

# 不同前处理方式对电感耦合等离子体发射光谱法测定饲料中4种微量元素的影响

姬桂花<sup>1</sup>, 郭超晖<sup>1</sup>, 杜志毅<sup>1</sup>, 张萌萌<sup>1</sup>, 李震<sup>1</sup>, 李俊<sup>2</sup>, 李宗进<sup>1\*</sup>

(1. 北京精益捷检测科技有限公司, 北京 101500; 2. 中国农业科学院饲料研究所, 北京 100081)

**摘要: 目的** 比较分析微波消解法和湿法消解法对电感耦合等离子体发射光谱法测定饲料中铜、铁、锰、锌的影响。**方法** 以微波消解法处理测定的结果为对照, 通过不同消解方式处理饲料和标准物质, 测定其中铜、铁、锰、锌的含量, 比较分析湿法消解对饲料中铜、铁、锰、锌含量测定的影响。**结果** 仪器调制最优条件, 在0.02~20.0 mg/L(铜、铁、锰、锌)的浓度范围内, 4种微量元素测量线性良好, 相关系数均大于0.9999, 检出限为0.025~0.160 mg/kg, 定量限为0.083~0.533 mg/kg。微波消解法和湿法消解法消化饲料样品均能获得令人满意的回收率和重复性, 回收率为95.7%~104.9%, 相对标准偏差均小于3%。在实际样品测量中, 对比分析发现微波法与湿法对4种元素的测量结果无显著差异。**结论** 湿法消解在日常实验中可用于替代微波法进行样品前处理。

**关键词:** 微波消解; 湿法消解; 饲料; 微量元素; 电感耦合等离子体发射光谱法

## Effects of different pretreatment methods on the determination of 4 kinds of trace elements in feeds by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry

JI Gui-Hua<sup>1</sup>, GUO Chao-Hui<sup>1</sup>, DU Zhi-Yi<sup>1</sup>, ZHANG Meng-Meng<sup>1</sup>, LI Zhen<sup>1</sup>, LI Jun<sup>2</sup>, LI Zong-Jin<sup>1\*</sup>

(1. Beijing Jingyijie Testing Technology Co., Ltd., Beijing 101500, China; 2. Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China)

**ABSTRACT: Objective** To compare and analyze the influence of microwave digestion and wet digestion on the determination results of copper, iron, manganese and zinc in feeds by inductively coupled plasma atomic emission spectrometry. **Methods** The content of copper, iron, manganese and zinc in feeds and reference substances was determined by different digestion methods using the results of microwave digestion as the reference, and the effects of wet digestion on the determination of copper, iron, manganese and zinc in feeds were compared and analyzed. **Results** Under the optimal conditions of instrument modulation, the linearity was good for the 4 kinds of trace elements in the concentration range of 0.02–20.0 mg/L (copper, iron, manganese and zinc), and the correlation coefficients were all greater than 0.9999. The detection limits were 0.025–0.160 mg/kg, and the quantitation limits were 0.083–0.533 mg/kg. The feed samples digested by microwave digestion method and wet digestion method could obtain satisfactory recovery and repeatability, with the recovery rates of 95.7%–104.9% and relative standard deviations of less than 3%. In the actual sample measurements, comparative analysis revealed no significant

\*通信作者: 李宗进, 高级兽医师, 主要研究方向为食品质量与安全、疫病诊断与检测。E-mail: 13691276878@139.com

\*Corresponding author: LI Zong-Jin, Senior Veterinarian, Beijing Jingyijie Testing Technology Co., Ltd., Zuodi Road, Miyun District, Beijing 101500, China. E-mail: 13691276878@139.com

differences between the microwave and wet methods for the 4 elements. **Conclusion** The wet digestion method can be used to replace the microwave method for sample pretreatment in daily experiments.

**KEY WORDS:** microwave digestion; wet digestion; feed; trace elements; inductively coupled plasma atomic emission spectrometry

## 0 引言

饲料中微量元素的安全性由其中微量元素总水平和形态, 即化学形式决定<sup>[1]</sup>。动物对必需微量元素以及潜在有毒微量元素的利用取决于它们在饲料中的总水平和形态<sup>[2]</sup>。动物的身体需要多种微量元素<sup>[3]</sup>, 因为微量元素是维持生物体自身正常生理机能和新陈代谢所必需的营养成分<sup>[4-5]</sup>, 在动物生长发育、新陈代谢、疾病预防和改善饲料利用率方面起到非常重要的作用<sup>[6]</sup>。动物日粮中微量元素不能满足畜禽营养标准要求时, 通常按照一定的比例添加微量元素预混合饲料以弥补微量元素的不足<sup>[7]</sup>。但是过量的元素摄取也会对动物的健康及生长造成影响<sup>[8]</sup>。比如, 铁是肌肉组织中血红蛋白和肌红蛋白等蛋白质的基本成分, 缺铁会导致幼猪贫血<sup>[9]</sup>; 而过量的铁摄入不仅会造成肠损害, 还会毒害造血组织细胞, 高剂量铁可使仔猪死亡。因此, 建立一种能对饲料中多种微量元素进行同时准确测定的方法尤为重要。

样品制备是分析规程的关键步骤<sup>[10]</sup>。为避免样品制备过程中的错误, 主要是与元素测定过程中基质效应有关的错误, 大多数有机和无机基质的元素分析要求在仪器分析之前将样品部分或全部溶解<sup>[11]</sup>。对动物饲料中的元素含量测定一般采用国家标准或地方标准<sup>[12]</sup>。湿法消解法和微波消解法的样品制备方法目前被广泛应用, 这 2 种前处理方法通常表现出良好的准确性和精度, 但有些是相当耗时的<sup>[13]</sup>。在准备分析样品时, 应考虑各种各样的因素<sup>[14]</sup>, 这些可能包括污染程度、样品均质性、消化过程的重复性和完整性、分析技术的适用性、样品制备所需的时间和经济方面等<sup>[15-16]</sup>。电感耦合等离子体光谱法是一种高效的分析检测技术, 它具有极宽且良好的线性范围, 痕量的检出限, 可实现多元素的同时分析<sup>[17-19]</sup>, 广泛应用于食品、饲料中元素含量的分析<sup>[20-21]</sup>。本研究拟对不同前处理方式对电感耦合等离子体发射光谱法(inductively coupled plasma atomic emission spectrometry, ICP-AES)测定饲料中 4 种微量元素的影响进行研究, 为完善饲料中微量元素测定的国标方法提供依据<sup>[22]</sup>。

## 1 材料与方法

### 1.1 仪器与试剂

iCAP 7200 电感耦合等离子体发射光谱仪(美国 Thermo Fisher 公司); CP214 电子天平[奥豪斯仪器(常州)有

限公司]; JUPTTER-B 多通量微波消解仪(上海新仪微波化学生科技有限公司); DK-3 智能电沙浴(北京中兴伟业仪器有限公司); Mini-Q 纯水器(美国 Milliore 公司)。

铜、铁、锰、锌标准溶液(1000 μg/mL, 中国计量科学研究院); 硝酸、高氯酸、30%过氧化氢(优级纯, 国药集团化学试剂有限公司); 实验用水为超纯水。

### 1.2 仪器工作条件及测定波长

ICP-AES 的仪器参数条件见表 1。经过对特征发射谱线附近干扰情况的逐一对比, 表 2 列出了 ICP-AES 分析 4 种元素的可用谱线。对于有多条可用谱线的元素, 可根据实际测量时干扰情况选择合适谱线进行测定。

表 1 ICP-AES 工作条件  
Table 1 ICP-AES working conditions

方法参数	条件设置
射频功率	1150 W
氩气等离子气流量	15 L/min
氩气辅助气流量	0.5 L/min
氩气雾化气气体流量	0.65 L/min
分析泵速	50 r/min
等离子体稳定时间	15 min
观测方式	垂直观测

表 2 ICP-AES 测定参考波长  
Table 2 ICP-AES determination of reference wavelength

元素	波长/nm
铜	327.395
铁	238.204
锰	257.610/259.372
锌	213.857/202.548

### 1.3 样品制备

实验所需饲料样品的制备应满足 GB/T 20195—2006《动物饲料试样的制备》试样制备的要求。粉碎至全部通过 0.45 mm 饲料分析筛, 混匀装入密封容器, 保存备用。

## 1.4 消解过程

### 1.4.1 湿法消解

称取固体试样 0.6 g 于三角瓶中, 加入混酸 15 mL(硝酸:高氯酸=5:1, V:V), 静置 2 h 或过夜(对于不易消解样品应选择静置过夜的预处理方式), 在可调式电沙浴上进行消解, 温度设置 180 °C, 加热至黄烟冒尽, 升温至 220~250 °C, 继续消解。若消化液呈棕褐色, 再加少量硝酸, 消解至冒白烟, 消化液呈无色透明或略带黄色约 1 mL 左右时, 取下冷却后, 转移至 25 mL 容量瓶中, 用少量水洗涤三角瓶内壁, 重复 3~4 次后定容至刻度。同时做试剂空白实验。

### 1.4.2 微波消解

微波消解的操作参照 NY/T 3318—2018《饲料中钙、钠、磷、镁、钾、铁、锌、铜、锰、钴和钼的测定 原子发射光谱法》中微波消解饲料样品的操作。

## 1.5 标准溶液的配制

采用含有分析元素(铜、铁、锰、锌)的电感耦合等离子体多元素标准溶液(1000 mg/L)配制校准溶液。电感耦合等离子体光谱法研究样品中所有元素的预期浓度与校准曲

线(6个点)的范围相匹配。

## 2 结果与分析

### 2.1 方法的线性范围与检出限

本研究参照 NY/T 3318—2018 标准要求及仪器实际测量条件进行线性回归分析。测量线性关系如表 3 所示, 铜、铁、锰、锌在 0.02~20.0 mg/L 的浓度范围内测量的线性关系良好, 相关系数  $r>0.9999$ 。本方法检出限依据 GB 27404—2008《实验室质量控制规范 食品理化检测》中附录 F.4 相关要求对方法检出限进行测定, 检出限及定量限如表 3 所示。

### 2.2 精密度实验

为了对方法的精密度进行验证, 使用上述 2 种样品前处理方法对已知含量的妊娠母猪添加剂预混合饲料进行处理, 重复消解测定 7 次, 测定结果和相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)如表 4 所示。2 种前处理所测得相对标准偏差均小于 3%。利用 SPSS 软件对 2 种方法所测定的数据进行分析, 分析表明 2 种方法处理样品测得的铜、铁、锰、锌实验结果在 95%置信区间内差异不显著。

表 3 方法的线性方程、检出限  
Table 3 Linear equations and detection limits of the method

元素名称	线性方程	相关系数 $r$	检出限/(mg/kg)	定量限/(mg/kg)
铜	$Y=21602.4182X-0.0023$	0.9999	0.038	0.127
铁	$Y=8254.7530X-28.2259$	0.9999	0.160	0.533
锰	$Y=44063.2723X-13.4982$	0.9999	0.025	0.083
锌	$Y=23763.5784X-113.0032$	0.9999	0.033	0.110

表 4 微波法和湿法对妊娠母猪预混合饲料中铜、铁、锰、锌的测定( $n=7$ )  
Table 4 Determination of copper, iron, manganese, and zinc in premixed feed for pregnant sows by microwave digestion and wet digestion ( $n=7$ )

元素种类	前处理方法	平行测定/(mg/kg)							平均值/(mg/kg)	RSD/%	标示值/(mg/kg)
		1	2	3	4	5	6	7			
铜	微波法	413	411	426	404	409	418	409	413	1.74	410
	湿法	405	413	412	408	402	406	417	410	1.20	
铁	微波法	5229	5073	5311	5035	5053	5174	5006	5109	2.05	5140
	湿法	5164	5309	5232	5168	5291	5194	5106	5217	1.34	
锰	微波法	899	905	897	926	877	912	903	903	1.65	900
	湿法	860	906	880	899	893	881	888	891	1.05	
锌	微波法	3158	3133	3162	3109	3011	3106	3006	3088	1.91	3100
	湿法	3148	3110	3097	3001	3014	3008	3022	3042	1.45	

### 2.3 准确度实验

为了验证消解过程的准确度和精密度, 实验中使用了国家标准物质研究中心认证标准物 GBW 10013 黄豆粉和实际样品加标的方式对湿法消解和微波消解的前处理操作及结果进行比较。重复消解测定 7 次, 测定结果如表 5 所示。2 种方法处理得到的实验结果表明微波法铁有部分值偏离, 其余均在黄豆粉标示不确定度区间内, RSD 均小于 3%, 符合 GB/T 27404—2008 的附录 F.4 准确度的相关要求。实际样品加标回收率在 95.7%~104.9%, RSD 均小于

3%, 符合 GB/T 27404—2008 附录 F.1 回收率的相关要求, 表明湿法消解和微波消解均有良好的精密度和准确度, 结果见表 6。

### 2.4 实际样品测定

为了验证湿法消解适用于多种饲料前处理, 以微波消解法处理测定的结果为对照, 对实际饲料样品进行 3 次重复消解测定, 测定结果如表 7、8 所示。利用 SPSS 软件对数据进行分析, 结果表明 2 种方法处理样品测得的铜、铁、锰、锌实验结果在 95%置信区间内差异不显著。

表 5 微波法和湿法对黄豆粉中铜、铁、锰、锌的测定( $n=7$ )  
Table 5 Determination of copper, iron, manganese, and zinc in soy flour by microwave digestion and wet digestion ( $n=7$ )

元素种类	前处理方法	平行测定/(mg/kg)							平均值/(mg/kg)	RSD/%	标准值/(mg/kg)
		1	2	3	4	5	6	7			
铜	微波法	10.1	10.4	9.80	10.3	10.6	10.5	10.2	10.3	2.42	$10.2 \pm 0.5$
	湿法	9.63	9.72	10.1	10.0	9.86	9.88	10.2	9.91	1.89	
铁	微波法	135	136	131	140	134	132	138	135	2.18	$139 \pm 4$
	湿法	139	140	145	142	137	138	134	139	2.36	
锰	微波法	28.4	28.5	28.3	28.7	27.2	27.6	27.9	28.1	1.78	$28 \pm 1$
	湿法	28.6	27.3	28.2	28	26.8	27.5	27.5	27.7	2.02	
锌	微波法	38.4	37.9	37.2	38.9	39.5	37.4	37.6	38.1	2.05	$38 \pm 2$
	湿法	39.1	37.8	36.9	36.5	37.7	38.3	38.2	37.8	2.15	

表 6 微波法和湿法对实际样品加标回收率的测定( $n=3$ )  
Table 6 Determination of the recoveries of actual samples by microwave digestion and wet digestion ( $n=3$ )

元素种类	前处理方法	本底值/(mg/kg)	加入量/ $\mu\text{g}$	回收率/%	RSD/%
铜	微波法	10.2	6	98.2	2.11
	湿法	9.99	6	103.5	1.63
铁	微波法	136	80	95.7	1.18
	湿法	140	80	97.4	1.12
锰	微波法	27.7	15	100.7	1.48
	湿法	28.2	15	97.1	2.73
锌	微波法	37.7	20	98.6	1.52
	湿法	38.3	20	104.9	2.26

表 7 湿法消解饲料样品中铜、铁、锰、锌的含量( $n=3$ )  
Table 7 Wet digestion of the content of copper, iron, manganese, and zinc in feed samples ( $n=3$ )

料种类	铜		铁		锰		锌	
	含量/(mg/kg)	RSD/%	含量/(mg/kg)	RSD/%	含量/(mg/kg)	RSD/%	含量/(mg/kg)	RSD/%
猪配合饲料	19.1	1.93	184	1.00	119	1.04	72.4	0.66
猪配合饲料	85.4	2.73	309	2.64	123	0.71	1153	0.17
猪浓缩饲料	70.9	2.48	585	3.31	299	1.24	209	0.17
猪配合饲料	7.21	1.81	32.8	1.63	15.5	0.81	152	1.01
猪配合饲料	29.2	0.81	161	1.22	139	1.34	97.1	0.26
猪添加剂预混合饲料	1217	0.36	3593	1.30	1221	2.74	864	0.63
猪配合饲料	15.6	2.08	133	4.45	67.0	7.07	100	1.15
鸡添加剂预混合饲料	197	1.76	1317	0.15	1486	1.75	933	0.88
鸡配合饲料	18.4	1.00	383	2.48	186	0.03	161	2.12
鸭配合饲料	1.70	2.63	18.4	2.90	26.7	1.46	20.6	0.17

表 8 微波消解饲料样品中铜、铁、锰、锌的含量( $n=3$ )  
Table 8 Microwave digestion of the content of copper, iron, manganese, and zinc in feed samples ( $n=3$ )

料种类	铜		铁		锰		锌	
	含量/(mg/kg)	RSD/%	含量/(mg/kg)	RSD/%	含量/(mg/kg)	RSD/%	含量/(mg/kg)	RSD/%
猪配合饲料	18.8	2.69	189	1.84	120	1.28	73.6	1.18
猪配合饲料	83.7	0.36	303	1.25	122	3.26	1133	1.76
猪浓缩饲料	70.1	1.12	580	1.78	296	1.61	204	2.58
猪配合饲料	7.35	0.81	33.4	1.25	15.6	1.84	156	3.44
猪配合饲料	29.3	2.36	158	0.33	141	1.45	95.3	5.10
猪添加剂预混合饲料	1202	1.40	3531	1.58	1205	1.39	851	1.97
猪配合饲料	15.4	0.84	135	2.17	66	3.49	102	2.83
鸡添加剂预混合饲料	193	1.83	1299	1.26	1466	4.03	918	1.65
鸡配合饲料	18.7	2.77	387	2.08	188	2.59	163	1.00
鸭配合饲料	1.7	1.81	18.1	1.37	27.0	1.58	20.9	0.79

### 3 结 论

本研究利用电感耦合等离子体发射光谱法对微波法和湿法消解饲料样品中铜、铁、锰、锌的含量进行了系统研究评价。微波消解法具有简单、清洁的优点，样品在封闭的系统中消化，避免了这些元素的挥发损失，但是微波消解及配套耗材造价昂贵，称样量受限、冷却速度慢、需单独赶酸。相比较下，湿法消解法前处理耗材易得，可同时处理做不同类型样品的前处理，处理的样品量较微波消解大，而且通过结果对比发现，2种消解方法对饲料微量元素的检测结果无显著差异，两者都有较好的准确度和重现性。因此，湿法可以代替微波法对饲料样品进行样品的前处理。同时，建议制修订检测方法标准时要兼顾不同实验室的仪器设备水平。

### 参考文献

- [1] MULLER EI, SOUZA JP, MULLER CC, et al. Microwave-assisted wet digestion with  $H_2O_2$  at high temperature and pressure using single reaction chamber for elemental determination in milk powder by ICP-OES and ICP-MS [J]. Talanta, 2016, 156-157(2016): 232-238.
- [2] ALTUNDAG H, TUZEN M. Comparison of dry, wet and microwave digestion methods for the multi element determination in some dried fruit samples by ICP-OES [J]. Food Chem Toxicol, 2011, 49(11): 2800-2807.
- [3] BAKIRCI OGLU D, KURTULUS YB, UCAR G. Determination of some traces metal levels in cheese samples packaged in plastic and tin containers by ICP-OES after dry, wet and microwave digestion [J]. Food Chem Toxicol, 2011, 49(1): 202-207.
- [4] 张志薇, 毛雪飞, 战余铭, 等. 微波等离子体发射光谱法测定饲料中 11 种常微量元素 [J]. 农产品质量与安全, 2017, (1): 49-53.

- ZHANG ZW, MAO XF, ZHAN YM, et al. Determination of 11 trace elements in feed by microwave plasma emission spectrometry [J]. Qual Saf Agro-Prod, 2017, (1): 49–53.
- [5] 徐祎然, 左鹏翔, 王志飞. 饲料中无机元素分析方法研究进展[J]. 畜牧与饲料科学, 2019, 40(7): 50–54.
- XU WR, ZUO PX, WANG ZF. Research progress on analytical methods of inorganic elements in feed [J]. Anim Husb Feed Sci, 2019, 40(7): 50–54.
- [6] 宁月莲, 张丽, 刘丽君, 等. 电感耦合等离子体发射光谱法测定奶牛饲料中多种微量元素的含量[J]. 乳业科学与技术, 2019, 42(4): 25–29.
- NING YL, ZHANG L, LIU LJ, et al. Determination of multiple trace elements in dairy feeds by inductively coupled plasma emission spectrometry [J]. Dairy Sci Technol, 2019, 42(4): 25–29.
- [7] WEBB B, AD ELOIU SB. Evaluation of some wet digestions methods for reliable determination of total phosphorus in Australian soils [J]. Microchem J, 2013, 111: 47–52.
- [8] 贾青, 李宏, 肖普辉, 等. 前处理方法对微量元素测定结果的影响[J]. 畜牧业环境, 2020, (12): 6–7.
- JIA Q, LI H, XIAO PH, et al. The influence of pretreatment methods on the determination results of trace elements [J]. Anim Ind Environ, 2020, (12): 6–7.
- [9] SOUZAS O, PEREIRA TRS, PAIXÃO LB, et al. Optimization of sample preparation procedures for evaluation of the mineral composition of fish feeds using ICP-based methods [J]. Food Chem, 2019, (273): 106–104.
- [10] AYDIN I. Comparison of dry, wet and microwave digestion procedures for the determination of chemical elements in wool samples in Turkey using ICP-OES technique [J]. Microchem J, 2008, 90(1): 82–87.
- [11] AKINYELE IO, SHOKUNBI OS. Comparative analysis of dry ashing and wet digestion methods for the determination of trace and heavy metals in food samples [J]. Food Chem, 2015, (173): 682–684.
- [12] 黎浩劲, 郑咏梅, 叶琳, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定饲料中14种主量和痕量元素的含量[J]. 理化检验(化学分册), 2019, 55(1): 51–55. LI HJ, ZHENG YM, YE L, et al. Determination of 14 major and trace elements in feed by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Phys Test Chem Anal (Part B: Chem Anal), 2019, 55(1): 51–55.
- [13] LI W, SIMMONS P, SHRADER D, et al. Microwave plasma-atomic emission spectroscopy as a tool for the determination of copper, iron, manganese and zinc in animal feed and fertilizer [J]. Talanta, 2013, (112): 43–48.
- [14] BAKKALI K, MARTOS NR, SOUHAIL B, et al. Characterization of trace metals in vegetables by graphite furnace atomic absorption spectrometry after closed vessel microwave digestion [J]. Food Chem, 2009, 116(2): 590–594.
- [15] CORREIA FO, SILVA DS, COSTA SSL, et al. Optimization of microwave digestion and inductively coupled plasma-based methods to characterize cassava, corn and wheat flours using chemometrics [J]. Microchem J, 2017, (135): 190–198.
- [16] JOFRE FC, LARREGUI DN, MURCIA VN, et al. Infrared assisted digestion used as a simple green sample preparation method for nutrient analysis of animal feed by microwave induced plasma atomic emission spectrometry [J]. Talanta, 2021, 231: 122376.
- [17] 陈煜, 王洪健, 林丹. 微波消解电感耦合等离子体质谱法测定鸡饲料中重金属元素[J]. 轻工科技, 2020, 36(8): 105–106, 124.
- CHEN Y, WANG HJ, LIN D. Determination of heavy metal elements in chicken feed by microwave digestion inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Light Ind Sci Technol, 2020, 36(8): 105–106, 124.
- [18] 巩佳第, 孙玉梅, 葛磊, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定饲料标准物质中总砷、铅、镉及其不确定度评定[J]. 农产品质量与安全, 2020, (2): 42–48.
- GONG JD, SUN YM, GE L, et al. Determination of feed standard substances by inductively coupled plasma mass spectrometry/Total arsenic, lead, cadmium and its uncertainty evaluation [J]. Qual Saf Agro-Prod, 2020, (2): 42–48.
- [19] MENG Q, ZHAO X, YE YL, et al. Inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) and inductively coupled plasma optical emission spectrometer (ICP-OES)-based discrimination for the authentication of tea [J]. Food Control, 2021, 123: 107735.
- [20] TANG SX, YU XZ, WU C. Comparison of the levels of five heavy metals in human urine and sweat after strenuous exercise by ICP-MS [J]. J Appl Math Phy, 2016, 4: 183–188.
- [21] 杨青, 林津, 姚晓帆, 等. 比较微波消解-原子荧光法和电感耦合等离子体质谱法测定饲料中总砷[J]. 食品安全质量检测学报, 2021, 12(1): 22–26.
- YANG Q, LIN J, YAO XF, et al. Comparison of microwave digestion-atomic fluorescence spectrometry and inductively coupled plasma mass spectrometry for the determination of total arsenic in feed sample [J]. J Food Saf Qual, 2021, 12(1): 22–26.
- [22] 高明, 郑树贵, 敦越, 等. 湿灰化法处理样品测定饲料中微量元素铁和铜[J]. 饲料工业, 2004, (6): 53–55.
- GAO M, ZHENG SG, AO Y, et al. Determination of trace elements iron and copper in feed by wet ashing method [J]. Feed Ind, 2004, (6): 53–55.

(责任编辑: 张晓寒)

## 作者简介



姬桂花, 畜牧师, 主要研究方向为食品质量与安全。

E-mail: 1361016422@139.com



李宗进, 高级兽医师, 主要研究方向为食品质量与安全、疫病诊断与检测。

E-mail: 13691276878@139.com