DOI: 10.19812/j.cnki.jfsq11-5956/ts.20241226001
引用格式: 吴江瑞. 微波消解-氢化物原子荧光法测定牛肉及内脏中硒含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2025, 16(7): 228–232.
WU JR. Determination of selenium content in beef and offal by microwave digestion-hydride atomic fluorescence spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2025, 16(7): 228–232. (in Chinese with English abstract).

微波消解-氢化物原子荧光法测定牛肉及内脏中硒含量

吴江瑞*

(宁夏回族自治区农产品质量安全检测中心, 银川 750000)

摘 要: 目的 建立微波消解-氢化物原子荧光光谱法(microwave digestion-hydride atomic fluorescence spectrometry, HG-AFS)测定牛肉及内脏(牛心、牛肝、牛肺)中硒含量的分析方法。**方法** 根据牛的饲喂量和饲喂时间两个因素, 选择体重在 500 kg 左右(±10 kg)西门塔尔公牛 80 头, 随机分成 A、B、C、D 4 组, A、B、C 3 组作为实验组, D 组为对照组, 每组 20 头, 采用硝酸-过氧化氢(HNO_3-H_2O_2)微波消解牛肉及内脏样本中的硒, 硼氢化钾为还原剂, 10%盐酸为载流, 190 ℃消解。**结果** 硒在 0~20 ng/mL 质量浓度范围内呈现良好的线性关系, 相关系数(r)>0.999, A、B、C、D 4 组样本的加标回收率(n=3)平均值分别为 86.9%、82.4%、87.9%、83.8%。**结论** 该研究为富硒牛产品中硒含量的测定以及富硒功能农业的发展提供了数据支撑和参考依据。

关键词: 微波消解; 原子荧光光谱法; 硒; 牛肉; 内脏

Determination of selenium content in beef and offal by microwave digestion-hydride atomic fluorescence spectrometry

WU Jiang-Rui*

(*Ningxia Hui Autonomous Region Agricultural Product Quality and Safety Inspection Center*, *Yinchuan* 750000, *China*)

ABSTRACT: Objective To establish an analytical method for the determination of selenium content in beef and offal (beef heart, beef liver, beef lung) using microwave digestion-hydride atomic fluorescence spectrometry (HG-AFS). **Methods** Based on 2 factors, namely the feeding amount and feeding time of the cattle, 80 simmental bulls weighing around 500 kg (±10 kg) were selected and randomly divided into 4 groups: A, B, C and D. Groups A, B and C served as experimental groups, while group D was the control group, with 20 cattle in each group. Selenium in beef and offal samples was digested using a nitric acid-hydrogen peroxide (HNO_3-H_2O_2) microwave digestion method, with potassium borohydride as the reducing agent and 10% hydrochloric acid as the carrier stream, at a digestion temperature of 190 ℃. **Results** Selenium exhibited a good linear relationship within the mass concentration range of 0–20 ng/mL, with a correlation coefficient (r)>0.999. The average spike recovery rates (n=3) for samples A, B, C and D were 86.9%, 82.4%, 87.9% and 83.8%, respectively. **Conclusion** This study provides

收稿日期: 2024-12-26
基金项目: 宁夏回族自治区青年拔尖人才培养工程项目(宁人社函〔2021〕353 号)
第一作者/*通信作者: 吴江瑞(1989—), 女, 高级工程师, 主要研究方向为农产品质量安全。E-mail: wujr805@163.com

data support and a reference basis for the determination of selenium content in selenium-enriched cattle products and the development of selenium-enriched functional agriculture.

KEY WORDS: microwave digestion; atomic fluorescence spectrometry; selenium; beef; offal

0　引　言

硒是一种天然的非金属元素, 也是人体必需的微量元素之一。近些年来, 富硒农产品受到追捧和热议[1–2], 宁夏中卫作为我国代表性富硒特色区域, 有着天然的地理优势, 成为“全国硒资源变硒产业十佳地区”之一。肉牛产业是中卫市农业特色优势产业之一, 在国家、自治区和市政府的大力支持下, 肉牛养殖逐步成为全市农业农村经济增长和农民增收致富的支柱产业, 培育打造了“夏华肥牛”“穆和春”等“中国名牌农产品”。但从总体发展质量水平上看, 初级加工品比重大、品牌影响力弱、市场竞争力低、产品附加值少等问题, 依然是制约肉牛产业高质量发展的瓶颈难题[3–4]。因此, 借助国家、自治区政府扶持发展富硒功能农业的政策机遇, 通过科学的技术手段培育打造富硒“产、供、销”一体化产业链, 促进肉牛产业高质量发展具有重要的意义。

目前, 关于硒形态分析及营养品质的研究报道较多[5–9], 但是针对富硒牛肉及内脏中硒含量的分析研究较少。常用的硒元素检测方法有氢化物发生-原子荧光光谱法[10–12]、电感耦合等离子体发射光谱法[13]、电感耦合等离子体质谱法[14]、原子吸收光谱法[15–16]、荧光分光光度法[17]、电化学分析法[18]等。氢化物原子荧光光谱法因其灵敏度高、操作简单、运行成本低等优势, 广泛应用于总硒的测定[19–21], 随着科学研究的不断发展, 硒检测的方法越来越成熟与先进, 一些质谱-色谱、光谱-质谱-色谱等的联用方法也不断涌现[22]。

本研究在肉牛日粮中合理添加外源性含硒添加剂, 建立微波消解-氢化物原子荧光光谱法(microwave digestion-hydride atomic fluorescence spectrometry, HG-AFS)测定牛肉及内脏中硒含量[23–25], 为探索建立富硒肉牛生产技术规程和技术标准, 以及产品的生产开发提供一定的技术依据。

1　材料与方法

1.1　材　料

选择中卫市阜华肉牛羊繁育示范基地有限责任公司(宁夏夏华集团下属全资子公司)为富硒牛肉生产技术实验示范点。在肉牛出栏前的特定时间段(90~120 d), 通过在饲料中添加植物性硒饲料添加剂, 经 60 d 后饲养试验结束时肉牛活重达到 600 kg 左右进行屠宰。胴体置于 0~4 ℃冷库排酸 7 d 后, 分别取牛肉及内脏(牛心、牛肝、牛肺)样本, 检测总硒的含量。

1.2　试　剂

硒标准储备液(质量浓度 1000 mg/L, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); 硝酸(HNO_3)、盐酸(HCl)、铁氰化钾[$K_3Fe(CN)_6$]、过氧化氢(H_2O_2)、硼氢化钾(KBH_4)(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司); 实验用水为一级水。

1.3　仪器与设备

AFS-933 双道原子荧光光度计(北京吉天仪器有限公司); Multiwave PRO 24 位微波消解仪[安东帕(上海)商贸有限公司]; SECURA 224-1CN 万分之一电子分析天平(德国赛多利斯公司); UPU-III-90HW-20 纯水/超纯水机(四川优普科技有限公司); GST24-2280 赶酸板(天津市莱玻特瑞仪器设备有限公司)。

1.4　方　法

1.4.1　样本分组

根据饲喂量和饲喂时间两个因素, 实验设计 3 个实验组和 1 个对照组, 选择体重在 500 kg 左右(±10 kg)西门塔尔公牛 80 头, 随机分成 A、B、C、D 4 组, A、B、C 3 组作为实验组, D 组为对照组, 每组 20 头。在配制全混合日粮时分别将 4、5、6 kg 硒动物营养添加剂分两次(日饲喂 2 次)加入 A、B、C 3 个实验组日粮内, 对照组 D 不添加; 各组按正常的日均采食量给予饲喂。经 60 d 后, 肉牛活重达到 600 kg 左右, 饲养实验结束时进行屠宰, 各组分别取牛肉及牛心、牛肝、牛肺 4 个部位的样品共 320 个, 测定各样本中硒的含量。

1.4.2　样品前处理

分别称取牛肉及牛心、牛肝、牛肺试样 0.5~5.0 g(精确至 0.001 g)置于消化罐中, 加入 8 mL 硝酸预消解 30 min 以上, 加入 2 mL 过氧化氢, 振摇混匀并加盖密封, 于微波消解仪中消化, 消解参数见表 1。消解结束待消解液冷却后, 设定赶酸温度 160 ℃, 将消解罐放入赶酸板上进行赶酸至近干, 加入 5 mL 浓盐酸放置在赶酸板上加热煮 5 min 至溶液变为清亮无色, 冷却, 转移至 25 mL 比色管中, 用水定容至刻度, 混匀待测, 同时做试剂空白。

表 1　微波消解程序

Table 1　Conditions of microwave digestion

步骤	功率/W	设定温度/℃	升温时间/min	保持时间/min
1	400	120	10	5
2	600	190	10	30

1.4.3 标准系列溶液配制

从 1 μg/mL 硒标准溶液中准确吸取 1.00 mL 置于 10 mL 容量瓶中, 用 2.0 mol/L 硝酸(HNO_3)稀释至刻度线, 摇匀, 制得质量浓度为 0.1 μg/mL 硒标准溶液I, 备用。将 0.1 μg/mL 硒标准溶液至于原子荧光分光光度计中逐级稀释, 最终制得质量浓度分别为 0、4、8、12、16、20 ng/mL 的硒标准使用溶液, 并测定荧光强度值。

1.4.4 仪器设备参数

AFS-933 双道原子荧光光度计: 负高压 340 V, 灯电流 100 mA, 原子化温度 800 ℃, 炉高 8 mm, 载气流速 500 mL/min, 屏蔽气 1000 mL/min, 进样时间 10.0 s, 进样体积 2.0 mL, 测其荧光值强度。

1.5 数据处理

每组样品平行检测 2 次, 加标回收率平行测定 3 次, 以平均值±标准偏差表示最终结果。实验数据通过 SAS 9.4 软件进行方差分析, 用 Microsoft Excel (15.0, 2013)制表、绘图。

2 结果与分析

2.1 样品前处理优化

本研究参照 GB 5009.93—2017《食品安全国家标准 食品中硒的测定》标准中第一法氢化物原子荧光光谱法, 对牛肉及牛心、牛肝、牛肺中硒含量进行检测, 采用微波消解法处理样品, 并对标准中的检测过程进行部分优化[26–27]。首先是标准中使用电热板加热赶酸, 本研究放置到赶酸板上赶酸, 使得赶酸更加均匀、彻底, 提升回收率。其次在加入 5 mL 盐酸继续赶酸前, 先加入 1 mL 的超纯水, 近干时再加入盐酸, 可以达到充分赶酸的目的, 溶液更加清亮。

2.2 线性关系考察

根据仪器和试剂的条件, 选择 0~20 ng/mL 为线性范围, 现配现用 0.1 μg/mL 硒标准对照液, 由仪器自动稀释 6 次, 分别测定荧光强度值, 以质量浓度(X, ng/mL)为横坐标, 荧光强度值(Y)为纵坐标进行线性拟合。求得 A、B、C、D 4 组牛肉的线性回归方程分别为: Y=112.08X+23.381 (r^2=0.9994)、Y=125.71X+16.324 (r^2=0.9998)、Y=109.57X–25.389 (r^2=0.9996)、Y=102.38X–22.528 (r^2=0.9993)。结果表明, A、B、C、D 4 组牛肉在 0~20 ng/mL 范围内线性关系良好。

2.3 精密度实验

按照 1.4.4 项仪器设备条件, 精密吸取硒标准对照品储备液I 2.0 mL, 重复进样 6 次, 分别测定荧光强度值, 计算所得相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 1.83%, 说明仪器精密度良好。

2.4 重复性实验

分别取 A、B、C、D 组中一个样本(耳标号 00-211、0-510、00-260、000-49), 平行称取样品 6 个, 按照 1.4.2 项方法进行前处理操作, 在同样仪器设备条件下分别进样, 测定荧光强度值, 结果 4 组样本的 RSDs 分别为 1.32%、1.61%、2.57%、1.91%, 表明重复性良好。

2.5 回收率实验

分别取 A、B、C、D 组中一个样本(耳标号 0-508、11995、11568、11736), 平行称取样品 3 个, 加标水平为 50 ng/g, 按照 1.4.2 项方法进行前处理操作, 测定含量并计算回收率, 各组平均回收率分别为 86.9%、82.4%、87.9%、83.8%之间, 结果较为满意, 详见表 2。

表 2 加样回收率实验结果(n=3)

Table 2 Experimental results of sample recovery rate (n=3)

组别	添加含量/(mg/kg)	平均回收率/%	RSDs/%
A (耳标号 0-508)	0.05	86.9	1.6
B (耳标号 11995)	0.05	82.4	2.6
C (耳标号 11568)	0.05	87.9	1.7
D (耳标号 11736)	0.05	83.8	2.8

2.6 硒含量测定结果

牛肉是蛋白质的重要来源, 品质直接影响消费者的健康, 外源硒作为饲料添加剂, 能够有效提高牛肉中的硒含量, 通过外源硒的添加补充, 进入牛体内后, 主要经过吸收代谢、抗氧化作用、免疫调节等方式发挥作用, 可以直接或者间接改善牛肉的营养价值和自身品质[28]。本研究分别将 A、B、C、D 4 组中牛肉及牛心、牛肝、牛肺 4 个部位共 320 个样品按照 1.4.2 项下方法进行前处理操作, 并上机测定硒含量, 结果见表 3。

表 3 样品硒含量测定结果(mg/kg)

Table 3 Results of selenium content determination (mg/kg)

样品	牛心	牛肝	牛肺	牛肉
A 组 (编号 001~080)	0.039~0.180	0~0.520	0.026~0.270	0~0.150
B 组 (编号 081~160)	0~0.460	0.039~0.500	0.041~0.300	0.043~0.150
C 组 (编号 161~240)	0~0.170	0.110~0.450	0.110~0.250	0.019~0.280
D 组 (编号 241~320)	0.038~0.130	0.052~0.230	0.045~0.190	0.037~0.190

2.7 结果分析

实验数据经 SAS 软件进行方差分析, 结果见表 4。

从表 4 中可以看出, 横向对比分析, A、B、C、D 组中牛肝、牛肺的硒含量均明显高于牛心和牛肉。

纵向对比分析, B 组牛心部位的硒含量显著高于其他 3 组(P<0.05); A、B、C、D 各组牛肝和牛肺的硒含量差异不显著(P>0.05); B 组和 C 组牛肉的硒含量显著高于 A 组和 D 组(P<0.05)。总体来看, 牛肝中硒含量最高, 牛肺和牛心次之, 牛肉中硒含量相对较低。

表 4　饲料中添加硒动物营养剂对牛肉及牛心、牛肝、牛肺硒含量的影响(mg/kg)

Table 4　Effects of adding selenium animal nutritional supplements to feed on selenium content in beef, beef heart, beef liver and beef lungs (mg/kg)

样品	牛心	牛肝	牛肺	牛肉
A 组 (编号 001~080)	0.09±0.06^{b}	0.18±0.013^{a}	0.10±0.05^{a}	0.09±0.03^{b}
B 组 (编号 081~160)	0.19±0.17^{a}	0.21±0.11^{a}	0.22±0.10^{a}	0.15±0.05^{a}
C 组 (编号 161~240)	0.13±0.09^{b}	0.15±0.06^{a}	0.16±0.03^{a}	0.14±0.04^{a}
D 组 (编号 241~320)	0.07±0.05^{b}	0.10±0.03^{a}	0.12±0.05^{a}	0.07±0.04^{b}

注: 同列字母不同表示差异显著(P<0.05)。

依据 GH/T 1135—2017《富硒农产品》规定, 肉类中总硒含量≥0.075 mg/kg 为含有硒元素农产品, 总硒含量≥0.15 mg/kg 为富含硒元素农产品。本研究中内脏总体硒含量较高, 牛肝达到富含硒元素农产品标准, B 组的牛心、牛肺和 C 组的牛肺达到富含硒元素农产品标准; B 组和 C 组牛肉达到含硒标准。

3　讨论与结论

本研究发现日粮添加硒可以显著提高牛肉及牛心、牛肝、牛肺中硒含量。有研究称[29–30], 添加有机硒更易引起牛肌肉中硒含量的显著提高, 随着硒添加时间的延长, 牛肉硒含量呈现出先缓慢增加后快速增加的趋势。徐娥等[31]发现在日粮中添加有机硒, 不仅可以极显著提高牛肉中的硒含量, 钙、铁、镁的含量也得到了不同程度的提高。

本研究通过对 4 组牛肉及牛心、牛肝、牛肺样本中硒含量的检测, 得到一些富硒肉牛养殖经验, 在肉牛日粮中添加适量富硒营养添加剂后, 牛肉及牛心、牛肝、牛肺中硒含量与日粮中硒的添加量呈正相关, 且在肉牛出栏前 2 个月内日粮中添加适量富硒营养添加剂, 不会引起肉牛硒元素蓄积中毒。

本研究在肉牛养殖出栏前开展日粮添加外源硒对牛肉及内脏中硒含量吸收情况进行实验测定, 检测的是总硒含量, 但由于时间、人员和设备设施等客观因素限制, 没有针对硒的不同添加时间对肉牛生长性能及牛肉品质的影响进行研究, 未检测牛粪便和尿液中硒的含量[32–33]。因此, 针对加入富硒营养添加剂及加入量的范围, 肉牛吸收硒的数量或能力大小, 牛肉及内脏中硒形态等方面的内容, 有待进一步研究探讨。

参考文献

[1] 张磊, 张桂娟. 膳食中硒的摄入与高血压疾病相关性的研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(18): 6482–6486.
ZHANG L, ZHANG GJ. Research progress on the correlation between dietary selenium intake and hypertension diseases [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2020, 11(18): 6482–6486.

[2] 冯洪燕, 杨从发, 钱亮亮, 等. 市售富硒食品中硒形态及含量的分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(12): 5059–5065.
FENG HY, YANG CF, QIAN LL, *et al.* Analysis of the forms and content of selenium in commercially available selenium rich foods [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(12): 5059–5065.

[3] 刘镜, 张生萍, 王鑫, 等. 硒对牛生产性能影响的研究进展[J]. 饲料研究, 2021, 44(4): 124–128.
LIU J, ZHANG SP, WANG X, *et al.* Research progress on the effect of selenium on beef production performance [J]. Feed Research, 2021, 44(4): 124–128.

[4] 赵晨曦, 高佳, 付志斌, 等. 食品中硒总量检测方法研究进展[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(5): 1653–1661.
ZHAO CX, GAO J, FU ZB, *et al.* Research progress on the detection methods of total selenium in food [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(5): 1653–1661.

[5] 祁蒙, 宋仕勤, 许亚丽, 等. HPLC-ICP-MS 在食品硒形态分析中的应用研究[J]. 食品安全导刊, 2024(34): 139–142.
QI M, SONG SQ, XU YL, *et al.* Research on the application of HPLC-ICP-MS in the morphological analysis of selenium in food [J]. China Food Safety Magazine, 2024(34): 139–142.

[6] 冯灏, 苏莹, 耿雅雯, 等. HPLC-ICP-MS 同时测定富硒食品中砷形态和硒形态[J]. 食品与机械, 2024, 40(7): 43–52.
FENG H, SU Y, GENG YW, *et al.* Study on simultaneous determination of arsenics peciation and selenium speciation in selenium-rich foods by HPLC-ICP-MS [J]. Food & Machinery, 2024, 40(7): 43–52.

[7] 张林吉, 任春芝, 张海涛, 等. 酵母硒对肉羊生长性能及肉品质的影响[J]. 饲料研究, 2024, 47(19): 24–27.
ZHANG LJ, REN CZ, ZHANG HT, *et al.* Effects of selenium yeast on growth performance and meat quality of mutton sheep [J]. Feed Research, 2024, 47(19): 24–27.

[8] 张金荣, 卢士玲, 罗瑞峰, 等. 叶面喷施硒肥对 3 种葡萄果实硒含量及品质的影响[J]. 新疆农业科学, 2024, 61(10): 2417–2426.
ZHANG JR, LU SL, LUO RF, *et al.* Effects of leaf spraying selenium fertilizer on selenium content and quality of three grape fruits [J]. Xinjiang Agricultural Sciences, 2024, 61(10): 2417–2426.

[9] 梁秋艳, 华震宇, 王慧欣, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定孜然中 3 种硒代氨基酸含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2024, 15(19): 278–286.
LIANG QY, HUA ZY, WANG HX, *et al.* Determination of 3 kinds of selenoamino acids content in *Cuminum cyminum* L. by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2024, 15(19): 278–286.

[10] 房艳, 王贝, 高俊海, 等. 高效液相色谱-氢化物发生原子荧光光谱法测定食品中多形态硒含量[J]. 食品科学技术学报, 2020, 38(6): 1672–1675.
FANG Y, WANG B, GAO JH, *et al.* Determination of content of polymorphic selenium in foods by HPLC-HG-AFS [J]. Journal of Food Science and Technology, 2020, 38(6): 1672–1675.

[11] 方宏兵, 王德强. 微波消解-氢化物发生原子荧光法测定富硒稻谷中硒含量[J]. 农产品加工, 2018(22): 59–60, 64.
FANG HB, WANG DQ. Determination of selemium in grains by microwave digestion hydride generation atomic fluorescence spectrometery [J]. Farm Products Processing, 2018(22): 59–60, 64.

[12] 张寒霜, 赵发, 韩晓晓, 等. 氢化物原子荧光光谱法测定乳粉中总硒含量[J]. 中国乳品工业, 2024, 52(9): 70–74.
ZHANG HS, ZHAO F, HAN XX, *et al.* Determination of total selenium in

milk powder by hydride atomic fluorescence spectrometry [J]. China Dairy Industry, 2024, 52(9): 70–74.

[13] 贾玮, 周媛媛, 许牡丹, 等. 湿法消解-电感耦合等离子体发射光谱法检测富硒豆类中硒蛋白含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(19): 7520–7526.
JIA W, ZHOU YY, XU MD, *et al*. Determination of selenium protein in Se- enriched beans by wet digestion-inductively coupled plasma optical emission spectrometry [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(19): 7520–7526.

[14] 王贤波, 刘超, 叶生月, 等. 超声-微波协同提取-高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱法测定莓茶中的硒形态[J]. 食品科技, 2023, 48(5): 272–277.
WANG XB, LIU C, YE SY, *et al*. Determination of selenium species in ampelopsis grossedentata tea by liquid chromatography-inductively coupled plasma mass spectrometry after ultrasonic-microwave synergistic extration [J]. Food Science and Technology, 2023, 48(5): 272–277.

[15] 李鸿, 蒋越华, 秦玉燕, 等. 原子荧光光谱(AFS)和石墨炉原子吸收光谱(GFAAS)法测定富硒粮食中硒含量[J]. 中国无机分析化学, 2021, 11(3): 89–93.
LI H, JIANG YH, QIN YY, *et al.* Determination of seleniumin in seleniumin-rich grain by AFS and GFAAS [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2021, 11(3): 89–93.

[16] 郭俊生, 吕淼, 秦樱奇, 等. 湿法消解-火焰原子吸收光谱法测定富硒农产品中的硒[J]. 辽宁化工, 2022, 51(11): 1658–1660.
GUO JS, LV M, QIN YQ, *et al.* Determination of Selenium in selenium-rich agricultural products by atomic absorption spectrometry [J]. Liaoning Chemical Industry, 2022, 51(11): 1658–1660.

[17] 罗建民, 彭翠红, 杨智威. 分子荧光光谱法测定富硒大米中的痕量硒[J]. 中国无机分析化学, 2022, 12(2): 81–85.
LUO JM, PENG CH, YANG ZW. Determination of trace selenium in selenium-enriched rice by molecular fluorescence spectrometry [J]. Chinese Journal of Inorganic Analytical Chemistry, 2022, 12(2): 81–85.

[18] 曾晓丹, 马明硕, 金星. 原子荧光光谱法测定川芎中硒的含量[J]. 吉林化工学院学报, 2020, 37(1): 17–19.
ZENG XD, MA MS, JIN X. Determination of selenium *Inligusticum chuanxiong* by atomic fluoerescence spectrometry [J]. Journal of Jilin Institute of Chemical Technology, 2020, 37(1): 17–19.

[19] 李艳华, 于亚辉, 曹立峰, 等. 高压密闭消解-氢化物发生原子荧光光谱法测定农作物中硒的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2023, 59(6): 690–694.
LI YH, YU YH, CAO LF, *et al.* Determination of selenium in crops by hydride generation atomic fluorescence spectrometry with high pressure sealed digestion [J]. Physical Testing and Chemical Analysis-Chemical Analysis, 2023, 59(6): 690–694.

[20] 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]. Journal of Food Safety & Quality, 2017, 8(10): 3874–3877.

[21] 廖小翠, 张伟, 王斐英, 等. 湿法消解-氢化物发生原子荧光光谱法测定动物性农产品中硒含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(8): 3123–3130.
LIAO XC, ZHANG W, WANG FY, *et al.* Determination of selenium content in animal agricultural products by hydride generation atomic fluorescence spectrometry with wet digestion [J]. Journal of Food Safety & Quality, 2021, 12(8): 3123–3130.

[22] 吕洪亮, 张美燕, 张永和, 等. 富硒食品中元素硒检测技术的应用研究进展[J]. 盐科学与化工, 2024, 53(4): 9–13.
LV HL, ZHANG MY, ZHANG YH, *et al*. Research progress on the application of elemental selenium detection technology in selenium-enriched food [J]. Journal of Salt Science and Chemical Industry, 2024, 53(4): 9–13.

[23] 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 Additives, 2020, 31(7): 126–130.

[24] 姚清国, 祁永浩. 氢化物发生-原子荧光光谱法测定饲料用香菇菌糠中硒含量的方法研究[J]. 饲料工业, 2020, 41(14): 60–64.
YAO QG, QI YH. Study on the determination of selenium content in *Lentinula edodes* residue for feed by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. Feed Industry, 2020, 41(14): 60–64.

[25] 孙亚波, 夏芳芳, 唐婧, 等. 微波消解-原子荧光光谱法测定鸡蛋各组分中硒含量[J]. 食品研究与开发, 2018, 39(12): 110–114.
SUN YB, XIA FF, TANG J, *et al.* Determination of selenium in component of egg by microwave digestion-hydride generation-atom fluorescence spectrometry [J]. Food Research and Development, 2018, 39(12): 110–114.

[26] 邓勛, 李日升, 沈宇, 等. 湿法消解-氢化物发生-原子荧光光谱法同时测定中药材中硒和铋的含量[J]. 理化检验-化学分册, 2018, 54(8): 967–969.
DENG X, LI RS, SHEN Y, *et al.* Simultaneous determination of amounts of selenium and bismuth in traditional Chinese medicinal materials by HG-AFS with wet digestion [J]. Physical Testing and Chemical Analysis-Chemical Analysis, 2018, 54(8): 967–969.

[27] 梅凡. 氢化物原子荧光光谱法测定黄芪中硒含量的方法优化[J]. 福建农业科技, 2022, 53(6): 33–37.
MEI F. Optimization of the methods for the determination of selenium content in *Astragalus memeranaceus* by hydride generation fluorescence spectrometry [J]. Fujian Agricultural Science and Technology, 2022, 53(6): 33–37.

[28] 赵君梅. 浅析氢化物发生-原子荧光光谱法测定硒的影响因素[J]. 新疆有色金属, 2021, 44(4): 95–96.
ZHAO JM. Analysis on the factors affecting the determination of selenium by hydride generation-atomic fluorescence spectrometry [J]. Xinjiang Nonferrous Metals, 2021, 44(4): 95–96.

[29] 何孟莲, 朱伟, 张世伟, 等. 日粮硒来源对肉牛生长性能、精液品质及血液指标的影响[J]. 中国饲料, 2021(6): 55–58.
HE ML, ZHU W, ZHANG SW, *et al.* Effects of dietary selenium sources on growth performance semen quality and blood indices of beef cattle [J]. China Feed, 2021(6): 55–58.

[30] 魏慧娟. 日粮添加有机硒对肉牛生长性能、牛肉品质及肌肉硒富集规律的影响[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2022.
WEI HJ. Effects of dietary organic selenium supplementation on growth performance, beef quality and selenium accumulation in muscle of beef cattle [D]. Yangling: Northwest A&F University, 2022.

[31] 徐娥, 夏先林, 张运国. 添加有机硒对育肥牛肉质和血液生理生化指标的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医, 2011(7): 65–66.
XU E, XIA XL, ZHANG YG. The effect of adding organic selenium on the quality of beef and blood physiological and biochemical indices in fattening cattle [J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine, 2011(7): 65–66.

[32] 王明国, 耿荣, 郭军成, 等. 加强技术研发, 推动富硒产业高质量发展[J]. 科技促进发展, 2021, 17(10): 1875–1880.
WANG MG, GENG R, GUO JC, *et al*. Strengthening technology research and promoting high-quality development of selenium-enrichd Industry [J]. Science & Technology for Development, 2021, 17(10): 1875–1880.

[33] 2020 年宁夏中卫市富硒功能农产品技术标准制定及硒资源和质量评价服务项目报告[Z]. 2020.
Report on the establishment of technical standards for selenium-rich functional agricultural Products and selenium resources and quality evaluation Service Project of Zhongwei City, Ningxia in 2020 [Z]. 2020.

(责任编辑: 于梦娇 蔡世佳)