

电感耦合等离子体质谱法测定毛肚、鸭肠、黄喉中的 5 种污染物含量及健康风险评估

冉 俊*, 马之攀, 龙昌洲, 王春林, 田 霞

(重庆市黔江食品药品检验所, 重庆 409000)

摘 要: 目的 建立电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)同时测定毛肚、鸭肠、黄喉中铅、砷、汞、镉、铬 5 种有害元素含量的方法, 并评估其健康风险。**方法** 采用微波消解 ICP-MS 法, 同时测定 41 批次毛肚、48 批次鸭肠、28 批次黄喉中铅、砷、汞、镉、铬 5 种有害元素的含量; 采用单因子污染指数评价和内梅罗综合因子污染指数评价法对重金属污染情况进行评价; 利用美国环保局提出的目标危害系数法评估重金属对人体健康的风险。**结果** 该方法的线性良好, 相关系数为 0.9992~0.9999, 检出限为 0.002~0.023 $\mu\text{g/g}$, 平均回收率为 86.7%~108%, 相对标准偏差为 0.6%~4.8%($n=7$)。标准物质测定结果与生物标准参考物质的标准值相符; 毛肚、鸭肠、黄喉中的 5 种重金属元素的单项污染指数和综合污染指数均低于 0.7, 处于安全水平; 目标危害系数和综合风险指数均远小于 1, 尚不构成健康风险。**结论** 该方法适用于动物性火锅食材中微量有害元素的准确测定, 为以后的标准完善、食品安全风险管理等方面提供有效的数据支撑。

关键词: 电感耦合等离子体质谱法; 毛肚; 鸭肠; 黄喉; 重金属; 风险评估

Determination of 5 pollutants in tripe, duck intestine and yellow throat by inductively coupled plasma mass spectrometry and health risk assessment

RAN Jun*, MA Zhi-Pan, LONG Chang-Zhou, WANG Chun-Lin, TIAN Xia

(Chongqing Qianjiang Food and Drug Inspection Institute, Chongqing 409000, China)

ABSTRACT: Objective To establish a method for the simultaneous determination of lead, arsenic, mercury, cadmium and chromium in tripe, duck intestine and yellow throat by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS), and to evaluate their health risk. **Methods** The content of lead, arsenic, mercury, cadmium and chromium in 41 batches of tripe, 48 batches of duck intestines and 28 batches of yellow throats was determined by ICP-MS with microwave digestion. The heavy metal pollution was evaluated by single factor pollution index and Nemero comprehensive factor pollution index. The risk of heavy metals to human health was evaluated by target hazard coefficient method proposed by US Environmental Protection Agency. **Results** The linearity of the method was good, the correlation coefficients were 0.9992–0.9999, the limits of detection were 0.002–0.023 $\mu\text{g/g}$, and the average recoveries were 86.7%–108%, with the relative standard deviations of 0.6%–4.8% ($n=7$). The results of standard substance determination were consistent with the standard values of biological standard reference materials. The single pollution index and comprehensive pollution index of 5 heavy metals in tripe, duck intestine and yellow throat

*通讯作者: 冉俊, 工程师, 主管药师, 主要研究方向为食品药品安全检测与质量标准。E-mail: 549752899@qq.com

*Corresponding author: RAN Jun, Engineer, Pharmacist in Charge, Chongqing Qianjiang Food and Drug Inspection Institute, Chongqing 409000, China. E-mail: 549752899@qq.com

were all lower than 0.7, which were in the safe level. The target hazard coefficient and comprehensive risk index were far less than 1, which did not constitute the health risk. **Conclusion** This method is suitable for the accurate determination of trace harmful elements in animal hot pot ingredients, and provides effective data support for future standards improvement and food safety risk management.

KEY WORDS: inductively coupled plasma mass spectrometry; tripe; duck intestine; yellow throat; heavy metals; risk assessment

1 引言

重庆火锅,又称为毛肚火锅或麻辣火锅,起源于两江交汇的码头文化,火锅选料包罗万象,囊括了家禽、水产、海鲜、野味、动物内脏、各类蔬菜和干鲜菌果等,其中,黄喉、毛肚、鸭肠被誉为“火锅三宝”。随着人们生活水平的提高,食品安全问题尤其是动物源性食物的安全已成为消费者特别关注的问题^[1]。重金属是一类典型的积累性污染物,可通过食物链逐渐传递富集,在某些条件下可以转化为毒性更大的金属有机化合物^[2]。动物体内的重金属可通过富集作用对人体造成伤害,铬、砷、镉、汞、铅等元素并非人体生命活动所必需的微量元素,而且超过一定浓度后对人体有毒害作用。然而目前有关畜禽肉及其内脏的多元素成分分析的研究报道较少^[2],经搜索知网、维普、万方等数据库,有关火锅食材黄喉、毛肚、鸭肠的污染物含量检测和健康风险分析报告较少。

鉴于此,本研究建立电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)检测黄喉、毛肚、鸭肠中 5 种常见污染物含量,并结合单因子污染指数法、内梅罗(Nemrow)污染综合指数法和目标危险系数(THQ)方法^[3-4],较为全面地分析其污染水平和健康风险,旨在为食品安全和监管工作提供支持,也为相关决策和确保行业健康发展提供参考。

2 材料与方法

2.1 仪器

NexION350X 电感耦合等离子体质谱仪(美国 PerkinElmer 公司); Milli-Q 纯水机(美国密理博公司); MARS6 微波消解仪(美国 CEM 公司); BS224S 万分之一电子天平(德国赛多利斯科学仪器公司); GM200 研磨仪(德国莱驰公司)。

2.2 试剂

硝酸(优级纯,重庆川东化工有限公司); Pb、Cd、Cr、As、Hg 单元素标准溶液(1000 μg/mL, 国家有色金属及电子材料分析测试中心); Be、Ce、Fe、In、Li、Mg、Pb、U 质谱调谐液(1 μg/mL, PerkinElmer 公司); Bi、In、Sc、Y 内标溶液(1000 μg/mL, 国家有色金属及电子材料分析测试

中心); 生物成分标准物质: 鸡肉(GBW10018, 中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所)。

2.3 样品来源及处理

立足于渝东南片区,针对批发环节,随机共抽取具有代表性样品 117 批次,每批次保证在 500 g 以上,其中来自新西兰进口毛肚 41 批次,重庆本地冷冻鸭肠 48 批次,渝东南本地屠宰场黄喉 28 批次。

取有代表性的样品,经高速粉碎机粉碎均匀后,置于塑料密封袋中, -20 °C 冷冻保存。样品解冻后,准确称取 0.3~0.5 g 样品,按国标 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准多元素的测定》^[5]第一法中微波消解法进行,最后用水定容至 25 mL。

2.4 仪器工作条件

微波消解条件: 在消解功率 1600 W 下,用 10 min 升温至 120 °C,保持 5 min;同功率下,用 8 min 升温至 160 °C,保持 5 min;用 4 min 升温至 180 °C,保持 20 min。

ICP-MS 条件优化以灵敏度、氧化物和双电荷产率为考察指标,通过仪器设置的调谐程序,用 10 μg/L 调谐溶液优化仪器参数,优化后的条件: 射频功率 1300 W, 等离子体流量 18 L/min, 雾化气流量 0.92 L/min, 辅助气流量 1.0 L/min, 采样锥/截取锥为镍锥,延迟时间 45 s, 脉冲电压 900 V, 重复读取 3 次。

2.5 样品中重金属污染评价方法

参考相关污染评价方法文献^[6,7],本研究采用单因子污染指数评价和内梅罗综合因子污染指数评价 2 种方法对样品中重金属污染情况进行评价。

$$\text{单因子污染指数计算公式: } P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (1)$$

式中: P_i 为重金属 i 的单项污染指数, C_i 为重金属 i 的实测含量值, S_i 为金属 i 的标准限量值。 P_i 越大,表明受重金属 i 的污染程度越严重。单因子污染指数只能代表某一种重金属的环境质量状况,不能反映环境质量的贡献,突出高质量分数重金属对环境质量的影响作用,因此还需要采用内梅罗综合污染指数进行评价^[6]。

内梅罗综合因子污染指数的评价公式:

$$P_{\text{综}} = \sqrt{\frac{(P_{\text{max}})^2 + (P_{\text{ave}})^2}{2}} \quad (2)$$

式中, $P_{综}$ 表示内梅罗综合污染指数, P_{max} 为单因子污染指数的最大值, P_{ave} 为单因子污染指数的算术平均值。污染指数的评价等级为: $P \leq 0.7$ 为安全, 未受污染; $0.7 < P \leq 1.0$ 为警戒线; $1.0 < P \leq 2.0$ 为轻度污染; $2.0 < P \leq 3.0$ 为中度污染; $3 < P \leq 5$, 属重污染; $P > 5$, 属严重污染。

2.6 重金属接触人体健康风险评价方法

采用美国环保局提出的目标危害系数(target hazard coefficient, THQ)法评估重金属对人体健康的风险^[4,8,9]。该方法主要通过评估人体摄入食物中重金属剂量是否超出相应的参考剂量来判断人体的暴露风险, 假定污染物吸收剂量等于摄取剂量, 其中分单一重金属的健康风险及多种重金属的复合健康风险。THQ 按式(3)计算, TTHQ 按式(4)计算。如果该值小于 1, 则说明暴露人群没有明显的健康风险, 反之, 则存在健康风险。

THQ 计算公式: $THQ = \frac{Ef \times Ed \times Fir \times C}{Rfd \times Wab \times Ta}$ (3)

TTHQ 计算公式: $TTHQ = \sum_{i=1}^5 THQ$ (4)

式中: THQ 为单一重金属危害系数; $TTHQ$ 为多种重金属综合危害指数; E_f —暴露频率(按一周一次计算, 取 52 d/年); E_d —暴露区间(重庆统计年鉴 2018 显示最新预期寿命 75.7 岁, 建议三岁以上食用, 故 E_d 取 72.7); F_{ir} —人均食物摄入量, kg/(d·人); C —食物的重金属含量(mg/kg, 采用此次调查测得的中位值); R_{fd} —参比剂量(mg/(kg·d), 对 Pb、Cd、Cr、As、Hg 分别取 0.0035、0.001、0.003、0.0003 和 0.0001)^[4]; W_{ab} —人体平均体重(kg, 取中国居民营养与慢性病状况报告(2015)均值 61.75); T_a —非致癌性平均暴露时间(365 d/年×暴露年数, 试验中为 75.7 年)。

3 结果与分析

3.1 仪器条件优化

ICP-MS 分析过程中受到的主要干扰有同质异位素干扰、氧化物离子干扰、双电荷离子干扰及由载气和水溶液基体中的其他原子构成的复合离子的干扰。对于测定元素的同时选择, 以选择测定同位素的最大丰度值为原则, 避免选用多原子干扰和同量异位素重叠。

对于多原子(分子)离子的干扰, 本法采用碰撞/反应池技术进行消除, 有报道^[10]称在碰撞模式下, 元素的 MS 强度无明显降低。针对不同的目标元素及不同的样品基体, 分别建立消除干扰的不同反应条件。

对于非 MS 干扰, 内标法是 ICP-MS 测定的必备校正方法^[11,12]。本法使用样液混合后浓度为 50 μg/L 的内标溶液, 用于监测和校正测定过程信号短期或长期的漂移, 并对基体效应进行校准。

考虑到样品中待测元素的稳定性及高酸度对仪器的使用寿命的影响, 本实验参考文献和标准规定^[12,13], 选择在 5%的硝酸体系中进行测定。

3.2 标准曲线与检出限

对空白溶液测定 11 次^[13], 计算其 3 倍标准偏差, 按称样量 0.5 g, 定容至 25 mL, 得检出限为 0.002~0.023 μg/g; 各元素在其线性范围内, 具有良好的线性关系, 相关系数(r)为 0.9992~0.9999, 结果见表 1。

3.3 标准物质验证

选择生物成分标准物质鸡肉(GBW10018)进行测定, 结果与标准值基本相符, 表明所建立方法可靠, 结果见表 2。

表 1 线性回归方程、相关系数和检出限
Table 1 Linear regression equation, correlation coefficient and detection limit

元素	内标元素	分析模式	线性范围/(μg/L)	线性回归方程	相关系数/ r	检出限/(μg/L)
²⁰⁸ Pb	²⁰⁹ Bi	标准	0~30	$Y=0.011X-0.00096$	0.9997	0.005
¹¹¹ Cd	⁸⁹ Y	标准	0~30	$Y=0.003X-0.00085$	0.9994	0.003
⁵² Cr	⁴⁵ Sc	碰撞	0~30	$Y=0.050X+0.00362$	0.9992	0.023
⁷⁵ As	¹¹⁵ In	碰撞	0~30	$Y=0.007X-0.00191$	0.9999	0.003
²⁰² Hg	²⁰⁹ Bi	标准	0~2	$Y=0.008X-0.00047$	0.9996	0.002

表 2 标准物质的标准值及测定值

Table 2 Standard value and measured value of reference materials

元素	GBW10018	
	标准值/(mg/kg)	测定均值/(mg/kg)
Pb	0.11±0.02	0.10
As	0.109±0.013	0.106

续表 2

元素	GBW10018	
	标准值/(mg/kg)	测定均值/(mg/kg)
Hg	0.0036±0.0015	0.0038
Cr	0.59±0.11	0.50
Cd	0.005(参考值)	0.006

3.4 精密度和回收试验

选择毛肚、鸭肠、黄喉为样品基质, 分别加入一定浓度水平的 5 种元素进行加标回收试验($n=7$)。各元素平均回收率在 86.7%~108%之间, 相对标准偏差(relative standard deviation, RSD)为 0.6%~4.8%, 表明准确度和精密度良好, 结果见表 3。

3.5 样品测定结果

我国目前对鲜(冻)畜禽产品限量的标准主要有 NY/T 1513-2017《绿色食品畜禽可食用副产品》^[14]、GB 2762-2017《食品中污染物限量》等^[15]。相比而言, NY/T 1513-2017《绿色食品畜禽可食用副产品》中对重金属限量更严格, 因此, 本研究按实验方法对 41 批毛肚、48 批鸭肠、28 批黄喉进行 3 次平行检测后的均值结果, 采用 NY/T 1513-2017《绿色食

品畜禽可食用副产品》作参考依据(见表 4)。

3.6 毛肚、鸭肠、黄喉中 5 种重金属单因子和内梅罗综合因子污染评价

根据统计学特点和标准 NY/T 1513-2017《绿色食品畜禽可食用副产品》对重金属的限量要求, 采用中位数计算 P_i 。由表 4 数据和公式(1)、(2)分别计算出毛肚、鸭肠、黄喉中重金属的单因子和内梅罗综合污染指数。结果见图 1。

结果表明, 毛肚、鸭肠、黄喉中的 5 种重金属元素的单项污染指数和综合污染指数均低于 0.7, 处于安全和低污染水平; 整体来看, 3 类产品中的砷和汞的污染指数最小, 黄喉的砷和汞污染指数均低于 0.05; 而铅和镉的污染指数较大, 其中黄喉的铅污染指数为 0.473, 铅和镉对综合污染指数贡献也最大, 为主要的重金属污染源。

表 3 精密度和回收试验结果($n=7$)
Table 3 Test results of precision and recovery ($n=7$)

元素		本底值/(mg/kg)	加标量/(mg/kg)	测得总量/(mg/kg)	回收率/%	RSD/%
Cr	毛肚	0.0632	0.109	0.167	95.2%	4.8
	鸭肠	0.0925	0.102	0.189	94.6%	1.0
	黄喉	0.204	0.139	0.346	102%	1.8
As	毛肚	0.0180	0.109	0.113	87.2%	3.2
	鸭肠	0.0270	0.102	0.128	99.0%	4.6
	黄喉	0.0186	0.139	0.163	104%	3.8
Hg	毛肚	ND	0.0109	0.0118	108%	1.8
	鸭肠	ND	0.0102	0.0104	102%	2.7
	黄喉	ND	0.0139	0.0136	97.8%	0.9
Pb	毛肚	0.0534	0.109	0.158	96.0%	4.1
	鸭肠	0.0467	0.102	0.155	106%	0.7
	黄喉	0.109	0.139	0.252	103%	1.4
Cd	毛肚	0.0372	0.109	0.148	102%	3.9
	鸭肠	0.0306	0.102	0.119	86.7%	0.9
	黄喉	0.0359	0.139	0.165	92.9%	0.6

备注: ND 表示未检出, 未检出按最低检出限计算, 下同。

表 4 样品测定结果
Table 4 Sample determination results

样品	元素	标准限量/(mg/kg)	检测范围/(mg/kg)	检测均值/(mg/kg)	中位值/(mg/kg)	检出率/%	超标率/%
毛肚	Cr	≤1.0	0.0356~5.36	0.273	0.121	100	2.4
	As	≤0.5	ND~0.0400	0.0174	0.0186	87.8	0
	Hg	≤0.05	ND~0.0177	0.002 ^a	0.002 ^a	26.8	0
	Pb	≤0.2	0.0222~0.322	0.0884	0.0758	100	9.8
	Cd	≤0.1	ND~0.0663	0.0211	0.0208	80.5	0

续表 4

样品	元素	标准限量/(mg/kg)	检测范围/(mg/kg)	检测均值/(mg/kg)	中位值/(mg/kg)	检出率/%	超标率/%
鸭肠	Cr	≤1.0	0.0421~0.983	0.129	0.0922	100	0
	As	≤0.5	ND~0.0301	0.00989	0.00875	81.2	0
	Hg	≤0.05	ND~0.0179	0.00234	0.002 ^a	29.2	0
	Pb	≤0.2	0.0142~0.399	0.0650	0.0486	100	2.1
	Cd	≤0.1	ND~0.136	0.0353	0.0302	93.8	2.1
黄喉	Cr	≤1.0	0.0319~0.495	0.128	0.101	100	0
	As	≤0.5	ND~0.0257	0.00626	0.003 ^a	50.0	0
	Hg	≤0.05	ND~0.00761	0.002 ^a	0.002 ^a	3.6	0
	Pb	≤0.1	0.0138~0.330	0.0632	0.0473	100	14.3
	Cd	≤0.1	ND~0.202	0.0318	0.0213	39.3	3.6

备注: a 表示检测值低于检出限, 以最低检出限计, ND 为未检出。

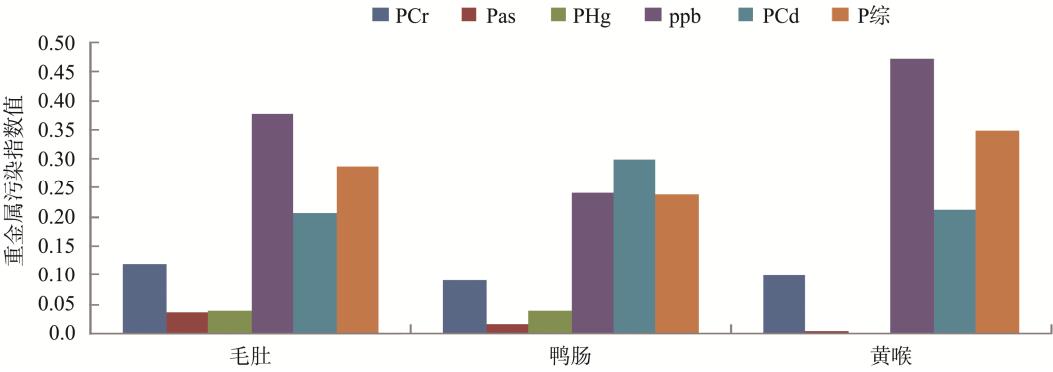


图 1 毛肚、鸭肠、黄喉中重金属污染指数
Fig.1 Pollution index of heavy metals in tripe, duck intestine and yellow throat

3.7 经毛肚、鸭肠、黄喉途径摄入重金属的人体健康风险分析

由重庆火锅行业红皮书叫卖数据显示^[16]: 重庆火锅荤菜叫卖率最高为毛肚, 占比为 88.7%, 其次为鸭肠, 占比为 58.5%, 黄喉占比为 18%。因此, 以毛肚为代表, 通过制作调查问卷与走访调查相结合的方式, 随机选取重庆地区 150 余家火锅店的销量和食用火锅成年人情况进行调查。回收有效问卷 127 份, 调查结果显示, 毛肚年平均每天销量 10~25 kg(以 17.5 kg 计), 折中消费人数以每天 300 人计。经均衡计算得到人均日摄入毛肚、鸭肠、黄喉的量分别约为 0.058、0.038、0.012kg。结合表 4 食材中的重金属含量, 采用“2.6”项下方法分别对 41 批毛肚、48 批鸭肠、28 批黄喉进行健康风险评价, 计算不同元素的(THQ)及(TTHQ), 并得出各元素健康风险的贡献率。结果分别见表 5 和图 2, 毛肚、鸭肠、黄喉中 5 种重金属的目标危害系数和综合风险指数均远小于 1, 尚无健康风险; 综合风险指

数值表明, 毛肚>鸭肠>黄喉, 毛肚健康风险最大; 毛肚、鸭肠、黄喉中 5 种重金属的 TTHQ 贡献率存在差异, 黄喉中 Pb 和 As 的贡献率最小, 鸭肠中 Cd、Cr 和 As 贡献率较大, 毛肚中以 As 和 Cr 的贡献率最大, 分别为 37.6%和 24.5%; 整体来看, 具有健康风险的重金属主要为 Cr。

4 结 论

通过 ICP-MS 参照现有国标检测方法, 建立了有针对火锅动物性典型食材“火锅三宝”中污染物的检测方法, 结果表明本研究方法快速、准确、可信。

从以上样品检测结果看, 整体质量情况较为可观, 但存在 Pb、Cd、Cr 元素的超标情况, 尤其 Pb 元素存在普遍超标情况。针对重金属的污染评价情况, 单项污染指数均为安全水平, 说明整体污染水平较低; 然而, 主要的污染重金属依然为铅和镉, 尤其以黄喉中的铅成为主要的污染源, 警示需要特别关注。采用目标危险系数法初步评估了

表 5 3 种食材的单一重金属 THQ 和 TTHQ 评价结果
Table 5 THQ and TTHQ evaluation results of 3 kinds of food materials

样品类型	单一重金属的危险系数 THQ					综合风险指数 TTHQ
	Pb	Cd	Cr	As	Hg	
毛肚	0.0028	0.0027	0.0052	0.0080	0.0026	0.021
鸭肠	0.0012	0.0025	0.0026	0.0025	0.0017	0.010
黄喉	0.00036	0.00057	0.00090	0.00027	0.00053	0.0026

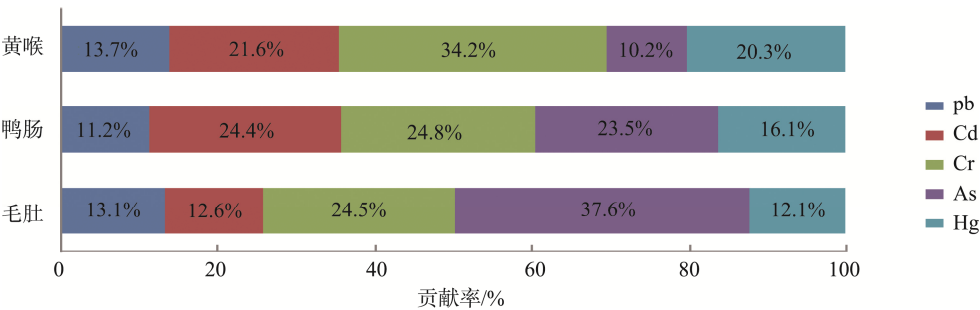


图 2 3 种食材中 5 种重金属 TTHQ 的贡献率条形图
Fig.2 Bar chart of TTHQ contribution rate of 5 heavy metals in three kinds of food materials

“火锅三宝”中重金属的健康风险。THQ 和 TTHQ 远小于 1, 说明对暴露人群不存在明显的健康风险。对于 TTHQ, 毛肚 > 鸭肠 > 黄喉, 说明食物摄入量对结果影响甚大, 毛肚更容易受到重金属的暴露风险。基于以上结果, 验证了重金属与畜禽内脏中的蓄积有一定的相关性, 应从饲料以及养殖环境控制重金属的摄入, 同时也要保证养殖环境中水不受污染, 这样从源头控制重金属的富集作用, 从根本上保证食品的质量安全^[2], 说明铅在动物食品中成了最为普遍的污染物之一。由于该方法假设吸收量=摄入量, 未考虑重金属在体内的利用率, 可能存在一定的偏倚^[4]。另外, 元素的不同形态与其毒性密切相关, 对 As 而言, 无机 As 毒性较大, 有致癌性, 而多数有机 As 低毒或无毒, 以总 As 评价其安全性存在一定的不确定性, 因此 As 的污染情况还要进一步分析研究^[4]。由于人的膳食结构是复杂多变的, 针对那些特别钟爱火锅和钟爱“火锅三宝”的特殊人群, 缺乏针对性的调查研究, 本研究只代表了较大部分群体, 但仍可以为以后标准体系的完善和地标性产品标准的制定提供了有力数据支撑, 能更科学地引导消费者作出饮食结构调整, 也为食品安全风险管理提供参考。

参考文献

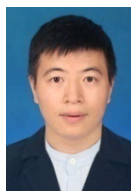
[1] Aytekin T, Kargin D, Coğun HY, *et al.* Accumulation and health risk assessment of heavy metals in tissues of the shrimp and fish species from the Yumurtalik coast of Iskenderun Gulf, Turkey [J]. Heliyon, 2019, 5(8): e02131.
[2] 王瑜, 母应春, 雷学昌, 等. 三穗鸭组织中的重金属含量分布与安全性评价[J]. 贵州农业科学 2014, 42(10): 174–177.

Wang Y, Mu YC, Lei XC, *et al.* Distribution and safety assessment of heavy metals in Sansui duck tissues [J]. Guizhou Agric Sci, 2014, 42(10): 174–177.
[3] Power M, MccartyLS. Trends in the development of ecological risk assessment and management frameworks [J]. Human Ecolog Risk Assess Int J, 2002, 8(11): 7–18.
[4] 李晓玉, 刘丽萍, 陈绍占, 等. 食用菌中砷、镉、汞、铅、铬的污染情况和健康风险分析[J]. 职业与健康, 2019, 35(5): 613–617.
Li XY, Liu LP, Chen SZ, *et al.* Pollution and health risk analysis of arsenic, cadmium, mercury, lead and chromium in edible fungi [J]. Occupat Health, 2019, 35(5): 613–617.
[5] GB 5009.268-2016 食品安全标准 食品中多元素的测定[S].
GB 5009.268-2016 National food safety standard-Determination of multi elements in food [S].
[6] 付洁, 孙洪欣, 张敏, 等. 市售食用菌中重金属含量特征及其健康风险评估[J]. 中国食品学报, 2019, 19(6): 230–237.
Fu J, Sun HX, Zhang M, *et al.* Characteristics of heavy metals in edible fungi on the market and health risk assessment [J]. Chin J Food Sci, 2019, 19(6): 230–237.
[7] Giri S, Singh AK. Heavy metals in eggs and chicken and the associated human health risk assessment in the mining areas of Singhbhum copper belt, India [J]. Arch Environ Occupat Health, 2019, 74(4):161–170.
[8] 王燕云, 林承奇, 黄华斌, 等. 厦门市售蔬菜、茶叶重金属含量及健康风险评估[J]. 食品工业, 2018, 39(12): 190–495.
Wang YY, Lin CQ, Huang HB, *et al.* Heavy metal content and health risk assessment of vegetablesand tea sold in Xiamen [J]. Food Ind, 2018, 39(12): 190–495.
[9] Sherif ME, Mona AK, Eman HI. Determination of heavy metal content in whey protein samples from markets in Giza, Egypt, using inductively coupled plasma optical emission spectrometry and graphite furnace atomic

- absorption spectrometry: A probabilistic risk assessment study [J]. J Food Compos Anal, 2019, 84(2): 103300.
- [10] Gong ZS, Yang R, Sun CQ, *et al.* Simultaneous determination of P and S in human serum, blood plasma and whole blood by ICP-MS with collision/reaction cell technology [J]. Int J Mass Spectr, 2019, 445: 116193.
- [11] Yan Y, Zhang CB, Zhang JT, *et al.* Measurement of serum sodium and magnesium by inductively coupled plasma mass spectrometry with aluminum as internal standard [J]. Clin Lab, 2016, 62(4): 719–725.
- [12] 冉俊. 电感耦合等离子体质谱法同时测定渝东南某矿区大米中的 15 种元素[J]. 食品与药品, 2019, 21(5): 387–391.
- Ran J. Simultaneous determination of 15 elements in rice from a mining area in southeast Chongqing by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Food Med, 2019, 21(5): 387–391.
- [13] 程国霞, 聂晓玲, 王彩霞, 等. 电感耦合等离子体质谱法同时测定食品中的 16 种稀土元素[J]. 中国卫生检验杂志, 2015, 25(11): 1749–1753.
- Cheng GX, Nie XL, Wang CX, *et al.* Simultaneous determination of 16 rare earth elements in food by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. Chin J Health Inspect, 2015, 25(11): 1749–1753.
- [14] NY/T 1513-2017 绿色食品畜禽可食用副产品[S].
NY/T 1513-2017 Green food-Edible by-products of livestock and poultry [S].
- [15] 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-Limit of pollutants in food [S].
- [16] 重庆市火锅协会.重庆火锅行业红皮书[Z]. 2014.
Chongqing hotpot Association.Chongqing hotpot industry red book [Z]. 2014.

(责任编辑: 韩晓红)

作者简介



冉 俊, 工程师, 主管药师, 主要研究方向为食品药品安全检测与质量标准。
E-mail: 549752899@qq.com