

微波消解-电感耦合等离子体质谱法同时测定 沙棘汁饮料中 18 种无机元素

董亚蕾, 刘 钊, 高文超, 王海燕*, 曹 进, 丁 宏

(中国食品药品检定研究院, 北京 100050)

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)同时测定沙棘汁饮料中 18 种无机元素的方法。**方法** 采用微波消解法对沙棘汁饮料样品进行处理, 采用 ICP-MS 法测定, 对前处理过程和仪器条件进行了优化, 对方法性能进行考察, 并将该方法用于 4 批市售沙棘汁样品中 18 种元素含量的检测。**结果** 该方法线性范围宽, 线性关系良好($r>0.995$), 精密度高, 18 种元素的加标回收率为 96.4%~107.3%, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 0.3%~5.9%。**结论** 微波消解-ICP-MS 法前处理过程简单, 分析时间短, 方法快速、准确、可靠, 能够满足沙棘汁中多种元素同时检测的需要。

关键词: 沙棘汁; 微波消解; 电感耦合等离子体质谱法; 无机元素

Simultaneous determination of 18 kinds of inorganic elements in sea-buckthorn juice by microwave digestion-inductively coupled plasma mass-spectrometry

DONG Ya-Lei, LIU Zhao, GAO Wen-Chao, WANG Hai-Yan*, CAO Jin, DING Hong

(National Institutes for Food and Drug Control, Beijing 100050, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for simultaneous determination of 18 kinds of inorganic elements in sea-buckthorn juice by microwave digestion-inductively coupled plasma-mass spectrometry (ICP-MS). **Methods** The sea-buckthorn juice beverage samples were processed by microwave digestion method, then determined by ICP-MS, and the pretreatment process and instrument conditions were optimized. The performance of the method was examined, and the method was applied to detect 18 kinds of inorganic elements in 4 batches of commercially available sea-buckthorn juice samples. **Results** The method had a wide linear range, good linearity ($r>0.995$), high precision, the recoveries of 18 kinds of inorganic elements were 96.4%-107.3%, and the relative standard deviations (RSDs) were 0.3%-5.9%. **Conclusion** This method has a simple pretreatment process and a short analysis time. It is fast, accurate and reliable, and is suitable for simultaneous determination of various elements in sea-buckthorn juice.

KEY WORDS: sea-buckthorn juice; microwave digestion; inductively coupling plasma mass spectrometry; inorganic element

基金项目: “十三五”国家重点研发计划项目 (2017YFF0211002), 国家自然科学基金项目(21405159)

Fund: Supported by the “13th Five-Year” National Key Research and Development Program (2017YFF0211002) and National Natural Science Foundation of China (21405159)

*通讯作者: 王海燕, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品、化妆品安全检测。E-mail: Summerwhy163@163.com

*Corresponding author: WANG Hai-Yan, Ph.D, Associate Professor, National Institutes for Food and Drug Control, No. 2, Tiantan Xili, Dongcheng District, Beijing 100050, China. E-mail: Summerwhy163@163.com

1 引言

沙棘又名醋柳、酸刺等,在华北、西北、东北及西南地区多有分布,是一种新兴的小浆果类树种^[1]。沙棘为药食同源植物,1977年被列入《中华人民共和国药典》^[2],是古代蒙医、藏医常用药材。长期以来人们重视沙棘果实中沙棘油的开发^[3],近年来沙棘汁的开发逐渐引起重视。研究表明沙棘汁中富含维生素、黄酮、总酚、糖、蛋白质等成分^[4],体外实验证明沙棘汁具有很好的自由基清除能力,对羟自由基致 DNA 的氧化损伤有很强的保护作用,具有抗氧化活性^[5]。Beata 等^[6]研究表明沙棘中含有对治疗心脑血管疾病有益的生物活性化合物,并具有抗肿瘤活性^[7]。随着人们对沙棘汁保健功能的认识,沙棘汁逐渐被开发,成为一种天然、绿色、保健、营养的新型果蔬饮料,得到人们的青睐。

沙棘汁中含有多种对机体有重大意义的元素,测定其中无机元素的含量有助于人们全面了解沙棘汁的保健功效。目前,用于测定沙棘汁中元素的方法主要有原子吸收法、原子荧光法和电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)。张崇玉等^[8]分别采用火焰原子吸收法和石墨炉原子吸收法测定了沙棘原汁中 16 种矿物元素。袁庆华^[9]采用火焰原子吸收法测定了沙棘原汁中的 Cu、Zn、Mn 和 Fe 等 4 种元素含量。以上方法结果良好,但均采用湿法消解,操作复杂,污染较大。薛园园等^[10]采用炉内消解-石墨炉原子吸收法测定了沙棘汁中的铅。该方法操作简便,但不能满足多种元素同时测定的需要。汪正花等^[11]采用微波消解-双道原子荧光光谱法测定沙棘汁中的铅、砷、汞,证明微波消解法效率高、污染小、操作简便,适于沙棘汁样品的分析。2012 年之后,微波消解-电感耦合等离子体质谱法逐渐应用于沙棘汁、沙棘油等制品中的元素测定。朱利娜等^[12]采用 ICM-MS 法测定了青海产 4 种不同颜色沙棘果果汁中的 10 种微量元素,证明不同颜色沙棘果果汁中微量元素含量存在差异。通过统计软件对不同产地沙棘汁中微量元素进行聚类分析,并尝试对沙棘汁进行产地归类^[13]。刘宏伟等^[14]采用 ICP-MS 法测定了沙棘油中 18 种元素含量,以正己烷为稀释剂对沙棘油进行简单稀释后直接进样,避免了消解步骤。张荣^[15]采用微波消解法进行前处理,采用 ICP-MS 法测定了沙棘果油中 13 种微量元素含量,证明微波消解-ICP-MS 法具有灵敏度高、检出限低、快速、线性范围宽等优点,能够实现快速、高效、准确分析沙棘产品中微量元素含量的目的。

沙棘汁逐渐被开发为饮料,进入国内饮料市场^[16]。对沙棘汁饮料中的元素含量进行检测,可为饮料质量的评价提供科学依据。目前,关于微波消解-ICP-MS 法测定沙棘汁饮料中多种元素含量的工作尚未见报道。本研究利用微

波消解进行样品前处理,采用 ICP-MS 法同时测定了市售沙棘汁饮料中 18 种常量元素、微量元素和重金属元素的含量,以期对沙棘汁的质量研究提供了参考依据,为沙棘汁饮料的安全监管提供了科学依据。

2 材料与方法

2.1 材料与仪器

iCap-Q 电感耦合等离子体质谱仪(美国 Thermo Fisher 公司); MARS-express 微波消解仪(美国 CEM 公司); Milli-Q 纯水仪(美国 Sartorius 公司); BHW-09C 敞开式电加热恒温炉(上海博通化学科技有限公司); METTLER AL204 电子天平(美国 Mettler Toledo 公司)。

硝酸、双氧水(优级纯,国药集团有限公司); 多元素混合标准溶液(包括 Ca、K、Mg、Na、Al、Fe、Sr、Ba、Cu、Mn、As、Cd、Co、Cr、Ni、Pb、Tl、Sn 等元素,混标中各元素的浓度见表 1)、内标元素包括锂(Li)、锗(Ge)、钇(Y)、铟(In)、铼(Re)(浓度均为 1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$, INORGANIC VENTURES 公司); 质谱调谐液(锂(Li)、钴(Co)、铟(In)、铀(U)、钡(Ba)、铈(Ce)含量均为 1.0 $\mu\text{g}/\text{L}$, 美国 Thermo Fisher 公司)。

市售沙棘汁饮料样品,共 4 批。其中瓶装样品 3 批,购自当地超市;杯装样品 1 批,购自某餐饮门店。

2.2 样品前处理过程

精密量取 1.0 mL 沙棘汁样品,置于聚四氟乙烯消解罐内,加入硝酸 5.0 mL 和双氧水 0.5 mL 后,于 100 $^{\circ}\text{C}$ 下加热 20 min 进行预消解。冷却至室温后密封,放入微波消解仪中消解。消解程序如下:起始温度(120 $^{\circ}\text{C}$)保持 3 min,以 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 150 $^{\circ}\text{C}$,保温 2 min,再以 6 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 升至 180 $^{\circ}\text{C}$ 保持 20 min。冷却至室温后,敞口放置,于 100 $^{\circ}\text{C}$ 下加热赶酸至约 1 mL 左右,用超纯水洗涤,定容至 30 mL,待测。同时做样品空白。

2.3 标准溶液配制

内标标准溶液经 5%硝酸溶液稀释后,得到浓度为 10 ng/mL 的内标混合溶液。

量取多元素混合标准溶液适量,经 5%硝酸溶液稀释,得各元素的系列标准溶液。标准曲线中各浓度梯度如表 1 中所示。

2.4 样品测定

以标准调谐液对 ICP-MS 仪器进行调谐,使仪器灵敏度、氧化物、双电荷和分辨率等指标达到测定要求。待测样品溶液测定时,同时引入内标溶液进行检测。

仪器的参考条件:射频功率:1550 W;等离子体流速:14 L/min;雾化气流速:0.8 L/min;雾化室温度:3 $^{\circ}\text{C}$;采样锥和截取锥均为 Ni 锥;采样深度:5 mm;碰撞气:He(>

99.999%); 流速: 4.2 mL/min; 泵速: 40 r/min; 驻留时间: 0.02 s; 重复采集次数: 3 次。

按照操作程序, 依次测定标准曲线溶液、空白样品溶液及各样品, 扣除背景吸收后, 计算得到样品中各元素的含量。

表 1 各元素储备液浓度及系列标准溶液中各点浓度
Table 1 The concentration of stock solution and serial standard solutions for each element

元素	储备液浓度 ($\mu\text{g/mL}$)	标准曲线浓度 ($\mu\text{g/mL}$)
Ca、K、Mg、Na	2000	0.4, 2, 4, 12, 20
Al、Fe	500	0.1, 0.5, 1, 3, 5
Sr	100	0.02, 0.1, 0.2, 0.6, 1
Ba、Cu、Mn	50	0.01, 0.05, 0.1, 0.3, 0.5
As、Cd、Co、Cr、Ni、 Pb、Tl	5	1, 5, 10, 30, 50
Sn	0.5	0.1, 0.5, 1, 3, 5

3 结果与分析

3.1 实验条件选择

3.1.1 样品前处理

元素分析实验中, 样品前处理技术通常包括干灰化法、湿法消解、微波消解法。干灰化法因步骤繁琐、污染较大已应用较少。采用湿法消解时, 所需的消解试剂较多、耗时较长, 消解液中残存的酸对测定干扰较大。微波消解法在高压密闭条件下进行, 具有快速、高效、溶剂使用量小的特点, 而且方法污染小, 是食品基质样品前处理中最常用的前处理方式。

沙棘汁样品中加入消解液后先受热进行预消解, 随后进入微波消解仪进行充分消解。因沙棘汁中有机物质含量较高, 实验采用 $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ 体系进行微波消解。硝酸具有强酸性和氧化性, 过氧化氢为辅助消解试剂, 协助氧化样品基质中有机物。实验中发现, 预消解时, 在消解罐内产生大量棕色烟雾。当样品量在 1.0 mL 左右时, 采用 5 mL 硝酸+0.5 mL 过氧化氢为消解试剂, 即可将样品充分消解, 得到无色透明溶液。

3.1.2 测定同位素的选择

测定同位素的选择原则是: 在自然界丰度最高, 其他元素干扰最小^[17]。本方法中, Ca 元素丰度最高的同位素为 ^{40}Ca , 而在本方法中, 载气为氩气 ^{40}Ar , 两者质荷比相同, 会对 Ca 的测定造成干扰。最终选择测定丰度次高的 ^{44}Ca 同位素。铁元素丰度最高的同位素是 ^{56}Fe , 与氩气与氧气加和($^{40}\text{Ar}+^{16}\text{O}$)的质荷比相同, 则选择铁元素丰度次高的 ^{57}Fe 为最佳。其余元素均选用丰度最高的同位素。

3.1.3 内标元素的选择

沙棘汁样品中基质较为复杂, 产生的基体效应对待测元素产生抑制作用, 消除基体效应是准确检测的前提和关键。内标法会对基体效应产生补偿作用, 故本研究采用内标校正法来消除基体干扰。内标校正体系包括 ^7Li 、 ^{73}Ge 、 ^{89}Y 、 ^{115}In 、 ^{185}Re , 质量数 23~39 的元素, 选择 ^7Li 作为内标; 质量数为 44~75 的选择 ^{73}Ge 作为内标; 质量数为 88 的选择 ^{89}Y 作为内标, 质量数为 111~137 的选择 ^{115}In 作为内标。以此校正体系作为内标, 分别分析标准溶液、空白溶液和样品溶液, 可较好地校正沙棘汁样品的基体效应。

3.2 方法性能参数

3.2.1 线性关系

在最佳实验条件下, 各元素的系列标准溶液依次进样, 采用在线内标校正, 进行 ICP-MS 分析。以 18 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。18 种元素的线性范围、线性方程、相关系数列于表 2 中。结果表明, 18 种元素线性范围较宽, 线性范围内线性关系良好($r > 0.995$)。

3.2.2 检出限和精密度

以同样的消解条件制备 11 份样品空白溶液, 连续测定, 计算各元素响应值的标准偏差, 以 3 倍标准偏差除以相应元素标准曲线的斜率, 计算出各元素的检出限(limit of detection, LOD), 结果如表 2 所示。以相同条件制备样品, 平行测定 6 次, 测定各元素的含量。根据 6 次的测定结果, 计算各元素测定值的相对标准偏差(relative standard deviation, RSD), 结果见表 2。结果表明, ICP-MS 法测定 18 种元素的 RSD 范围为 0.6%~5.5%, 说明该方法精密度良好。

3.2.3 回收率实验

针对各沙棘汁饮料样品, 根据其中各元素的含量, 进行加标回收实验。样品平行测定 3 次, 根据 3 次测定结果的平均值, 计算样品加标回收率和相对标准偏差, 结果列于表 3 中。结果表明, 沙棘汁样品中, 18 种元素的加标回收率范围为 96.4%~107.3%, RSD 范围为 0.3%~5.9%。说明该方法准确可靠, 能够满足沙棘汁饮料中多种元素测定的要求。

3.4 样品测定结果

依据本方法, 测定了 3 批市售瓶装沙棘汁饮料(样品编号 1~3)和 1 批市售餐饮杯装沙棘汁饮料(样品编号 4)中 18 种元素的含量, 测定结果如表 4 所示。从表 4 中可知, 样品中含量最高的 4 种元素依次是 K、Na、Ca、Mg。Fe 元素含量范围是 1.8~2.8 mg/L, Mn 元素含量为 0.3~1.0 mg/L, Sr 元素含量为 0.1~0.2 mg/L。由此可见, 沙棘饮料中对人体有益的微量元素 Fe、Al、Mn、Sr、Cu 等元素含量较高。

对于重金属元素,样品中 Sn 元素含量范围为 0.03~0.04 mg/L, 1 号样品 Pb 含量为 0.048 mg/L, 根据 GB 2762-2017 的规定^[18], 饮料中 Pb(果蔬汁类饮料)≤0.05 mg/L, Sn 含量≤150 mg/kg, 因此沙棘汁饮料中重金属含量符合

国标规定。其他重金属元素,如 Ni、Cd 均为未检出。As 含量不高于 0.003 mg/L, Ba 含量范围为 0.03~0.1 mg/L, Tl 含量为 0.002~0.004 mg/L, 含量均较低。这可能与沙棘植物多生活在偏远地区,受污染程度较轻有关。

表 2 各元素的线性范围、线性方程、相关系数、检出限及精密度($n=6$)
Table 2 Linear equations, correlation coefficients, linear range, LOD and RSD for each element ($n=6$)

元素	线性范围	线性方程	线性相关系数(r)	检出限	RSD/%
²³ Na	0.4~20μg/mL	$Y=4385664X+223888$	0.9993	0.004 μg/mL	1.6
²⁴ Mg	0.4~20μg/mL	$Y=1859719X+45933$	0.9983	0.002 μg/mL	5.1
²⁷ Al	0.1~5 μg/mL	$Y=611854X+13255$	0.9978	0.005 μg/mL	4.8
³⁹ K	0.4~20 μg/mL	$Y=1582516X+170260$	0.9997	0.008 μg/mL	2.8
⁴⁴ Ca	0.4~20 μg/mL	$Y=125455X+20200$	0.9998	0.02 μg/mL	4.6
⁵² Cr	1~50 ng/mL	$Y=31778X+3769$	0.9987	0.02 ng/mL	1.8
⁵⁵ Mn	10~500 ng/mL	$Y=20779X+44533$	0.9986	0.1 ng/mL	3.1
⁵⁷ Fe	0.1~5μg/mL	$Y=846770X+6460$	0.9984	0.001μg/mL	3.5
⁵⁹ Co	1~50 ng/mL	$Y=57207X+433$	0.9994	0.001 ng/mL	5.5
⁶⁰ Ni	1~50 ng/mL	$Y=13076X+34651$	0.9951	0.15 ng/mL	2.3
⁶³ Cu	10~500 ng/mL	$Y=35230X+13798$	0.9973	0.02 ng/mL	3.7
⁷⁵ As	1~50 ng/mL	$Y=2618X+40$	0.9991	0.02 ng/mL	4.3
⁸⁸ Sr	20~1000 ng/mL	$Y=24422X+10379$	0.9989	0.03 ng/mL	3.8
¹¹¹ Cd	1~50 ng/mL	$Y=11805X+175$	0.9982	0.08 ng/mL	3.3
¹¹⁸ Sn	0.1~5 ng/mL	$Y=26845X+6618$	0.9981	0.03 ng/mL	1.7
¹³⁷ Ba	10~500 ng/mL	$Y=11980X+9225$	0.9989	0.10 ng/mL	2.2
²⁰⁵ Tl	1~50 ng/mL	$Y=227833X+303$	0.9969	0.0002 ng/mL	2.5
²⁰⁸ Pb	1~50 ng/mL	$Y=153352X+41191$	0.9967	0.02 ng/mL	0.6

表 3 加标回收率结果($n=3$)
Table 3 Recovery test result of the method ($n=3$)

元素	溶液中浓度	加标浓度	实测浓度	回收率/%	RSD/%
²³ Na	2.89 μg/mL	2.0 μg/mL	4.98 μg/mL	101.7	2.8
²⁴ Mg	0.13μg/mL	0.20μg/mL	0.33μg/mL	99.4	1.7
²⁷ Al	0.031μg/mL	0.05 μg/mL	0.079μg/mL	97.3	4.0
³⁹ K	9.24μg/mL	10.0μg/mL	20.4μg/mL	106.1	0.3
⁴⁴ Ca	0.28μg/mL	0.20μg/mL	0.48μg/mL	99.4	3.2
⁵² Cr	0.89 ng/mL	0.50 ng/mL	1.38 ng/mL	99.1	2.3
⁵⁵ Mn	5.24 ng/mL	5.0 ng/mL	10.15 ng/mL	99.1	3.5
⁵⁷ Fe	0.047 μg/mL	0.05μg/mL	0.09μg/mL	96.6	2.5
⁵⁹ Co	0.046 ng/mL	0.50 ng/mL	0.53 ng/mL	97.8	3.3
⁶⁰ Ni	/	15.0 ng/mL	14.5 ng/mL	96.4	3.4
⁶³ Cu	0.93 ng/mL	0.50 ng/mL	1.47 ng/mL	102.9	1.5
⁷⁵ As	/	5.0 ng/mL	5.00 ng/mL	100.0	3.1
⁸⁸ Sr	1.65 ng/mL	1.2 ng/mL	2.9 ng/mL	102.4	2.9
¹¹¹ Cd	/	0.50 ng/mL	0.51 ng/mL	102.2	4.8
¹¹⁸ Sn	0.69 ng/mL	0.50 ng/mL	1.20 ng/mL	100.8	5.8
¹³⁷ Ba	0.93 ng/mL	5.0 ng/mL	6.14 ng/mL	103.5	4.8
²⁰⁵ Tl	/	0.50 ng/mL	0.54 ng/mL	107.3	5.9
²⁰⁸ Pb	0.80 ng/mL	0.50 ng/mL	1.29 ng/mL	99.4	4.6

表 4 市售 4 批沙棘汁饮料中 18 种元素的含量/(mg/L)
Table 4 The determination results of 18 kinds of element in 4 batches of commercial samples/(mg/L)

编号	²³ Na	²⁴ Mg	²⁷ Al	³⁹ K	⁴⁴ Ca	⁵² Cr	⁵⁵ Mn	⁵⁷ Fe	⁵⁹ Co	⁶⁰ Ni	⁶³ Cu	⁷⁵ As	⁸⁸ Sr	¹¹¹ Cd	¹¹⁸ Sn	¹³⁷ Ba	²⁰⁵ Tl	²⁰⁸ Pb
1	174	7.8	1.9	554	17	0.05	0.3	2.8	0.003	未检出	0.06	0.003	0.1	未检出	0.04	0.06	0.0003	0.048
2	169	6.6	0.9	569	13	0.02	0.2	1.9	0.001	未检出	0.05	- ^a	0.1	未检出	0.04	0.03	0.0002	0.007
3	187	7.5	1.1	568	22	0.02	0.3	2.3	0.002	未检出	0.05	-	0.1	未检出	0.03	0.04	0.0002	0.008
4	199	22	1.1	406	37	0.03	1.0	1.8	0.006	未检出	0.18	0.002	0.2	未检出	未检出	0.10	0.0004	0.005

^a 检出, 低于定量限, 样品中, ⁷⁵As 的定量限为 0.0018 mg/L。

比较市售瓶装沙棘汁饮料和餐饮杯装沙棘汁饮料发现, Na、Al、K、Cr、Fe、Sr 等元素含量差异较小, 而 Mg、Ca、Mn、Cu 4 种元素含量差别较大。餐饮杯装沙棘汁饮料中, Mg 含量为 22 mg/L, 预包装饮料平均值为 7.3 mg/L, 两者相差 3 倍。而餐饮杯装沙棘汁饮料中 Ca 含量为 37 mg/L, 是预包装饮料中 Ca 含量平均值(17.3 mg/L)的 2.1 倍。Mn、Cu、Ba 3 种元素也有 2~3 倍的差异。这可能是由于预包装饮料的生产规模较大, 产品批次间差异较小, 而餐饮杯装饮料的生产规模较小, 易导致批次间质量不稳定, 这一点有待于更全面深入的研究。

4 结 论

沙棘汁饮料中不同程度地含有人体必需的金属元素, 如 K、Na、Ca、Mg、Fe、Mn、Sr 等, 而对人体有害的重金属元素含量都比较低, 这可能是沙棘生长在远离城市的边远山区, 环境污染小。本方法可应用于同时测定沙棘汁饮料中 18 种无机元素, 具有灵敏准确, 简便快速的优点。本研究结果为沙棘汁饮料的质量研究提供了科学依据。

参考文献

[1] 李淑珍, 武飞, 陈月林, 等. 沙棘活性成分及功效研究进展[J]. 中国民族民间医药, 2015, (1): 51-53.
Li SZ, Wu F, Chen Y, et al. Advances in research on active ingredients and efficacy of seabuckthorn [J]. Chin J Ethnomed Ethnopharm, 2015, (1): 51-53.

[2] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典 第一部 [M]. 北京: 中国医药科技出版社
National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China, Part I [M]. Beijing: China Medical Science and Technology Press.

[3] Beata O. The beneficial health aspects of sea buckthorn (*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A.Nelson) oil [J]. J Ethnopharmacol, 2018, (213): 183-190.

[4] 何志勇, 夏文水. 沙棘果汁营养成分及保健作用[J]. 食品科技, 2002, (7): 69-72.
He ZY, Xia WS. Nutritional ingredients and medicinal use of sea buckthorn juice [J]. Food Sci Technol, 2002, (7): 69-72.

[5] 刘畅, 王昌涛, 李刚, 等. 沙棘汁抗氧化活性的初步研究[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 130-132.

Liu C, Wang CT, Li G, et al. Study on antioxidant activity of hippophae juice [J]. Sci Technol Food Ind, 2009, 30(6): 130-132.

[6] Beata O. Sea buckthorn as a source of important bioactive compounds in cardiovascular diseases [J]. Food Chem Toxicol, 2016, (97): 199-204.

[7] Beata O, Bartosz S, Karolina U. The Anticancer Activity of Sea Buckthorn [*Elaeagnus rhamnoides* (L.) A. Nelson] [J]. Front Pharmacol, 2018, (9): 232.

[8] 张崇玉, 赵振东, 佟霁云, 等. 不同沙棘原液中 16 中矿质元素的分析 [J]. 西北农业大学学报, 1989, 17(4): 109-112.
Zhang CY, Zhao ZD, Tong JY, et al. An analysis of 16 kinds of mineral elements in different seabuckthorn raw [J] Acta Agric Boreali-Occidental Sinica, 1989, 17(4): 109-112.

[9] 袁庆华. 沙棘果汁中微量元素铜、锌、锰、铁含量的测定[J]. 宁夏农林科技, 1989, (1): 29-32.
Yuan QH. Determination of Cu, Zn, Mn, Fe contents in *Hippophae rhamnoides* juice [J]. Ningxia J Agric For Sci Technol, 1989, (1): 29-32.

[10] 薛园园. 炉内消解-石墨炉原子吸收法直接测定沙棘汁中的铅[J]. 科技风, 2018, (18): 4.
Xue YY. Determination of lead in sea buckthorn juice by furnace digestion-graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. Technol Wind, 2018, (18): 4.

[11] 汪正花, 段金凤, 师存杰. 微波消解-双道原子荧光光度计测定沙棘汁、沙棘果粉中的铅、砷、汞[J]. 当代化工, 2013, 42(11): 1624-1626.
Wang ZH, Duan JF, Shi CJ. Microwave digestion-double line AFS determination of trace lead, arsenic and mercury in sea-buckthorn juice and sea-buckthorn-fruit-powder [J]. Contempor Chem Ind, 2013, 42(11): 1624-1626.

[12] 朱利娜, 索有瑞. 不同颜色沙棘果中微量元素的含量比较[J]. 光谱实验室, 2012, 29(6): 3561-3563.
Zhu LN, Suo YR. Comparison of trace elements contents of different color sea-buckthorn [J]. Chin J Spectrosc Lab, 2012, 29(6): 3561-3563.

[13] 朱利娜, 索有瑞. 青海沙棘原液中微量元素含量的测定及其聚类分析 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2012, 40(11): 197-181.
Zhu LN, Suo YR. Determination and cluster analysis of trace elements in seabuckthorn juice from Qinghai province [J]. J Northwest A&F Univ (Nat Sci Ed), 2012, 40(11): 197-181.

[14] 刘宏伟, 符颀. 沙棘油中多元素的电感耦合等离子体质谱分析[J]. 中国油脂, 2016, 41(10): 109-112.
Liu HW, Fu L, Determination of multi-elements in seabuckthorn oil by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. China Oil Fat, 2016, 41(10): 109-112.

[15] 张荣. ICP-MS法测定沙棘果油中 13 种微量元素含量[J]. 国际沙棘研究

与开发, 2014, 12(3): 11-15.

Zhang R. Determination of 13 trace elements in seabuckthorn fruit oil by ICP-MS [J]. Glob Seabuckthorn Res Dev, 2014, 12(3): 11-15.

- [16] 李翔宇, 田梦媛. 沙棘饮品的发展现状[J]. 农产品加工, 2014, (8): 61-62.

Li XY, Tian MY. Discussion the situation of the development of the sea-buckthorn drink [J]. Acad Period Farm Prod Proc, 2014, (8): 61-62.

- [17] 李梦怡, 董喆, 费丽娜, 等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定保健食品中的 9 种元素[J]. 食品安全质量检测学报, 2016, 7(3): 944-950.

Li MY, Dong Z, Fei LN, *et al.* Determination of 9 kinds of elements in health food by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2016, 7(3): 944-950.

- [18] 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-Maximum levels of contaminants in foods [S].

(责任编辑: 陈雨薇)

作者简介



董亚蕾, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: dongyalei@nifdc.org.cn



王海燕, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品和化妆品质量与安全。

E-mail: Summerwhy163@163.com

“食品添加剂”专题征稿函

食品添加剂是为改善食品色、香、味等品质, 以及为防腐和加工工艺的需要而加入食品中的人工合成或者天然物质。食品添加剂是食品工业发展的必然产物, 食品添加剂法规和标准是保证其安全使用和保护消费者健康的重要措施。

鉴于此, 本刊特别策划“食品添加剂”专题。专题将围绕**添加剂种类**(酸度调节剂、抗结剂、消泡剂、抗氧化剂、漂白剂、膨松剂、着色剂、护色剂、酶制剂、增味剂、营养强化剂、防腐剂、甜味剂、增稠剂、香料等)、**添加剂作用及原理**、**添加剂的开发与应用**、**添加剂的滥用误用**、**添加剂的安全标准法规等**或您认为**该领域有意义的话题**展开讨论。计划在**2019年4月**出版。

鉴于您在该领域的成就, 主编**吴永宁**研究员特邀请您为本专题撰写稿件, 综述、研究论文、研究简报均可, 以期进一步提升该专题的学术质量和影响力。请在**2019年3月10号**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, 再次感谢您的关怀与支持!

感谢您的参与和支持!

投稿方式:

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-投稿选择“专题: 食品添加剂”)

E-mail: jfoodsq@126.com

《食品安全质量检测学报》编辑部