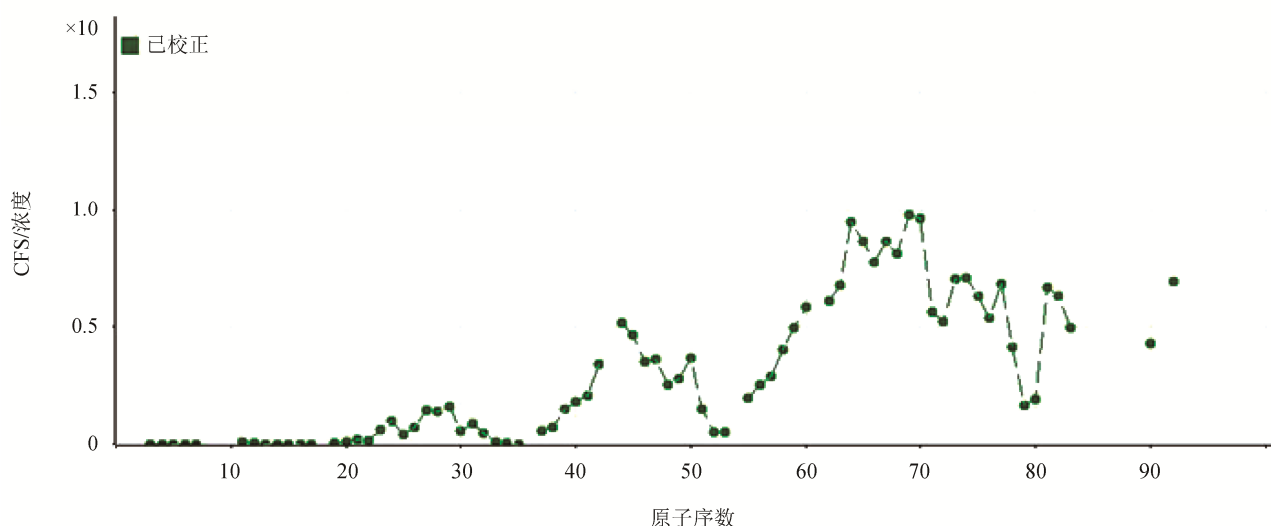


图 1 半定量拟合图

Fig.1 Results of semi-quantitative fitting

#### 4.2 药品的药理学研究

目前国内缺乏 ICP-MS 测定药品中非常规元素的相关标准, 而不少西药合成过程中由于工艺不同会引入非常规元素。结合中华人民共和国药典<sup>[22]</sup>的要求, 本实验室建立了一系列非常规元素检测的方法学。经专属性、精密度、稳定性和回收率等实验, 该方法稳定、可靠, 并被部分客户用作单位内部质量控制的标准文件。

## 5 结 论

药品中元素的检测对药品的质量控制和药效机制起

着至关重要的作用。ICP-MS 与其他常规元素分析方式相比, 具有显著的优势, 被广泛应用于药品中元素的检测研究。ICP-MS 可同时完成多元素的检测, 具有更低的检出限、更宽的线性范围, 适用于痕量元素检测、大量样品检测、样品多元素检测、稀土元素检测及同位素检测。除此之外, ICP-MS 还可与液相色谱等其他分离设备联用, 用于元素形态的测定。随着药品质量控制及药理机制研究需求的不断增加, ICP-MS 在药品检测中的应用越来越广泛。

#### 参考文献

- [1] 张剑, 王祯旭, 李秀梅. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定蜂胶

- 制品中五种重金属元素的含量[J]. 中国药业, 2016, 25(5): 52-54.
- Zhang J, Wang ZX, Li XM. Content determination of 5 detrimental elements in propolis by inductively coupled plasma mass spectrometry with microwave digestion [J]. China Pharm, 2016, 25(5): 52-54.
- [2] 戴向东, 许杨彪, 刘庄蔚, 等. 电感耦合等离子体质谱在中药极其制剂元素分析中的作用[J]. 中国中医药信息杂志, 2013, 20(1): 106-109.
- Dai XD, Xu YB, Liu ZW, *et al.* Application of inductively coupled plasma mass spectrometer in elemental analysis of traditional Chinese medicine and its preparation [J]. Chin J Inf Tradit Chin Med, 2013, 20(1): 106-109.
- [3] 姜艳, 苏莉莉, 朱名毅, 等. 三种中药炮制前后原药及其水煎液中元素含量的测定[J]. 广东微量元素科学, 2014, 21(3): 13-16.
- Jiang Y, Su LL, Zhu MY, *et al.* Determination of elements content in the original drug and its' decoction of three processed Chinese medicinal herb [J]. Guangdong Trace Elements Sci, 2014, 21(3): 13-16.
- [4] 许俊博, 刘菲, 王平, 等. 原子吸收分光光度法测定葡萄糖电解质注射液中钙镁钠3种元素的含量[J]. 中国药品标准, 2010, 11(2): 109-111.
- Xu JB, Liu F, Wang P, *et al.* Determination of calcium, magnesium, sodium in glucose electrolyte injection by flame atomic absorption spectrometry [J]. Drug Stand China, 2010, 11(2): 109-111.
- [5] 何家伟, 常军民, 姚军, 等. 微波消解-ICP-AES 法测定新疆不同产地天山花楸枝叶及果实中的元素[J]. 光谱学与光谱分析, 2013, 33(2): 544-547.
- He JW, Chang JM, Yao J, *et al.* Determination of elements in branches and leaves and the fruits of *Sorbus tianschanica* Rupr. from different habitats in Xinjiang by microwave digestion-ICP-AES [J]. Spectrosc Spect Anal, 2013, 33(2): 544-547.
- [6] 黄世琼, 张伟, 彭娅, 等. 不同地区驴皮中6种元素的测定[J]. 中成药, 2016, 38(7): 1574-1578.
- Huang SQ, Zhang W, Peng Y, *et al.* Determination of six elements in the skins of *Equus asinus* from different areas [J]. Chin Tradit Pat Med, 2016, 38(7): 1574-1578.
- [7] 咎亚玲, 滕红梅, 王磊. 不同产地黄芪饮片中矿质元素含量差异性研究[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(36): 218-220.
- Zan YL, Teng HM, Wang L. Research on differences of mineral elements content in *Astragalus membranaceus* tablets from different places [J]. Anhui Agric Sci, 2015, 43(36): 218-220.
- [8] 岳玉红. 有毒中药雄黄质量检测思路探索[J]. 亚太传统医药, 2014, 10(17): 27-28.
- Yue YH. Research on quality detection of realgar herbs [J]. Asia-Pacific Tradit Med, 2014, 10(17): 27-28.
- [9] 姚春毅, 李彪, 贾海涛, 等. 电感耦合等离子质谱法快速测定布洛芬注射液中15种元素的含量[J]. 中国药师, 2016, 19(5): 1000-1003.
- Yao CY, Li B, Jia HT, *et al.* Rapid determination of fifteen elements in ibuprofen injection by ICP-MS [J]. China Pharm, 2016, 19(5): 1000-1003.
- [10] 罗雪芹, 杨军, 秦秀蓉. 电感耦合等离子体质谱法测定川芎中多种微量元素[J]. 中国药业, 2015, 24(3): 28-30.
- Luo XQ, Yang J, Qin XR. Simultaneous determination of multiple trace elements in ligusticum Chuanxiong by ICP-MS [J]. China Pharm, 2015, 24(3): 28-30.
- [11] 尚殊, 于青. 电感耦合等离子体质谱法测定鼻炎康片中重金属含量[J]. 海峡药学, 2014, 26(4): 72-74.
- Shang S, Yu Q. Determination of heavy metals in Biyankang pills by ICP-MS [J]. Strait Pharm J, 2014, 26(4): 72-74.
- [12] 王勇, 陈民辉, 曹玲. 电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)法测定茵栀黄注射液中有毒元素铅、砷、镉、汞、铜的含量[J]. 中国野生植物资源, 2012, 31(3): 26-28.
- Wang Y, Chen MH, Cao L. Determination of harmful elements Pb, As, Cd, Hg, Cu in Yinzhihuang injection by inductively coupled plasma-MS spectrometry [J]. China's Wild Plant Resour, 2012, 31(3): 26-28.
- [13] 刘宏静, 张俊, 罗实. 电感耦合等离子体-质谱法测定肾衰宁胶囊中14种稀土元素含量[J]. 中国药业, 2010, 19(22): 44-45.
- Liu HJ, Zhang J, Luo S. Determination of fourteen elements in shenshuaining capsules by ICP-MS [J]. J China Pharm, 2010, 19(22): 44-45.
- [14] 甘盛, 施晓光, 韩婷, 等. 维生素B<sub>2</sub>注射液中镉、砷和铅的电感耦合等离子体质谱法测定[J]. 中国医药工业杂志, 2012, 43(4): 298-300.
- Gan S, Shi XG, Han T, *et al.* Determination of cadmium, arsenic and lead in vitamin B<sub>2</sub> injection by inductively coupled plasma-mass spectrometry [J]. Chin J Pharm, 2012, 43(4): 298-300.
- [15] 梁伟, 戴京晶, 林奕芝, 等. 矿物中药中12种微量元素的ICP-MS快速测定法[J]. 职业与健康, 2007, 23(7): 508-509.
- Liang W, Dai JJ, Lin YZ, *et al.* ICP-MS Rapid determination of 12 trace elements in mineralized traditional Chinese medicine [J]. Occup Health, 2007, 23(7): 508-509.
- [16] 孙杰, 陈志海, 聂继华, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定尖海龙中9种微量元素的含量[J]. 四川农业大学学报, 2015, 33(4): 447-450.
- Sun J, Chen ZH, Nie JH, *et al.* Determination of 9 trace elements in *Syngnathus acus* Linnaeus by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. J Sichuan Agric Univ, 2015, 33(4): 447-450.
- [17] 孙景, 张霖, 赵艳丽, 等. ICP-MS 法测定云南野生茯苓中矿质元素检测[J]. 食品科学, 2016, 37(14): 68-73.
- Sun J, Zhang J, Zhao YL, *et al.* Determination of mineral elements of wild *Wolfiporia extensa* collected from Yunnan by ICP-MS [J]. Food Sci, 2016, 37(14): 68-73.
- [18] 李丽敏, 夏晶, 张魁, 等. 电感耦合等离子体质谱法同时测定中药材中的29种元素[J]. 中国医药工业杂志, 2015, 46(9): 999-1003.
- Li LM, Xia J, Zhang S, *et al.* Simultaneous determination of 29 elements in traditional Chinese medicines by inductively coupled plasma mass spectrometer(ICP-MS) [J]. Chin J Pharm, 2015, 46(9): 999-1003.
- [19] 白鹏, 李晓峰, 吴军, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定硼同位素丰度[J]. 分析化学研究简报, 2006, 34(9): 1338-1340.
- Bai P, Li XF, Wu J, *et al.* Determination of boron isotope abundance by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Chin J Anal Chem, 2006, 34(9): 1338-1340.
- [20] 黄志勇, 沈金灿, 杨朝勇, 等. 电感耦合等离子体质谱测定铅同位素比值的准确度和精密度研究[J]. 质谱学报, 2003, 24(3): 441-445.
- Huang ZY, Shen JC, Yang CY, *et al.* Study on accuracy and precision of isotope ratios measured by inductively coupled plasma mass spectrometry

[J]. J Chin Mass Spectrom Soc, 2003, 24(3): 441-445.

[21] 孙婷. HPLC 法测定海藻多糖空心胶囊中不同价态铬的含量[J]. 中国药科大学学报, 2014, 45(5): 567-570.

Sun T. Determination of different valence chromium in carrageenan vacant capsules by HPLC [J]. J China Pharm Univ, 2014, 45(5): 567-570.

[22] 22 国家药典委员会. 中华人民共和国药典[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2015.

Chinese Pharmacopoeia Commission. Chinese pharmacopoeia [M]. Beijing: Chinese Medical Science and Technology Press, 2015.

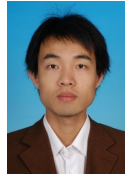
(责任编辑: 姚 菲)

## 作者简介



赵 婷, 助理研究员, 主要研究方向为光谱质谱分析。

E-mail: zhaoting2018@sina.com



周明强, 助理研究员, 主要研究方向为药物材料分析。

E-mail: 111-aaadd@163.com

---

## “益生菌在食品加工中的应用”专题征稿函

益生菌是一类能够改善宿主消化道菌群及酶平衡的活性有益微生物, 能够提高机体的抗病能力、代谢能力和对食物的消化吸收能力, 从而达到防治消化道疾病和促进生长的双重作用。将益生菌添加到食品中得到的相关产品种类众多, 因其对人体独特的有益作用和良好的口感受到消费者的普遍欢迎。

鉴于此, 本刊特别策划了“益生菌在食品加工中的应用”专题, 由北京工商大学食品学院的杨贞耐教授担任专题主编, 主要围绕益生菌的种类、作用机制及对人体健康的影响、在食品中的添加方式、相关产品的研制等发面或您认为有意义的相关领域展开论述和研究, 本专题计划在 2017 年 3 月出版。

鉴于您在该领域的成就, 本刊编辑部及专题主编杨贞耐教授特别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 2017 年 1 月 15 日前通过网站或 E-mail 投稿。我们将快速处理并优先发表。

同时, 希望您能够推荐该领域的相关专家并提供电话和 E-mail。

感谢您的参与和支持!

投稿方式:

网站: [www.chinafoodj.com](http://www.chinafoodj.com)

E-mail: [jfoodsq@126.com](mailto:jfoodsq@126.com)

《食品安全质量检测学报》编辑部