

食品中硒总量检测方法研究进展

赵晨曦, 高 佳, 付志斌, 常凤启*

(河北省疾病预防控制中心, 石家庄 050021)

摘 要: 硒是人体和动物必需的微量元素, 具有抗癌、预防心血管疾病、增强生殖功能、抗氧化、减缓损伤以及提高身体免疫力等作用, 体内缺乏硒元素会导致 40 多种疾病, 但是硒摄入过多也会导致硒中毒, 因此食品中硒含量过高或过低都会给健康带来不利影响, 精准测定食品中硒元素含量十分重要。本文就近年来食品中硒含量检测前处理方法的原理、适用条件、优缺点, 检测方法的原理、应用、特点进行了综述, 以期对食品中硒的检测提供借鉴。

关键词: 食品; 硒; 微量元素

Research progress on the detection methods of total selenium in food

ZHAO Chen-Xi, GAO Jia, FU Zhi-Bin, CHANG Feng-Qi*

(Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shijiazhuang 050021, China)

ABSTRACT: As an essential trace element for human and animals, selenium has effects on anti-cancer, preventing of cardiovascular disease, enhancing reproductive function, anti-oxidation, slowing down damage and improving body immunity. The lack of selenium can lead to more than 40 diseases, but excessive intake of selenium can also lead to selenium poisoning. As both too high and too low selenium content in foods can bring adverse effects on health, to accurately determine the content of selenium in foods becomes very important. This paper summarized the principles, application conditions, advantages and disadvantages of the methods for pretreatments of foods and determination of selenium content in foods in recent years, in order to provide reference for the determination of selenium in food.

KEY WORDS: food; selenium; trace element

0 引 言

1817 年瑞士化学家 Berzelius 发现了化学元素硒 (selenium), 发现之初主要是针对硒元素的毒性等方面进行研究, 直到 1957 年美国的 K.Schwarz 发现硒可作为一种维持生物体内保健功能的重要微量元素, 扩展了硒元素的研究领域^[1-3]。作为人体和动物体内必需的微量元素, 硒元素

具有抗癌、预防心血管疾病、增强生殖功能、抗氧化、减缓损伤以及提高身体免疫力等作用^[4]。生物体内多种含硒酶/蛋白有较强的金属(如汞、甲基汞、铅、镉等)去除作用, 可有效降低重金属在体内积累并起到维持体内生理生化等功能^[5]。同时硒酶/蛋白复合物还可以降低黄曲霉毒素 B₁ 的毒性, 并能够促进维生素 A、维生素 C、维生素 E、维生素 K 的吸收与利用^[6]。因此, 基于硒元素在生物体内的重要功能,

基金项目: 河北省卫健委跟踪项目(GL2018085)

Fund: Supported by Track Project of Health Commission of Hebei Provincial(GL2018085)

*通信作者: 常凤启, 主任技师, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: hbweisheng2@163.com

*Corresponding author: CHANG Feng-Qi, Chief Technician, Hebei Provincial Center for Disease Control and Prevention, Shijiazhuang 050021, China. E-mail: hbweisheng2@163.com

世界卫生组织已确认其为生物体内必需的微量营养元素之一^[7]。研究表明体内缺乏硒元素会导致 40 多种疾病,如克山病、大骨节病、癌症、心脑血管疾病、糖尿病、不育症、艾滋病、白内障等。但过多摄入硒元素也会导致硒中毒,出现凝血时间延长、脱发、指甲脱落和眉下皮肤发痒等症状^[8]。并且硒过量摄入也会引起 DNA 碱基替换几率增加,诱发染色体畸变,甚至引起细胞癌变。在多个国家和地区经常发生人、畜硒中毒以及鸟类胚胎畸型等情况,均与过量摄入硒有关^[9]。研究表明硒元素的毒性与营养阈值范围很窄,我国的推荐硒摄入量范围为 50~250 $\mu\text{g}/\text{d}$, 硒的中毒量界限(指甲变形)为 800 $\mu\text{g}/\text{d}$ ^[10]。国际学术组织联合会建议成年男女每日膳食中硒的需要量分别为 40 μg 和 30 μg ^[11]。因此,长期食用低于 0.1 mg/kg 或高于 1 mg/kg 的含硒食物都会导致人体不良反应,低于 0.1 mg/kg 会导致硒缺乏症,高于 1 mg/kg 会引起硒中毒^[12]。因此精准测定食品中硒元素含量十分重要,各种检测方法也应运而生,实验者可根据样品含量要求选择合适的前处理及检测方法,随着检测要求提高,痕量、超痕量检测技术不断出现,不断扩展了不同领域的硒元素含量检测,同时方法的稳定性、灵敏度也不断提高。因此,基于硒元素检测的重要性以及方法不断更新。本文就近年来食品中硒含量检测前处理方法的原理、适用条件、优缺点,检测方法的原理、应用、特点进行了综述,以期对食品中硒的检测提供借鉴。

1 前处理方法

样品前处理技术是制约着各种仪器测定稳定性以及灵敏度的关键因素,适当的前处理方法,能够快速、无污染、有效的提取出待测元素,为后续的检测工作打下良好基础。前处理方法简明对比如表 1 所示。

1.1 湿法消解

湿法消解是利用强酸或者强氧化剂将样品中的有机

物质氧化、分解、去除,从而将待测元素转化为可测定形态的一种方法。湿法消解的消解体系通常会用到强酸或者强氧化剂如浓硝酸、浓硫酸、氢氟酸、高氯酸、高锰酸钾、过氧化氢等。盐酸一般适用于 80 $^{\circ}\text{C}$ 以下的消解体系,硝酸适用于 80~120 $^{\circ}\text{C}$ 的消解体系,而硝酸-双氧水适用于 95~130 $^{\circ}\text{C}$ 的消解体系。不同种物质的消解体系的酸选择不同,而通常由于硫、硒属同一主族元素,在硫酸中可能会混杂硒元素,使测定结果偏高,因此通常采用硝酸-双氧水体系进行湿法消解^[13-16]。通常可以根据样品中有机物含量的多少选择不同的消化体系,从而达到较好的消化效果。湿法消解具有直接、高效、低廉等优点,但是由于用到大量酸溶液,易造成环境污染,对实验人员身体造成危害,因此在使用湿法消解时应注意通风及实验人员自身防护,并做好废液处理。

湿法消解通常适用于采用氢化物原子荧光光谱法和荧光分光光度法测定样品中硒元素的前处理方法。陈双等^[13]采用湿法消解的前处理方法,并对硝酸和过氧化氢的用量进行优化,处理效果良好,用原子荧光检测,加标回收率为 95%~104%。魏宁果等^[14]建立了氢化物发生-原子荧光光谱法测定茶叶中硒含量的方法,对消解处理条件、预还原剂的选择、铁氰化钾屏蔽效果、仪器测试条件等进行了优化研究,方法效果良好,硒的检出限为 0.0007 mg/kg,回收率在 90.3%~97.7%之间,相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)<5.23%($n=6$),方法灵敏度高,精密度好。牛晓梅^[15]采用湿法消解对样品进行前处理,利用氢化物发生-原子荧光光谱法,在 L-半胱氨酸存在下,测定食品中的硒。此方法检出限为 0.051 $\mu\text{g}/\text{L}$,回收率为 93.0%~101.0%,方法测定范围为 10.0~50.0 $\mu\text{g}/\text{L}$ 。谢逸欣等^[16]用 50%盐酸提取食品中无机硒成分,通过硝酸-高氯酸混合酸体系进行消解,氢化物-原子荧光法测定无机硒含量。此方法硒的检出限是 0.0028 mg/kg,线性范围是 0~10 ng/mL,加标回收率为 97.95%~102.47%,RSD 为 0.64%~4.10%。

表 1 前处理方法对比
Table 1 Comparison of pre-processing methods

	优点	缺点	装置	温度
湿法消解	直接、高效、低廉	易造成环境污染,对实验人员身体造成危害	锥形瓶或烧瓶、电热板	130 $^{\circ}\text{C}$ 以下
微波消解	环保、安全、酸用量少、方便、快捷、污染可控	容量有限,取样量小	微波消解仪 聚四氟乙烯消化管	200 $^{\circ}\text{C}$ 以内
高压管消解	消化完全、便捷、经济、快速	压力大有危险需要防护,样品中含有脂肪、糖、硝化甘油、油、芳香族化合物、硝基芳香等化合物应先进行预处理	聚四氟乙烯消化管、不锈钢外罐、烘箱	一般温度控制在 150 $^{\circ}\text{C}$ 内,有些材质可达到 330 $^{\circ}\text{C}$
氧瓶燃烧法	方便易行、污染小	实验耗时、装置较贵、要求样品体积小且干燥	氧瓶燃烧仪	温度控制在 150 $^{\circ}\text{C}$ 左右

1.2 微波消解

微波消解法通常是将样品浸泡在含有消解液(各种酸、部分碱液以及盐类)的聚四氟乙烯密封罐中,并利用微波加热将样品消化的处理方法。随着技术的精进,微波消解法逐渐被用在食品、药品、环境、生物等领域。微波消解具有环保、安全、酸用量少、方便、快捷等优点,并且可以有效控制前处理过程对样品的污染。与传统的热传导加热方式(如电热板加热)相反,微波消解是微波能到热能的转化,从而利用“热效应”达到良好的消解效果。但由于消解罐容量有限,且消化过程中易产生高压,所以可处理的样品量相对较小,不适合取样量大的样品前处理。

微波消解适用于采用电感耦合等离子体质谱法、电感耦合等离子体发射光谱法、氢化物原子荧光光谱法和氢化物原子吸收光谱法测定样品中硒的前处理方法。欧丽华等^[17]采用微波消解法进行前处理,对质控样进行3种前处理对比,分别为微波消解后是否赶酸,赶酸时是否加盐酸及是否采用湿法消解法,样品采用氢化物原子荧光光度计测定,结果表明微波消解后加入盐酸还原硒检测效果较为准确。侯学燕^[18]同样采用微波消解法对样品进行前处理,在功率为1300 W、温度为190 °C的微波消化条件下,用电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)检测5种食用菌中硒的含量,该方法的回收率在96.7%~101.7%之间,线性系数为0.9997,精密度的相对标准偏差在1.46%~6.81%($n=8$)之间。罗科丽等^[20]采用微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定富硒大米中5种重金属元素,分别对硝酸用量、过氧化氢用量、微波消解程序进行优化,得出优化前处理方法,并用质控样品进行验证,发现7 mL硝酸,20 °C升温5 min、恒温5 min,160 °C升温5 min、恒温5 min,180 °C升温5 min、恒温15 min的前处理流程处理效果最佳,该方法简单快速、试剂用量少,准确性好。

1.3 高压罐消解

高压罐消解法是在高温、高压、密闭的环境下,采用强酸及强氧化物质对样品进行快速消解的一种样品前处理方法。该方法的操作为将聚四氟乙烯消解罐放入不锈钢套中,拧紧缸盖,再将其放入烘箱中进行加热消解,一般温度控制在150 °C内,有些材质可达到330 °C,因此在操作过程中需采用必要的防护措施,保证实验人员安全^[21-24]。若样品中含有脂肪、糖、硝化甘油、油、芳香族化合物、硝基芳香等化合物应先进行敞开加热处理,除去二氧化氮使密闭消解更安全。高压罐消解法具有消化完全、便捷、经济、快速等特点,因此近年来在食品、环境、药品等领

域应用广泛。

当选用电感耦合等离子体质谱法、电感耦合等离子体光谱法及氢化物原子荧光光谱法测定样品中硒元素时,可采用高压罐消解的前处理方法。江永红^[21]采用密闭高压消解技术与传统湿法消解进行对比,并分别采用ICP-MS和原子荧光光度计测定食品中的硒,研究表明,2种方法线性均大于0.999,方法最低检出浓度分别为0.01、0.04 μg/L,加标回收率在95.6%~103.0%。铁梅等^[22]采用高压消化罐在较低温度下缓慢消化食用菌样品,采用ICP-MS进行检测,检测结果线性良好($r=1.0000$),回收率为99.96%~102.7%。王玉萍等^[23]将高压罐消解作为前处理方法,对奶粉进行消化处理,并用原子荧光光度计进行检测,硒元素曲线浓度在0~100.0 ng/mL之间呈良好的线性关系,相关系数为0.9998,其最低检出浓度为0.47 μg/L。孙连伟等^[24]采用高压罐消解-氢化物-原子荧光光谱法对花生中硒进行消解、测定,主要摸索对于油脂比较高的食品样品的消解条件及检测条件,方法的最低检出浓度为0.2 μg/L,线性范围为0~100 ng/mL,相关系数 r 为0.9999,回收率为96.6%~100.0%。

1.4 氧瓶燃烧法

氧瓶燃烧法又称氧弹法,是一种方便易行的低温灰化样品预处理方法。该方法将样品包裹于滤纸中,并置于盛有吸收液且充满氧气的铂内衬氧弹内,利用高频电激发的氧气分解试样,当温度控制在150 °C左右时,灰化产物将完全溶解在吸收液内,后对样品进行测定。此方法适用于体积小且干燥的样品,同时该方法具有操作简单、污染小等优点,但实验耗时、装置较贵^[25-26],由于以上原因,氧瓶燃烧法目前基本上已不适用于日常检测工作中样品的前处理。

唐海龙^[27]采用该前处理方法对西洋菜进行预处理,利用原子荧光检测硒,7次测定的相对标准偏差值为2.04%,方法精密度较好。翁东明等^[28]采用氧瓶燃烧法将样品中的含硒化合物转化为四价硒离子,并与2,3-二氨基萘(2,3-diaminonaphthalene, DAN)络合生成4,5-苝并硒二唑,然后采用紫外分光光度法测定其含量,检测结果线性良好。周梅娟等^[29]通过氧瓶燃烧法分解试样,采用非色散原子荧光氢化物法测定硒,测定结果相对标准偏差为0.5%~4.3%。

2 检测方法

硒元素的检测方法主要以荧光分光光度法、紫外分光光度法、氢化物原子荧光光谱法、石墨炉原子吸收光谱法、电感耦合等离子体光谱法以及电感耦合等离子体质谱法为主。目前食品中硒测定方法为氢化物原子荧光光谱法、荧光分光光度法及电感耦合等离子体质谱法,每种方法简要对比如表2所示。

表 2 检测方法对比
Table 2 Comparison of detection methods

	优点	缺点	检出限/(mg/kg)	适用范围
氢化物原子荧光光谱法	灵敏度高, 重现性好, 分析速度快, 操作简便	进样量大	0.002	适合于大多数食品样品检测
荧光分光光度法	操作简便、快捷	须要在测定前消除荧光杂质, 控制好空白值	0.01	适合低浓度样品
紫外-可见分光光度法	操作简便、高效、精密度高	但检出限较差	/	适合高浓度样品
石墨炉原子吸收光谱法	方法灵敏度较高、检出限较低	基体复杂, 干扰大	0.03	适合低浓度样品
电感耦合等离子体发射光谱法	检测方便、检测样品量大、稳定性好、线性范围宽、仪操作简便、可同时进行多元素的检测	基质干扰大	0.06	适合高浓度、多元素样品检测
电感耦合等离子体质谱法	灵敏度高、检出限低, 适合痕量元素、线性范围宽、仪操作简便、可同时进行多元素的检测	仪器贵、基质干扰大	0.01	适合低浓度、多元素样品检测

2.1 氢化物原子荧光光谱法

氢化物原子荧光光谱法测定硒元素时, 首先将样品消化后用 6 mol/L 盐酸将试样中 Se^{6+} 还原为 Se^{4+} , 随后用硼氢化钠或者硼氢化钾作为还原剂将 Se^{4+} 进一步还原成硒化氢。硒化氢由氩气带入原子化器中原子化, 在硒空心阴极灯的照射下, 硒原子被激发而后再回到基态, 发射出荧光, 利用荧光强度与硒元素含量成线性关系进行测定。此方法灵敏度高, 重现性好, 分析速度快, 操作简便, 适合于大多数食品样品检测。

吴航等^[30]采用 Dowex Marathon A(DMA)固相萃取-氢化物发生-原子荧光光谱检测法, 检测豆类、蔬菜、水果和草本植物等样品中的硒含量。该方法将样品消化完全后, 用 DMA 树脂进行固相萃取, 该方法的最低检出浓度为 0.013 $\mu\text{g/L}$, 线性相关系数为 0.9999, 方法回收率大于 95%, 相对标准偏差小于 3%($n=11$)。邹春苗^[31]采用微波消解前处理样品, 氢化物原子荧光光谱法和电感耦合等离子体分别测定富硒大米中的硒, 经对比, 两种方法线性回归方程的相关系数均大于 0.999, 检出限分别为 0.011 $\mu\text{g/L}$ 和 0.032 $\mu\text{g/L}$, 相对标准偏差小于 5%, 加标回收率分别为 95.1%~102.7%。吴红雨等^[32]采用氢化物发生原子荧光光谱仪测定食品中微量硒, 其对酸度、还原剂浓度等条件进行摸索, 结果发现, 盐酸含量在 5%时, 荧光强度最大, KHB_4 的适宜浓度为 1%, 此方法的精密度为 2.9%~5.2%($n=10$), 样品的回收率在 91%~106%。武云卿等^[33]采用一次性湿法冷凝回流消解的前处理方法, 并集合氢化物原子荧光光谱法连续完成食品中砷、硒、汞元素含量的测定, 此方法硒元素的回收率为 95.0%, 通过与国标法对同一样品进行比较测定, 结果经 t 值检验 $P>0.05$, 差别无显著性。

2.2 荧光分光光度法

荧光分光光度法是在酸性条件下, 将用酸消化后产生的 Se^{4+} 与 2,3-二氨基萘(2,3-dicyanophthalene, DAN)反应生成 4,5-苯并苯硒脑, 经环己烷萃取检测。在 376 nm 激发波长下, 4,5-苯并苯硒脑的发射波长在 520 nm 左右, 可根据标准系列比较定量检测。在荧光分析中必须要在测定前消除荧光杂质, 控制好空白值, 否则对检测结果有很大影响^[34]。GB 5009.93-2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》^[35]中使用 50.0 $\mu\text{g/L}$ 的硒标准溶液为使用液, 分别吸取 0.200~4.00 mL 配制标准曲线。当称样量为 1 g 时, 定容 10.0 mL 时, 方法的检出限为 0.01 mg/kg, 最低检出浓度为 0.001 mg/L, 定量限为 0.03 mg/kg。

董建等^[36]采用改进的样品前处理方法, 使用电热板消化, 并加入铜试剂降低硒的挥发损失, 增加环己烷用量, 使得有机相增多, 通过吸取有机相进行比色, 使操作更加容易。李人宇等^[37]采用硒(IV)-碘化物-吡啶橙(acridine orange, AO)离子缔合体系分光光度法, 在 0.02 mol/L 硫酸介质中测定了食盐中微量硒, 最低检出浓度为 1.07 $\mu\text{g/L}$ 。刘晶晶^[38]采用此法测定大蒜中的硒含量, 其浓度在一定范围内与其荧光强度呈线性关系, 相关系数为 0.9994, 硒平均含量 0.0329 $\mu\text{g/g}$ 。PEDRO 等^[39]采用流动注射技术测定 Se(IV) , 在原有反应介质中加入十二烷基磺酸钠和 β -环式糊精, 以起到协同增敏以及荧光强度提高效果, 其最低检出浓度为 0.3 $\mu\text{g/L}$, 线性范围为 1~500 $\mu\text{g/L}$ 。

2.3 紫外-可见分光光度法

紫外-可见分光光度法检测硒是通过化学试剂与样品中硒元素结合, 在特定波长的紫外光下, 通过呈现的颜色深浅来进行定量、定性检测。一般其检测波长范围在 190~800 nm, 此方法应当注意试剂及样品的纯度问题, 否

则会因为杂质干扰影响检测结果。紫外可见分光光度法具有操作简便、高效、精密度高优点,但检出限较差,因此适用于硒浓度较高的样品检测。

付名等^[40]采用邻苯二胺为显色剂,在335 nm检测波长下用紫外分光光度法对硒进行检测,相关系数可达0.9997,平均加标回收率为98.55%,相对标准偏差为0.21%。李丽彩等^[41]以邻苯二胺作显色剂,在波长334 nm下,测定富硒麦芽中微量元素硒的含量,相关系数 $r=0.99986$;平均加标回收率为98.04%,RSD=4.4%;方法的精密度(RSD=2.7%)、重现性(RSD=1.4%)和稳定性(RSD=0.80%)均较好。周跃花等^[42]测定紫阳富硒茶中的硒,在pH 1.5~2.5条件下,避光放置60 min,加入甲苯萃取8 min,并用紫外分光光度法进行检测,该方法的线性相关系数为0.9983,相对标准偏差为1.13%。孙燕^[43]采用萃取分光光度法研究了小米中硒含量测定时的干扰因素,通过研究发现,小米中的铁、铜离子对硒检测结果有干扰。王存孝^[44]用紫外分光光度法检测燕麦片中微量元素硒的含量,其硒的平均含量为0.150 $\mu\text{g/g}$,加标回收率为98.13%~102.8%。白静等^[45]利用硒催化溴酸钾氧化甲基橙褪色的原理,建立了一种紫外可见分光光度法测定硒含量的方法,测定波长为506 nm,在0.2~1.2 $\mu\text{g/mL}$ 范围内有良好的线性关系, $r=0.9979$,回收率在93.3%~96.4%之间,RSD为1.2%。

2.4 石墨炉原子吸收光谱法

石墨炉原子吸收光谱法是将处理后的样品溶液通过石墨炉原子化器,用电流加热促进原子化而后进行原子吸收分析的方法。样品原子化效率较高,避免了原子浓度的稀释,因此该方法灵敏度较高、检出限较低,对痕量金属元素的测定优势显著。但是基体复杂,干扰大也是此方法一个缺点^[46-50]。此方法一般采用加入基体改进剂降低基体干扰,基体改进剂可将基体转变为易挥发物质或者热稳定化合物,从而消除背景吸收及减少硒的挥发,除此之外还可以采用塞曼背景扣除、热解石墨涂覆处理等方法。

KAMLESH等^[47]通过超声辅助前处理方法,以及中空纤维液相萃取法结合石墨炉原子吸收光谱法测定常见水果和蔬菜中的硒。BELGIN等^[48]采用电热原子吸收光谱法测定大蒜和洋葱中的硒含量,测得大蒜和洋葱中硒含量分别为0.015、0.024 $\mu\text{g/g}$ 。梦洁等^[49]采用石墨炉原子吸收法测定硒砂瓜中硒的含量,回收率为95.7%~104.1%、相对标准偏差为1.22%~3.31%。张惠峰等^[50]采用微波消解前处理方法为样品的前处理方法,并结合石墨炉原子吸收光谱法对水产品中的硒含量进行检测。检出限为0.030 mg/kg,相对标准偏差为1.8%~7.8%,样品的加标回收率为82.1%~87.7%。

2.5 电感耦合等离子体发射光谱法

电感耦合等离子体发射光谱法通过电能、热能或者光

能激发原子或离子,使其外层电子在接受能量之后激发跃迁到高能级的激发态。但激发态原子不稳定会自发跃迁到低能级轨道上,并且其能量以光的形式发射出来,形成谱线,不同元素会有不同的特征谱线,从而可以对不同元素进行定性或定量检测。通常情况下光谱干扰、基体效应和电离干扰等对电感耦合等离子体发射光谱法检测结果有较大影响。采用动态背景校正、内标等方法可有效解决相应的干扰问题。电感耦合等离子体发射光谱法检测方便、检测样品量大、稳定性好,实验常采用0.2~2.0 mg/L范围的工作曲线,当称样量为1 g时,定容体积为10.0 mL时,该方法对于食品中硒元素检测的检出限为0.06 mg/kg,最低检出浓度为0.006 mg/L,定量限为0.18 mg/kg,因此当待测物质的浓度高时具有较好的检测效果。

姜华军等^[51]采用微波消解法处理样品,电感耦合等离子体发射光谱法测定鱼露中13种元素,13种元素的线性相关系数均大于0.999,检出限为0.00086~0.15 mg/kg,多次平行测定的RSD为0.89%~4.21%,加标回收率为93.6%~103.2%。王安亭等^[52]采用微波消解的前处理方法,用电感耦合等离子体发射光谱仪进行检测,同时检测黑色食品中硒、钙、镁等12种元素,检测结果良好,方法的回收率在82.7%~110.6%之间,RSD均小于5%。

2.6 电感耦合等离子体质谱法

电感耦合等离子体质谱法通过质谱检测器对样品进行定性及定量分析,该方法比电感耦合等离子体发射光谱法灵敏度高、检出限低,适合痕量元素的分析。电感耦合等离子体质谱仪操作简便,可同时进行多元素的检测,硒为多价态低沸点易挥发元素,常见硒元素的同位素有⁷⁴Se、⁷⁶Se、⁷⁷Se、⁷⁸Se、⁸⁰Se以及⁸²Se,并且具有较高的电离能,在氩气中较难电离,导致电离程度低,存在严重的Kr、氙多原子离子的干扰。例如:其中丰度最大的同位素⁸⁰Se(天然丰度为49.8%)会受Ar的二聚物Ar₂在 $m/z=80$ 处的干扰,⁷⁷Se(天然丰度为7.6%)和⁷⁸Se(天然丰度为23.7%)也会受到多原子离子⁴⁰Ar³⁷Cl以及Ar₂的干扰,因此通常采用碰撞模式或者反应池模式降低这种干扰,从而达到较好的检测效果^[53]。由于H₂、He的质量小,电离能大,通常作为碰撞气参与反应中,而反应池模式经常选择还原性气体(CH₄、NH₃)、氧化性气体(O₂、N₂O)作为反应气。对于样品基质相对简单的检测,可以选择标准模式,通常选择⁸²Se作为待测同位素,利用干扰方程校正,以降低基质干扰。若样品基质比较复杂可以通过碰撞模式和反应池模式降低基质干扰,2种检测模式通常分别选择⁷⁸Se和⁸⁰Se作为待测同位素,在此基础上还可以采用Ge作内标降低基质干扰,通过添加乙醇、异丙醇等基体改进剂以增强硒的信号强度,进一步提高硒元素检测的准确性。国标GB 5009.93—2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》^[35]中采用的工作

曲线范围为 1.00~50.0 $\mu\text{g/L}$, 通常称取 0.5 g 固体样品, 定容至 50 mL, 方法的检出限为 0.01 mg/kg, 定量限为 0.03 mg/kg; 液体样品通常选择 2 mL 并定容体积至 50 mL, 检出限为 0.003 mg/L, 定量限为 0.01 mg/L。一般电感耦合等离子体质谱法碰撞模式下检出限为 20~25 ng/L, 而反应池模式的检出限为 1 ng/L, 因此低浓度样品可选择反应池模式检测^[54]。

翟云忠等^[55]分别采用标准模式、碰撞模式及动态反应池模式, 进行硒元素的检测, 经对比发现反应池模式线性最优, 在动态反应池模式下甲烷会与 $^{40}\text{Ar}^{40}\text{Ar}^+$ 反应, 使其成为不带电荷的 $^{40}\text{Ar}^{40}\text{Ar}$, 从而消除干扰。聂刚等^[56]利用乙醇作为基体改进剂增强硒的分析信号, 在普通模式下检测食品原料中的硒元素含量, 选用 ^{77}Se 进行测定, 采用 Y 元素作为内标补偿基体效应, 方法检出限为 0.87 ng/g, 精密度 $< 5\%$ ($n=6$), 回收率在 98.1%~106.0% 之间。王丙涛等^[57]采用电感耦合等离子串联质谱法对螺旋藻及奶粉中硒、磷、砷等元素进行检测, 实验发现采用 O_2 作为反应气时 P、Se 的检测结果最为准确, As 采用 He 模式可实现精准检测, As 和 Se 在 0.5~200 $\mu\text{g/L}$ 浓度范围内均具有良好的线性, 相关系数均大于 0.9995, 加标回收率在 94.0%~101.5% 之间, RSD 小于 2.1%。宁月莲等^[58]在碰撞模式下, 选择 ^{78}Se 作为待测同位素, 同时用 Minitab 中的 DOE 实验设计进行分析, 采用 ^{72}Ge 元素作内标补偿基体效应, 本方法相关系数达到 0.999 以上, 加标回收范围在 81.1%~117%, 固体样品检出限 0.00737 mg/kg, 液体样品 0.00264 mg/kg, 5 种不同基质样品的精密度在 2.0%~6.1% ($n=6$)。李金蔓等^[59]以 2% 异丙醇作为基体改进剂, 锆元素进行内标校正, 用 ICP-MS 的碰撞池技术测定硒元素含量, 该方法拟合系数为 1.0000, 硒检出限为 0.3 $\mu\text{g/kg}$, 定量限为 1 $\mu\text{g/kg}$ 。

3 小 结

硒元素相关领域的研究已经经历了很长一段时间, 其样品前处理技术以及检测手段也不断更新, 因此可以满足不同的样品以及不同硒元素含量的检测需要。不同检测技术也各有利弊, 检测人员也根据样品的性质及被测元素的含量选择合适的前处理及检测方法。实际样品检测时不同的样品前处理方法可能具有不同的效果, 但是前处理方法的发展应该以高效、安全、环保、无污染等为基本, 并向着提高样品的富集效果、减少繁琐步骤等方面发展。而相应的检测方法发展方向也应是灵敏度高、分辨率好、干扰小以及重现性、准确性好等方面。石墨炉原子吸收光谱法、氢化物原子荧光光谱法、电感耦合等离子体发射光谱法主要是减少或消除样品基质的干扰, 应该分别向着灵敏度高、重现性好、准确性好等方面发展。电感耦合等离子

体质谱法因检出限低且能够实现多元素同时检测, 受到更多关注, 越来越多的学者在着力解决该方法存在的基质、加和离子和化学反应产物干扰等问题。电感耦合等离子体质谱法和电感耦合等离子体高分辨质谱法能够解决大部分干扰问题, 但目前仪器成本尚高, 还难以普及。随着现代分析技术手段的不断发展, 将来会有更多、高效的新型检测硒的方法供检测人员选择。

参考文献

- [1] RAYMAN MP. The importance of selenium to human health [J]. *Lancet*, 2000, 356: 233-241.
- [2] ELLIS DR, SALT DE. Plant, selenium and human health [J]. *Curr Opin Plant Biol*, 2003, 6: 273-279.
- [3] SORS TG, ELLIS DR, SALT DE. Selenium uptake, transaction, assimilation and metabolic fate in plants [J]. *Photosynth Res*, 2005, 86: 373-389.
- [4] DUMOUT E, VANHAECKE F, CORNELIS R. Selenium speciation from food source to metabolites: A critical review [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2006, 385(7): 1304-1323.
- [5] 李傲瑞, 乔新星, 赵飞飞, 等. 硒与人体健康关系研究进展[J]. *环境与安全*, 2020, (12): 121-122.
- [6] LI AR, QIAO XX, ZHAO FF, *et al.* Research progress on the relationship between selenium and human health [J]. *Environ Saf*, 2020, (12): 121-122.
- [7] MARGARET PR. Selenium and human health (review) [J]. *Lancet*, 2012, 379: 1256-1268.
- [8] 吐尔逊江·买买提明. 硒与人体健康的研究进展[J]. *国外医学(医学地理分册)*, 2013, 34(4): 222-224, 230.
- [9] TUERXUNJIANG M. The research progress of selenium and human health [J]. *Foreign Med Sci(Sec Medgeogr)*, 2013, 34(4): 222-224, 230.
- [10] 董国力. 微量元素铁、锌、碘、硒、氟与人体健康的相关性探究[J]. *中国当代医药*, 2013, 20(6): 183-184.
- [11] DONG GL. Correlation analysis of trace elements iron, zinc, iodine, selenium and fluoride and human health [J]. *China Mod Med*, 2013, 20(6): 183-184.
- [12] 张玲, 郝艳梅, 张世益. 微量元素硒锌与人体健康的研究进展[J]. *中国保健营养*, 2013, 23(3): 1557-1558.
- [13] ZHANG L, HAO YM, ZHANG SY. Research progress of trace element selenium and zinc and human health [J]. *China Health Care Nutr*, 2013, 23(3): 1557-1558.
- [14] 许凌凌, 许月明. 微量元素硒与人体健康研究[J]. *农技服务*, 2016, 33(6): 85-86.
- [15] XU LL, XU YM. Research on trace element selenium and human health [J]. *Agric Technol Serv*, 2016, 33(6): 85-86.
- [16] 杨光圻, 顾履珍. 微量元素硒的人体需要量和安全摄入量范围[J]. *生理科学进展*, 1992, 23: 184-186.
- [17] YANG GQ, GU LZ. The human body requirement and safe intake range of trace element selenium [J]. *Adv Physiol Sci*, 1992, 23: 184-186.
- [18] DUMONT E, VANHAECKE F, CORNELIS R. Selenium speciation from food source to metabolites: A critical review [J]. *Anal Bioanal Chem*, 2006, 386: 1304-1323.

- [13] 陈双, 陈峰. 微波消解-原子荧光光谱法测定茶叶中硒含量[J]. 食品工业, 2020, 41(7): 266-269.
CHEN S, CHEN F. Determination on selenium in tea by microwave digestion-atomic fluorescence spectrometry method [J]. Food Ind, 2020, 41(7): 266-269.
- [14] 魏宁果, 范芳芳, 贾亦森, 等. 氢化物发生-原子荧光光谱法测定茶叶中硒含量[J]. 中国食品添加剂, 2020, 31(7): 126-130.
WEI NG, FAN FF, JIA YS, *et al.* Determination of selenium in tea by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. China Food Addit, 2020, 31(7): 126-130.
- [15] 牛晓梅. L-半胱氨酸-原子荧光法测定食品中的硒[J]. 中国卫生检验杂志, 2011, 21(6): 1373-1374.
NIU XM. Determination of selenium in food by L-cysteine atomic fluorescence spectrometry [J]. Chin J Health Lab Technol, 2011, 21(6): 1373-1374.
- [16] 谢逸欣, 黄仕稳, 鞠鹤鹏, 等. 氢化物发生-原子荧光光谱法测定食品中有机硒和无机硒[J]. 食品科技, 2016, 41(11): 262-265.
XIE YX, HUANG SW, JU HP, *et al.* Determination of organic selenium and inorganic selenium in food by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. Food Sci Technol, 2016, 41(11): 262-265.
- [17] 欧利华, 荣国琼, 张秀清, 等. 微波消解氢化物原子荧光光谱法测定食品中的硒[J]. 食品安全质量检测学报, 2017, 8(10): 3874-3877.
OU LH, RONG GQ, ZHANG XQ, *et al.* Microwave digestion hydride atomic fluorescence spectrometry for determination of selenium in food [J]. J Food Saf Qual, 2017, 8(10): 3874-3877.
- [18] 侯学燕. 微波消解 ICP-MS 法测定食用菌中的硒[J]. 食品研究与开发, 2013, 34(12): 70-72.
HOU XY. Study on the Method of Using microwave digestion-Icp-Ms to determine Se in the edible fungi [J]. Food Res Dev, 2013, 34(12): 70-72.
- [19] 樊祥, 韩丽, 张润何, 等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定乳制品中铬、钼和硒[J]. 分析科学学报, 2015, 31(3): 409-412.
FAN X, HAN L, ZHANG RH, *et al.* Determination of Cr, Mo and Se in dairy products with microwave assisted sample digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. J Anal Sci, 2015, 31(3): 409-412.
- [20] 罗科丽, 曾峰景, 刘冰洋, 等. 微波消解-ICP-MS 测定富硒大米中 5 种微量元素和 5 种重金属元素[J]. 粮油食品科技, 2019, 27(3): 24-28.
LUO KL, ZENG JF, LIU BY, *et al.* Determination of 5 trace elements and 5 heavy metal elements in selenium-rich rice by microwave digestion-ICP-MS [J]. Sci Technol Cere Oil Food, 2019, 27(3): 24-28.
- [21] 江永红. 电感耦合等离子体质谱法和原子荧光法测定植物性食品中硒含量的对比分析[J]. 安徽农业科学, 2015, 43(5): 228-230.
JIANG YH. Comparative of determination of selenium in plant food by inductively coupled plasma mass spectrometry and atomic fluorescence spectrometry [J]. J Anhui Agric Sci, 2015, 43(5): 228-230.
- [22] 铁梅, 臧树良, 张威, 等. ICP-MS 测定食用菌中硒的方法研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2006, 26(3): 551-553.
TIE M, ZANG SL, ZHANG W, *et al.* Study on the method of using ICP-MS to determine se in the edible fungi [J]. Spectrosc Spect Anal, 2006, 26(3): 551-553.
- [23] 王玉萍, 吴刚, 周厉, 等. 高压罐消解-氢化物发生原子荧光法测定食品中的硒[J]. 分析实验室, 2007, 26(Z1): 261-263.
WANG YP, WU G, ZHOU L, *et al.* Determination of selenium in food by high pressure tank digestion-hydride generation atomic fluorescence method [J]. Chin J Anal Lab, 2007, 26(Z1): 261-263.
- [24] 孙连伟, 韩雪, 付爱瑞, 等. 高压罐消解-氢化物发生原子荧光法测定花生中硒含量的研究[J]. 安徽农业科学, 2011, 39(19): 11950-11951.
SUN LW, HAN X, FU AR, *et al.* Determination of selenium in peanut by atomic fluorescence spectrometry with high pressure digestion [J]. J Anhui Agric Sci, 2011, 39(19): 11950-11951.
- [25] 柯以侃, 周心如, 王巢臣, 等. 化验员基本操作与实验技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2008.
KE YK, ZHOU XR, WANG CC, *et al.* Basic operation and experimental technology of laboratory technicians [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2008.
- [26] 徐桂杰, 可成友, 边蓄, 等. 有机样品中硒消解方法的研究进展[J]. 山西中医, 2009, 11(25): 49-51.
XU GJ, KE CY, BIAN Q, *et al.* Research progress on digestion methods of selenium in organic samples [J]. Shanxi J Tradit Chin Med, 2009, 11(25): 49-51.
- [27] 唐海龙. 氧弹燃烧-原子荧光测定西洋菜中硒的含量[J]. 广东化工, 2018, 45(8): 219-239.
TANG HL. Determination of selenium in watercress by oxygen bomb combustion and atomic fluorescence spectrometry [J]. Guangdong Chem Ind, 2018, 45(8): 219-239.
- [28] 翁东明, 齐荔红, 刘锡钧, 等. 氧瓶燃烧-紫外分光光度法测定硒灵胶囊中硒的含量[J]. 中国现代应用药学, 1999, 16(1): 57-60.
WENG DM, QI LH, LIU XJ, *et al.* Determination of Se in Xilin capsule by oxygen flask combustion-ultraviolet spectrometry [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 1999, 16(1): 57-60.
- [29] 周梅娟, 唐尚明. 氧瓶燃烧—非色散原子荧光氢化法测定硒[J]. 上海环境科学, 1989, (2): 30-31.
ZHOU MJ, TANG SM. Oxygen flask combustion-non-dispersive atomic fluorescence hydrogenation method for determination of selenium [J]. Shanghai Environ Sci, 1989, (2): 30-31.
- [30] 吴航, 姜效军, 吕琳琳, 等. Dowex Marathon A 固相萃取-氢化物发生-原子荧光光谱法测定食品和水中的硒含量[J]. 食品科学, 2017, 38(10): 204-207.
WU H, JIANG XJ, LV LL, *et al.* Determination of Se in food and water samples by solid phase extraction-hydride generation-atomic fluorescence spectroscopy [J]. Food Sci, 2017, 38(10): 204-207.
- [31] 邹春苗, 刘静晶, 廖雪, 等. 电感耦合等离子体质谱法和氢化物原子荧光光谱法测定富硒大米中硒含量的对比分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(4): 1231-1234.
ZOU CM, LIU JJ, LIAO X, *et al.* Comparative analysis of determination of selenium in selenium-enriched rice by inductively coupled plasma mass spectrometry and hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(4): 1231-1234.
- [32] 吴红雨, 吴敬波. 微波消解-氢化物发生原子荧光法测定食品中微量硒[J]. 仪器仪表与分析监测, 2009, (3): 40-41.
WU HY, WU JB. Determination of selenium in foods by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry digested with microwave [J]. Instrum Anal Monitor, 2009, (3): 40-41.
- [33] 伍云卿, 涂杰峰, 范超, 等. 一次性消解连续测定食品中砷、硒和汞的研究[J]. 中国农学通报, 2013, 29(27): 200-203.
WU YQ, TU JF, FAN C, *et al.* The research on the weight of As, Se and Hg in food with continuous determination of one-time digestion [J]. Chin

- Agric Sci Bull, 2013, 29(27): 200–203.
- [34] 金玉铃, 沙纪辉. 日常食物中硒含量的测定与分析[J]. 福建医科大学学报, 1997, 31(3): 101–102.
JIN YL, SHA JH. Determination and analysis of selenium content in daily food [J]. J Fujian Med Univ, 1997, 31(3): 101–102.
- [35] GB 5009.93—2017 食品安全国家标准 食品中硒的测定[S].
GB 5009.93—2017 National food safety standard-Determination of selenium in food [S].
- [36] 董建, 王秋菊, 赵法兰. 荧光分光光度法测定食品中硒的方法改进[J]. 微量元素与健康研究, 2002, 19(4): 60–61.
DONG J, WANG QJ, ZHAO FL. Improved method for determination of selenium in food by fluorescence spectrophotometry [J]. Stud Trace Element Health, 2002, 19(4): 60–61.
- [37] 李人宇, 陶明涛, 李咏梅, 等. 离子缔合体系分光光度法测定食盐中微量硒[J]. 盐业与化工, 2009, 38(5): 29–32.
LI RY, TAO MT, LI YM, *et al.* Spectrophotometric determination of trace selenium in edible salt with ion-association system [J]. J Salt Chem Ind, 2009, 38(5): 29–32.
- [38] 刘晶晶. 原子荧光分光光度法测定硒含量[J]. 化工管理, 2016, (14): 147.
LIU JJ. Determination of selenium content by atomic fluorescence spectrophotometry [J]. Chem Enterprise Manag, 2016, (14): 147.
- [39] PEDRO J, ANDRADE F, MAGNI D. On-line submicellar enhanced fluorometric determination of Se (IV) with 2,3-diaminonaphthalene [J]. Anal Chim Acta, 2004, 516(1-2): 229–236.
- [40] 付明, 卢嫣红, 姚元枝, 等. 紫外分光光度法测定藜蒿的硒含量[J]. 江苏农业科学, 2009, (5): 240–241.
FU M, LU YH, YAO YZ, *et al.* Measurement of content of Se element in *Artemisia selengensis* Turcz via UV spectrophotometric method [J]. Jiangsu Agric Sci, 2009, (5): 240–241.
- [41] 李丽彩, 王留成, 程相林, 等. 紫外分光光度法测定富硒麦芽中微量元素硒的含量[J]. 应用化工, 2016, 45(4): 771–774.
LI LC, WANG LC, CHENG XL, *et al.* Determination of trace element selenium in selenium-rich malt with ultraviolet spectrophotometric method [J]. Appl Chem Ind, 2016, 45(4): 771–774.
- [42] 周跃花, 杨菊香, 张娜. 紫外分光光度法测定紫阳富硒茶中的硒[J]. 西北农业学报, 2009, 18(4): 229–232.
ZHOU YH, YANG JX, ZHANG N. Determination of selenium of enriched tea in Ziyang by UV spectrophotometry [J]. Acta Agric Boreali-Occidentalis Sin, 2009, 18(4): 229–232.
- [43] 孙燕. 紫外可见分光光度法测定小米中硒含量的干扰因素分析与研究[J]. 四川化工, 2020, 23(2): 39–41.
SUN Y. Analysis and study on interference factors in determination of selenium content in millet by UV vis spectrophotometry [J]. Sichuan Chem Ind, 2020, 23(2): 39–41.
- [44] 王存孝. 燕麦片中硒含量的测定[J]. 农村科学实验, 2018, (9): 84.
WANG CX. Determination of selenium content in oatmeal [J]. Sci Exp Country, 2018, (9): 84.
- [45] 白静, 崔丽伟. 胶束增敏催化光度法测定食品中的痕量硒[J]. 食品研究与开发, 2015, 36(1): 99–102.
BAI J, CUI LW. Micellar sensitized catalytic spectrophotometric determination of trace selenium in food [J]. Food Res Dev, 2015, 36(1): 99–102.
- [46] 沈高扬, 支志华. 石墨炉原子吸收光谱法测定大米及油菜籽中硒的含量[J]. 中国食品添加剂, 2018, (12): 192–196.
SHEN GY, ZHI ZH. Determination of selenium in rice and rapeseed by graphite furnace atomic absorption spectrometry [J]. Chin Food Addit, 2018, (12): 192–196.
- [47] KAMLESH S, DEVESH K. Ultrasound assisted-hollow fibred liquid-phase microextraction for the determination of selenium in vegetable and fruit samples by using GF-AAS [J]. Food Chem, 2011, 124(4): 1673–1677.
- [48] BELGIN I, SEREF G, RADOJKO J. Determination of selenium in garlic (*Allium sativum*) and onion (*Allium cepa*) by electro thermal atomic absorption spectrometry [J]. Food Chem, 2006, 99(3): 630–637.
- [49] 梦洁, 吴元雄. 全自动消解仪-石墨炉原子吸收法测定宁夏不同产地晒砂瓜中硒含量的研究[J]. 大陆桥视野, 2016, (8): 71–72.
MENG J, WU YX. Study on determination of selenium content in selenium gourd from different producing areas in Ningxia by automatic digestion instrument-graphite furnace atomic absorption method [J]. New Silk Road Horizon, 2016, (8): 71–72.
- [50] 张惠峰, 李霞, 王海. 石墨炉原子吸收法对水产品中硒的测定及不确定度评价[J]. 中国渔业质量与标准, 2016, 6(3): 49–56.
ZHANG HF, LI X, WANG H. Determination of Se in aquatic products by graphite furnace atomic absorption spectroscopy and the evaluation of the uncertainty [J]. China Fish Qual Stand, 2016, 6(3): 49–56.
- [51] 姜华军, 魏敏, 王妍. 微波消解-ICP-OES法同时测定鱼露中13种元素[J]. 中国调味品, 2019, 44(10): 165–167.
JING HJ, WEI M, WANG Y. Determination of 13 elements in fish sauce by ICP-OES with microwave digestion [J]. China Cond, 2019, 44(10): 165–167.
- [52] 王安亭, 王祖华, 朱再峰. ICP-AES测定黑色食品中12种微量元素[J]. 食品工业, 2015, 36(10): 270–273.
WANG AT, WANG ZH, ZHU ZF. ICP-AES determination of 12 microelements in the black food [J]. Food Ind, 2015, 36(10): 270–273.
- [53] 梁进. ICP-AES法测定富硒茶中十二种矿物质元素含量[J]. 茶叶通报, 2013, 35(1): 18–21.
LIANG J. Determination of twelve mineral elements in selenium-enriched tea by ICP-AES [J]. J Tea Bus, 2013, 35(1): 18–21.
- [54] 高飞, 张剑峰, 历荣, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定保健食品中的硒[J]. 中国卫生工程学, 2009, 8(3): 172–173.
GAO F, ZHANG JF, LI R, *et al.* Determination of selenium in health food by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Chin J Publ Health Eng, 2009, 8(3): 172–173.
- [55] 翟云忠, 何伟, 王洁琼, 等. ICP-MS测定茶叶中硒元素方法研究[J]. 中国农业信息, 2016, 1: 93–95.
ZHAI YZ, HE W, WANG JQ, *et al.* Study on ICP-MS determination of selenium in tea [J]. China Agric Inform, 2016, 1: 93–95.
- [56] 聂刚, 李忠宏, 杜双奎, 等. ICP-MS测定食品原料中微量硒[J]. 中国测试, 2015, 41(11): 40–43.
NIE G, LI ZH, DU SK, *et al.* ICP-MS determination of trace Se in raw food materials [J]. China Meas Test Technol, 2015, 41(11): 40–43.
- [57] 王丙涛, 赵旭, 涂小珂, 等. ICP-MS/MS检测食品中磷、硒、砷的含量[J]. 现代食品科技, 2017, 33(7): 295–300.
WANG BT, ZHAO X, TU XK, *et al.* Determination of phosphorus, arsenic, and selenium contents in food by triple quadrupole inductively coupled

plasma tandem mass spectrometry [J]. Mod Food Sci Technol, 2017, 33(7): 295-300.

- [58] 宁月莲, 黄晓燕, 胡文慧, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定乳制品中硒含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(23): 8816-8821.

NING YL, HUANG XY, HU WH, *et al.* Determination of selenium in dairy products by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(23): 8816-8821.

- [59] 李金蔓, 张贵伟, 陈树娣, 等. 异丙醇基体改进剂用于微波消解-ICP-MS 测定芹菜、圆白菜、鸡肉和猪肝中微量硒[J]. 食品工业科技, 2016, 37(19): 307-310.

LI JM, ZHANG GW, CHEN SD, *et al.* Determination of selenium in celery, cabbage, chicken and liver with isopropanol as matrix modifier by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(19): 307-310.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



赵晨曦, 主管技师, 主要研究方向为食品安全检测。

E-mail: 309468405@qq.com



常凤启, 主任技师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: hbweisheng2@163.com



“动物性食品加工与质量安全”专题征稿函

当前我国经济飞速发展, 人们对动物性食品的要求也不再仅仅是数量上的追求, 正在向质量要求进行转变, 然而目前国内动物性食品在各个方面仍需要进行完善。因此, 如何解决这些问题, 使动物性食品安全真正得到保障, 已显得尤为重要。

鉴于此, 本刊特别策划了“动物性食品加工与质量安全”专题, 由东北农业大学食品学院许晓曦教授担任专题主编。专题将围绕现代化加工与副产物综合利用技术、质量安全与检测技术、营养及风味成分分析技术、污染防控与危害分析、法律法规和发展政策几方面, 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 2021 年 5 月出版。

本刊主编国家食品安全风险评估中心吴永宁研究员与本专题主编许晓曦教授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 2021 年 4 月 1 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**动物性食品加工与质量安全**):

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: **动物性食品加工与质量安全**”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsq@126.com(备注: **动物性食品加工与质量安全**专题投稿)

《食品安全质量检测学报》编辑部