

电感耦合等离子体质谱法比较不同制粉方式对玉米中重金属含量的影响

潘少香, 孟晓萌, 谭梦男, 闫新焕, 刘雪梅, 曹 宁, 李志成, 郑晓冬*

(中华全国供销合作总社济南果品研究院, 济南 250014)

摘 要: **目的** 利用微波消解-电感耦合等离子体质谱法比较不同制粉方式对玉米中 As、Pb、Hg、Cd、Cr、Cu、Ni 7 种重金属元素含量的影响。**方法** 以玛瑙研钵处理样品为对照, 用实验室常用的 3 种金属前处理设备福斯旋风磨、破壁料理机、万能粉碎机对玉米进行粉碎, 微波消解样品, 用电感耦合等离子体质谱法测定 7 种重金属元素含量。**结果** 在 0.1~50.0 $\mu\text{g/mL}$ 线性范围内, 方法线性关系良好($r^2>0.9990$)。3 种前处理方式对玉米的重金属 Hg 和 Cd 含量检测无影响, 均会造成 Cr 含量的增加, 万能粉碎机会造成金属 Ni 含量的显著增加($P<0.05$)。**结论** 3 种前处理方式中破壁料理机对于对玉米的重金属含量检测产生的影响最小。

关键词: 电感耦合等离子体质谱法; 制粉方式; 玉米; 重金属元素

Comparison of the effects of different milling methods on the content of heavy metals in maize by inductively coupled plasma mass spectrometry method

PAN Shao-Xiang, MENG Xiao-Meng, TAN Meng-Nan, YAN Xin-Huan, LIU Xue-Mei,
CAO Ning, LI Zhi-Cheng, ZHENG Xiao-Dong*,

(Jinan Fruit Research Institute, All China Federation of Supply & Marketing Co-operatives, Jinan 250014, China)

ABSTRACT: Objective To compare the effects of different milling methods on the contents of heavy metal including As, Pb, Hg, Cd, Cr, Cu and Ni in maize samples by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry(ICP-MS). **Methods** Taking the samples treated with agate mortar as the control, the maize was crushed by 3 kinds of commonly used metal pretreatment equipment including flowserve cyclone mill, wall breaking blender and universal grinder. Then, the samples were digested by microwave, and the contents of 7 heavy metals were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry. **Results** In the linear range of 0.1-50.0 $\mu\text{g/mL}$, the method has a good linear relationship ($r^2>0.9990$). Three pretreatment methods had no effect on the detection of heavy metal Hg and Cd content in corn, and all of them resulted in the increase of Cr content. The universal crushing machine results in a significant increase in the Ni content ($P<0.05$). **Conclusion** Among the 3 pretreatment methods, the effect of wall breaking blender on the detection of heavy metal content in corn was the least.

KEY WORDS: inductively coupled plasma mass spectrometry; pulverizing way; maize; heavy metal

基金项目: 十三五科技支撑计划项目(2017YFF0211403)

Fund: Supported by the 13th Five-year Science and Technology Support Project (2017YFF0211403)

*通讯作者: 郑晓冬, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为食品质量安全与控制。E-mail: 845009870@qq.com

*Corresponding author: ZHENG Xiao-Dong, Associate Researcher, Jinan Fruit Research Institute, All China Federation of Supply &Marketing Co-operatives, Jinan 250014, China. E-mail: 845009870@qq.com

1 引言

玉米是我国最重要的粮食作物之一，玉米在我国已从第 3 大作物跃居为第 2 大作物，在我国国民经济发展中占据着十分重要的地位^[1]。随着近十几年各类工业的蓬勃发展，工业“三废”对土壤和大气环境的污染日益加重，由于环境污染而引发的玉米中重金属超标的问题也经常发生，且引起广泛关注^[2,3]。当环境中重金属含量高时会造成该地区作物重金属超标，我国每年仅因重金属污染而减产粮食 1000 多万吨，被重金属污染的粮食也多达 1200 万吨，合计经济损失至少 200 亿元^[4]。重金属元素会通过食物链，在人体内累积，最终会对人体造成危害，其中砷和镉可能导致癌症^[5]，汞元素会对人体神经系统、血液系统等造成严重损害^[6]。目前对食品中重金属元素的检测标准方法主要有原子吸收法^[7]、原子荧光光度法^[8]、电感耦合等离子体光谱法^[9]和电感耦合等离子体质谱法电感耦合等离子体质谱法 (inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)^[10,11]。其中 ICP-MS 法由于其灵敏度高、动态范围宽，能够同时测定多种无机元素，仍旧是元素检测领域测试方法研究的核心之一^[12,13]。制粉方式是重金属检测前处理的重要步骤，现有标准中对于粮食重金属检测前的制粉方式及设备并没有明确的规定，目前检测实验室粮食重金属制粉前处理主要采用福斯旋风磨、破壁料理机、万能粉碎机等设备。制粉过程中可能会引入外源的金属元素，从而影响重金属的检测结果的真实性，目前对于制粉方式对重金属检测结果影响的研究鲜有报道。本研究采用微波消解-电感耦合等离子体质谱法比较实验室常用的 3 种制粉设备福斯旋风磨、破壁料理机、万能粉碎机对玉米中 7 种重金属 As、Pb、Hg、Cd、Cr、Cu、Ni 含量的影响，由于玛瑙研钵制粉不会引入外援的金属元素，实验以玛瑙研钵处理样品为对照，本研究以期农产品质量安全检测提供一种操作性强、高效、准确的方法，同时为粮食类农产品重金属检测制粉前处理方式的选择，提供一定的数据支持和参考。

2 材料与方法

2.1 实验材料

2.1.1 实验样品

实验玉米样品购自济南市历下区吉祥苑农贸市场。

2.1.2 实验仪器

KS-1053 破壁料理机(广州祈合公司); CT410 福斯旋风磨(丹麦福斯公司); FW100 万能粉碎机(天津泰斯特公司); SP-50 玛瑙研钵(上海书培实验设备有限公司); MS304S 电子天平(德国梅特勒); WX-8000 微波消解仪(上海屹尧公司); iCAP 电感耦合等离子体质谱仪(美国赛默飞公司); Milli-Q 超纯水系统(德国默克密理博公司)。

2.1.3 实验试剂

硝酸(高效液相色谱纯，天津科密欧化学试剂有限公司); 砷(AS)标准溶液(GSB04-1714-2004)、铅(Pb)标准溶液(GSB04-1742-2004)、汞(Hg)标准溶液(GSB04-1729-2004)、镉(Cd)标准溶液(GSB04-1721-2004)、铬(Cr)标准溶液(GSB04-1723-2004)、铜(Cu)标准溶液(GSB04-1725-2004)、镍(Ni)标准溶液(GSB04-1740-2004)、锗(Ge)标准溶液(GSB 04-1728-2004)、铼(Re)标准溶液(GSB 04-1745-2004)、铈(Rh)标准溶液(GSB 04-1746-2004)、铟(In)标准溶液(GSB 04-1731-2004)、铋(Bi)标准溶液(GSB 04-1719-2004)(1000 mg/L，国家有色金属及电子材料分析测试中心)以上标准溶液浓度均为; 玉米粉中 As、Pb、Hg、Cd、Cr 质控样(P36127，广州谱恩科学仪器有限公司)。

2.2 实验方法

2.2.1 标准溶液的配制

用纯水将 1000 μg/mL As、Pb、Cd、Cr、Cu、Ni 标准溶液，配制成 100 μg/mL 的混合标准溶液，再逐级稀释成 0、0.1、0.20、0.50、1.00、2.00、5.00、10.0、20.0、50.0 μg/L 的标准使用液备用。Hg 标准溶液由汞标准稳定剂配制，配制过程相同。

用纯水将 1000 μg/mL Ge、Re、Rh、In、Bi 标准溶液，配制成 100 μg/mL 的混合标准溶液，再逐级稀释配制成 20 μg/L 的混合内标使用液备用。

2.2.2 样品预处理

取 2 kg 自然晾干的玉米颗粒样品，充分混匀后，按四分法分成 4 份，分别用 CT410 福斯旋风磨、KS-1053 破壁料理机、FW100 万能粉碎机、SP-50 玛瑙研钵粉碎，过 40 目尼龙筛，备用。

2.2.3 微波消解条件

取混合均匀的样品 0.3 g，于微波消解内罐中，加入 5 mL 硝酸，摇匀，放置过夜，然后放入微波消解仪中，按微波消解程序(表 1)进行消解。消解完成后，消解罐转移到电热板上 150 °C 赶酸，赶酸至近干，加纯水溶解并转移至 25 mL 容量瓶中，定容，摇匀，同时做空白实验。

表 1 微波消解程序
Table 1 Microwave digestion program

步骤	温度/°C	压力/atm	时间/min	功率/W
1	120	15	2	1000
2	170	20	5	1000
3	190	25	10	1000

2.2.4 仪器工作参数

ICP-MS 仪器工作参数为：功率 1550 W，冷却气流量 14.0 L/min，雾化气流量 1.0 L/min，辅助气流量 0.8 L/min，样品提升量 4.0 L/min，采样深度 7.8 mm，重复采样 3 次。

3 结果与分析

3.1 内标元素的校正

为消除基体效应, 应优先选择与待测元素质量数、电离能相近的元素作为内标^[14]。实验选用浓度为 20 μg/L 的 Ge、Re、Rh、In、Bi 作为混合内标元素来校正基体效应对测定结果的干扰。实验结果表明内标强度能较好地控制在空白强度的 80%~120%, 有效的调节了因基体效应导致的信号漂移, 对测定的 7 种无机元素的基体干扰进行了有效补偿。

3.2 标准曲线和检出限

用 As、Pb、Hg、Cd、Cr、Cu、Ni 标液配制的混合标准溶液系列进样, 建立标准曲线如表 2 所示: 7 种元素的线性范围均在 0.1~50.0 μg/L, 线性相关系数均不低于 0.9990。以样品空白溶液测定 11 次计算标准偏差, 取 3 倍标准偏差所对应的质量浓度为各待测元素的检出限, 结果见表 2, 各待测元素的检出限为 0.001~0.500 μg/kg, 可满足玉米中 7 种元素的检测要求。

3.3 仪器精密度

取 5.0 μg/L 标准溶液, 进样 6 次, 分别计算 7 种重金属元素峰强度的相对标准偏差 (relative standard deviation, RSD), 结果见表 3, 从表 3 中可以看出, 7 种重金属元素的相对标准偏差均小于 2%, 说明仪器的精密度良。

3.4 加标回收实验

对玛瑙研钵处理的样品进行加标实验, 选取 0.5、2.0、5.0 μg/L 3 个浓度进行加标实验, 每个浓度重复 3 次, 计算回收率, 具体结果见表 4。从表 4 中可以看出, 7 种元素的回收率均在 80%~110%之间, 且 3 个浓度加标回收率的相对标准偏差均小于 5%, 能够满足实验的要求。

3.5 质控样品实验

按“2.2.3 和 2.2.4”方法的微波消解和检测条件对玉米粉质控样(P36127)进行样品前处理并进行测定, 结果见表 5, 可知测定值均在标准值范围内。

表 2 标准曲线相关参数及检出限
Table 2 Parameters of standard curves and detection limits

元素	线性方程	线性范围/(μg/L)	相关系数	检出限/(μg/kg)
AS	Y=4071.4507X+23.3149	0.1~50.0	0.9996	0.002
Pb	Y=198597.0892X+2416.2170	0.1~50.0	0.9993	0.020
Hg	Y=3334.1465X+166.0159	0.1~50.0	0.9992	0.001
Cr	Y=36465.2000X+134.6874	0.1~50.0	1	0.020
Cd	Y=165.4.8033X+16.6420	0.1~50.0	0.9998	0.020
Cu	Y=42121.1583X+1503.7284	0.1~50.0	0.9991	0.500
Ni	Y=24645.0969X+485.1906	0.1~50.0	0.9992	0.500

表 3 仪器精密度
Table 3 Instrument precision

元素	峰强度/cps						RSD/%
	1	2	3	4	5	6	
As	34766	35950	36090	35808	35582	34877	1.6
Pb	6973635	7022415	7054045	7151618	7152671	7006163	1.1
Hg	1505693	1508846	1513577	1523520	1512313	1507201	0.4
Cr	362744	368928	371352	371072	373208	361162	1.3
Cd	332214	336766	340052	343505	335921	333466	1.2
Cu	884659	903638	906869	903166	898641	887031	1.0
Ni	266472	261740	267452	269586	266481	261247	1.2

表 4 回收率实验结果
Table 4 Results of recovery test

样品	加标浓度/(μg/L)	回收率/%						
		AS	Pb	Hg	Cr	Cd	Cu	Ni
福斯旋风磨 处理的玉米 样品	0.5	92.8	104.6	85.3	94.6	93.1	89.6	93.1
	2.0	86.3	101.3	81.7	95.0	91.3	87.5	92.4
	5.0	85.2	108.0	80.2	93.1	90.7	91.9	90.2
回收率 RSD/%	/	4.7	3.2	3.2	1.1	1.4	2.5	1.6

表 5 质控样标准值及测定结果
Table 5 Determination results and value of quality control samples

元素	标准值/(mg/kg)	数值范围/(mg/kg)(z ≤2)	测量值/(mg/kg)
As	0.110	0.083~0.137	0.119
Pb	0.26	0.19~0.33	0.276
Hg	0.027	0.021~0.033	0.0243
Cr	0.7	0.5~0.9	0.813
Cd	0.161	0.121~0.201	0.156

3.6 不同前处理方式玉米样品检测结果

取 2 份玉米样品分别按“2.2.2”项中 4 种处理方式处理,共 8 个处理,其中玛瑙研钵处理为对照,每个处理样品按“2.2.3”和“2.2.4”项中的消解和检测方式重复测定 3 次并计算其平均值,结果如表 6 所示。从表 6 中可以看出 2 个玉米样品的 8 个处理中均未检测出元素 Cd 和 Hg,说明福斯旋风磨、破壁料理机和万能粉碎机处理玉米样品均不会引入外源的 Cd 和 Hg 元素,不会对元素 Cd 和 Hg 的检测造成影响。

1 号玉米样品的 4 个处理方式 As 元素含量无显著差异;万能粉碎机处理的玉米样品 Cr 的含量显著高于其他 3 种处理方式;福斯旋风磨处理的玉米样品 Pb 元素含量最高,其它 3 种处理无显著差异;只有万能粉碎机处理的玉米样品中检测出 Ni 元素;万能粉碎机处理的玉米样品 Cu 元素含量最高,其它 3 种处理无显著差异。2 号样品的 4 种处理方式结果与 1 号样品基本相同,万能粉碎机对 Cr、Cu、Ni、Pb 4 种元素的影响最大,与福斯旋风磨和万能粉碎机相比,破壁料理机对 As、Pb、Cr、

Cu、Ni 5 种元素的影响较小。

综合分析可知福斯旋风磨、破壁料理机和万能粉碎机粉碎玉米样品,均会对 As、Pb、Cr、Cu、Ni 4 种元素检测造成一定的影响,其中万能粉碎机对元素检测的影响最大,福斯旋风磨次之,破壁料理机处理方式对 As、Pb、Cr、Cu、Ni 5 种元素的影响最小。

4 结 论

本研究采用电感耦合等离子体质谱法比较不同制粉方式对玉米中重金属含量的影响。经方法学考察,该方法干扰小且检出限满足要求,同时该方法的精密度、重复性良好,加标回收率能够满足本研究的要求。3 种金属粉碎设备福斯旋风磨、破壁料理机、万能粉碎机均会对玉米的重金属含量检测产生影响,其中万能粉碎机对玉米重金属含量检测产生影响最大,特别是对于 Cr 和 Ni 元素的影响;3 种前处理方式中破壁料理机对于对玉米的重金属含量检测产生的影响最小。研究为玉米元素检测制粉前处理方式的选择,提供了科学的参考依据。

表 6 不同制粉方式重金属检测结果(mg/kg)
Table 6 Results of heavy metal detection with different pulverizing ways (mg/kg)

样品编号	处理方式	元素含量						
		Cr	As	Cd	Hg	Pb	Ni	Cu
1	福斯旋风磨	0.173±0.008 ^b	0.0130±0.0017 ^a	0	0	0.0396±0.0020 ^a	0±0 ^b	1.04±0.03 ^b
	破壁料理机	0.158±0.003 ^b	0.0130±0.0005 ^a	0	0	0.0264±0.0015 ^b	0±0 ^b	0.989±0.047 ^b
	万能粉碎机	0.213±0.018 ^a	0.0127±0 ^a	0	0	0.0246±0.0011 ^b	0.791±0.004 ^a	1.28±0.07 ^a
	玛瑙研钵	0.0261±0.0044 ^c	0.0115±0.0005 ^a	0	0	0.0218±0.0023 ^b	0±0 ^b	0.884±0.048 ^b
2	福斯旋风磨	0.0802±0.0036 ^b	0.00784±0.00029 ^a	0	0	0.0225±0.0009 ^b	0±0 ^b	1.02±0.007 ^a
	破壁料理机	0.0457±0.0044 ^c	0.00588±0.00082 ^{bc}	0	0	0.0248±0.0033 ^b	0±0 ^b	0.980±0.022 ^b
	万能粉碎机	0.0989±0.0027 ^a	0.00678±0.00012 ^{ab}	0	0	0.0416±0.0035 ^a	1.47±0.12 ^a	1.04±0.01 ^a
	玛瑙研钵	0.0339±0.0008 ^d	0.00454±0.00066 ^c	0	0	0.0216±0.0001 ^b	0±0 ^b	0.973±0.005 ^b

注: 表中数据为“平均值±标准差”, 上标字母不同表示差异显著($P<0.05$)。

参考文献

- [1] 曹俊, 刘欣, 陈文若, 等. 玉米储藏过程中生理代谢与品质变化机理研究进展[J]. 食品工业科技, 2016, 37(3): 379–383

Cao J, Liu X, Chen WR, *et al.* Research progress in the mechanism of physiological metabolism and quality changes in corn during storage [J]. Sci Technol Food Ind, 2016, 37(3): 379–383

[2] 赵晓慧, 王瑾. 云南不同地区稻谷中 5 种重金属元素分布特征[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(22): 7738–7743.

Zhao XH, Wang J. Distribution characteristics of 5 heavy metal elements in rice in different regions of Yunnan [J]. J Food Saf Qual, 2019, 10(22): 7738–7743.

[3] 雷鸣, 曾敏, 王利红, 等. 湖南市场和污染区稻米中 As, Pb, Cd 污染及其健康风险评价[J]. 环境科技学报, 2010, 30(11): 2314–2320.

Lei M, Zeng M, Wang LH, *et al.* Arsenic, lead, and cadmium pollution in rice from Hunan markets and contaminated areas and their health risk assessment [J]. J Environ Sci Technol, 2010, 30(11): 2314–2320.

[4] 路子显. 中国粮食重金属污染现状及防控对策[J]. 粮食科技与经济, 2016, 41(6): 6–11.

Lu ZX. Current situation and prevention and control measures of heavy metal pollution in grain in China [J]. Grain Sci Technol Eco, 2016, 41(6): 6–11.

[5] Rahman MA, Rahman MM, Reichman SM, *et al.* Heavy metals in Australian grown and imported rice and vegetables on sale in Australia: Health hazard [J]. Ecotox Environ Saf, 2014, (100): 53–60.

[6] 胡迪, 杨婧, 黄顺利, 等. 2014–2015 年重庆市渝北区部分市售食品重金属污染现状[J]. 职业与健康, 2017, 33(11): 1500–1503.

Hu D, Yang J, Huang SL, *et al.* Contamination status of heavy metal in some commercially available foods in Yubei district of Chongqing from 2014–2015 [J]. Occup Health, 2017, 33(11): 1500–1503.

[7] 刘鑫. 水质重金属测定中原子吸收光谱法的运用分析[J]. 山东工业技术, 2019, (8): 36.
- Liu X. Analysis of the application of atomic absorption spectrometry in the determination of heavy metals in water quality [J]. Shandong Ind Technol, 2019, (8): 36.

[8] 付倩, 宋利军, 刘瑞弘, 等. 微波消解-原子荧光光度法测定婴幼儿食品与乳及乳制品中的汞和砷[J]. 中国卫生检验杂志, 2017, 27(10): 35–37.

Fu Q, Song LJ, Liu RH, *et al.* Determination of mercury and arsenic in infant food, milk and dairy products by microwave digestion-atomic fluorescence spectrometry [J]. Chin J Health Lab Technol, 2017, 27(10): 35–37.

[9] 谢国排, 黄训端, 陈兴杰, 等. ICP-AES 法测定及分析窖泥中重金属元素[J]. 中国酿造, 2015, 34(12): 167–170.

Xie GP, Huang XD, Chen XJ, *et al.* Determination and analysis of heavy metal elements in pit mud by ICP-AES [J]. Chin Brew, 2015, 34(12): 167–170.

[10] 雷美康, 汪小红, 杨珺, 等. 微波消解-电感耦合等离子体质谱法测定衡枳壳中 17 种微量元素的含量[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(1): 165–169

Lei MK, Wang XH, Yang J, *et al.* Determination of 17 trace elements in Qu aurantii fructus by microwave digestion-inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. J Food Saf Qual, 2020, 11(1): 165–169.

[11] 陈晓东. 微波消解和电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定小米中 12 种元素含量[J]. 福建农业科技, 2019, (11): 51–54.

Chen XD. Determination of the Contents of 12 Elements in millet by microwave digestion and inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) [J]. Fujian Agric Sci Technol, 2019, (11): 51–54.

[12] 王铁良, 刘冰杰. 电感耦合等离子体质谱法测定小麦籽粒中 8 种重金属元素[J]. 河南农业科学, 2018, 47(11): 148–154

Wang TL, Liu BJ. Determination of 8 kinds of heavy metal elements in wheat grains by inductively coupled plasma mass spectrometry method [J]. J Henan Agric Sci, 2018, 47(11): 148–154.

- [13] 姜娜. 电感耦合等离子体质谱技术在环境监测中的应用进展[J]. 中国环境监测, 2014, 30(2): 118-124.

Jiang N. The application and research progress of inductively coupled plasma mass spectrometry in environmental monitoring area [J]. Environ Monit Chin, 2014, 30(2): 118-124.

- [14] 田梅, 韩小元, 王江, 等. ICP-MS 测量环境样品中铀的非质谱干扰内标校正研究[J]. 分析实验室, 2012, 31(8): 116-120.

Tan M, Han XY, Wang J, et al. Study on correction of matrix effect with different internal standards during measurement of uranium by ICP-MS [J]. Chin J Anal Lab, 2012, 31(8): 116-120.

(责任编辑: 李磅礴)

作者简介

潘少香, 助理研究员, 主要研究方向为食品安全检测与质量控制。

E-mail: panshaoxiang@126.com

郑晓冬, 硕士, 副研究员, 主要研究方向为食品质量安全与控制。

E-mail: 253563312@qq.com

“食品安全快速检测技术”专题征稿函

食品安全快速检测技术是食品安全保障的重要支撑。要从根本上解决食品安全问题, 就必须对食品的生产、加工、流通和销售等各环节实施全程管理和监控, 而实验室检测方法和仪器是很难及时、快速而全面地从各环节监控食品安全状况, 这就需要大量能够满足这一要求的快速、方便、准确、灵敏的食品安全分析检测技术。

本刊特别策划了“食品安全快速检测技术”专题, 由军事医学科学院高志贤研究员和暨南大学丁郁教授担任专题主编, 主要围绕比色分析技术、光谱分析技术、免疫分析技术、层析检测技术、无损检测技术、生物检测技术、快速前处理技术、电化学传感器、纳米技术”等方面或您认为有意义的相关领域展开论述和研究, 综述及研究论文均可, 本专题计划在 2020 年 6 月出版。

鉴于您在该领域丰富的研究经历和突出的学术造诣, 本刊主编吴永宁研究员、专题主编高志贤研究员和暨南大学丁郁教授及编辑部全体成员特别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 2020 年 5 月 15 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, 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: 食品安全快速检测技术”)

邮箱投稿: E-mail: jfoodsq@126.com(备注: 食品安全快速检测技术专题投稿)

《食品安全质量检测学报》