

2020年北京市售食用菌中重金属含量及健康风险分析

邢仕歌¹, 雍 炜¹, 李永亮², 姚桂红¹, 凌 云¹, 张 峰^{1*}

(1. 中国检验检疫科学研究院 食品安全研究所, 北京 100176;

2. 中国检验检疫科学研究院 综合检测中心, 北京 100123)

摘要: **目的** 检测2020年北京市售食用菌中重金属含量并进行健康风险评测。**方法** 采用随机采样的方法, 选取北京市售常见新鲜食用菌, 采用电感耦合等离子体质谱法对食用菌中重金属砷、镉、铅、汞含量进行检测; 采用靶标危害系数法(target hazard quotient, THQ)评估人体每日通过食用菌摄入重金属所带来的健康风险。**结果** 共采集食用菌样品5类42份, 重金属砷、镉、铅、汞含量均未超过国家标准限量要求, 其中香菇中各种重金属的含量相对较高, 各种重金属在不同种类食用菌中含量差异变化较大; 儿童、成人摄入食用菌中重金属的THQ值和总THQ值依次递减。不同年龄人群膳食摄入食用菌中砷、镉、铅、汞的THQ值均<1。**结论** 本次采集的2020年北京市售食用菌中砷、镉、铅、汞的含量均未超标, 通过膳食途径摄入食用菌中重金属的健康风险较低。

关键词: 重金属; 食用菌; 健康风险; 电感耦合等离子体质谱法

Heavy metals content and human health risks of edible mushrooms sold in Beijing

XING Shi-Ge¹, YONG Wei¹, LI Yong-Liang², YAO Gui-Hong¹, LING Yun¹, ZHANG Feng^{1*}

(1. Institute of Food Safety, Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100176, China; 2. Comprehensive Test Center, Chinese Academy of Inspection and Quarantine, Beijing 100123, China)

ABSTRACT: Objective To detect the content of heavy metals in edible fungi sold in Beijing in 2020 and carry out health risk assessment. **Methods** Random sampling method was adopted, common fresh edible fungi sold in Beijing were selected. The content of heavy metals arsenic, cadmium, lead and mercury in edible fungi were determined by inductively coupled plasma-mass spectrometry. The target hazard quotient (THQ) method was used to evaluate the health risk caused by human daily intake of heavy metals through edible fungi. **Results** A total of 42 samples of 5 types of edible fungi were collected. The content of heavy metals arsenic, cadmium, lead and mercury did not exceed the national standard limit. Among them, the content of various heavy metals in *Lentinus edodes* was relatively high, and the content of various heavy metals in different kinds of edible fungi varied greatly. The THQ value and total THQ value of heavy metals in edible fungi ingested by children and adults decreased in turn. The THQ values of

基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项项目(2016YFF0103305)

Fund: Supported by the National Major Scientific Instruments Development Project (2016YFF0103305)

*通信作者: 张峰, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。E-mail: fengzhang@126.com

*Corresponding author: ZHANG Feng, Ph.D, Professor, Institute of Food Safety, Chinese Academy of Inspection and Quarantine, No.11, Ruohua South Road, Daxing District, Beijing 100176, China. E-mail: fengzhang@126.com

arsenic, cadmium, lead and mercury in edible fungi were less than 1. **Conclusion** The content of arsenic, cadmium, lead and mercury in edible fungi sold in Beijing in 2020 does not exceed the standard, and the health risk of ingesting heavy metals in edible fungi through diet is low.

KEY WORDS: heavy metals; edible mushrooms; health risk; inductively coupled plasma-mass spectrometry

0 引 言

食用菌是多种可食用大型真菌的统称，其营养成分非常丰富，不仅包括蛋白质与多肽类、多糖类等，还含有丰富的矿物质、维生素^[1-2]。食用菌中氨基酸含量较高且种类齐全、均衡，大多数品种都含有人体不能合成的 8 种必需氨基酸^[3-5]。随着社会经济的飞速发展，居民生活水平日益提高，食用菌已发展成为一种非常受欢迎的健康食品^[6-9]。在人们不断追求健康美味和高营养价值的同时，食用菌的安全也越来越受到各界的关注^[10-13]。

研究表明食用菌具有富集重金属的能力，其可以降解含有重金属的有机物，并将它们作为养分吸收^[3]。蓄积的重金属能通过污染的蘑菇进入人体，进而对人类健康构成巨大威胁，导致人们产生严重的健康问题，如失忆、失明和失聪、肾脏损伤和患癌等^[12,14]。因此对市场售卖的食用菌中重金属进行检测和质量安全风险评估具有一定的社会意义和商业价值^[5,15]。

与传统无机分析技术相比，电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma-mass spectrometry, ICP-MS)因具有最低的检出限、最宽的动态线性范围、干扰少、分析精密度高、分析速度快以及检测模式灵活多样等特点，广泛应用于环境、医学、生物、食品等分析领域^[16-18]。ICP-MS 在北京市售蔬菜和食用菌多元素分析的研究中已经有所应用，但是未更深一步进行食用菌的人体健康风险评估。本研究采用 ICP-MS 测定 2020 年北京市售食用菌中 4 种重金属含量，并利用 THQ 指数首次对北京市售食用菌重金属含量进行人体健康风险评价，以期对北京市售食用菌的食品安全风险和人体健康风险评估提供科学依据和基础数据。

1 材料与方 法

1.1 样品采集

随机采集北京市大型连锁超市和农贸市场销售的常见新鲜食用菌 5 类，包括香菇、平菇、花菇、金针菇、杏鲍菇，共采集样品 42 个，用食品袋包装带回实验室处理。

1.2 试剂与仪器

硝酸(65%~68%，国药集团化学试剂有限公司)；环境标准溶液(10 mg/L, JB-696502, 美国安捷伦科技有限公司)。

7800 电感耦合等离子体质谱仪(美国安捷伦科技有限公司)；MARS 6-Onetouch 微波消解仪(美国 CEM 公司)；Milli-Q 纯水仪、KQ-700E 超声清洗器(德国默克公司)。

1.3 实验方法

1.3.1 样品前处理

食用菌样品取可食用部分，用去离子水清洗干净后，粉碎成粉末，过 80 目筛后密封袋密封备用。

称取固体样品 0.5 g (精确至 0.001 g)于微波消解内罐中，加入 5 mL 硝酸，加盖放置 1 h，旋紧罐盖，按照表 1 的条件进行消解。冷却后取出，将消解罐放在超声水浴箱中超声脱气 5 min，用水定容至 50 mL，混匀备用，同时做空白实验。

表 1 消解仪参考条件
Table 1 Parameters of microwave digestion procedure

步骤	控制温度/℃	升温时间/min	恒温时间/min
1	120	5	5
2	150	5	10
3	190	5	20

1.3.2 样品测定

(1)仪器工作条件

射频功率(radio frequency power, RF): 1500 W; 载气流量: 0.99 L/min; 蠕动泵转速: 0.10 r/min; 雾化室温度: 2 ℃; 稀释气体流量: 0.2 L/min; 碰撞气体及流量: 氦气, 4.0 mL/min; 碰撞池八极杆 RF: 200 V。

(2)标准曲线

配制质量浓度为 10、20、50、100 μg/L 的标准溶液:(砷、镉、铅、汞)吸取标准溶液 JB-696502 (10 mg/L) 0.100、0.200、0.500、1.000 mL 于 100 mL 容量瓶中，用 5%硝酸定容至刻度摇匀。

配制质量浓度为 0、0.5、1、2、5 μg/L 的标准溶液: 分别吸取质量浓度为 100 μg/L 的标准溶液 0.000、0.500、1.000、2.000、5.000 mL 于 100 mL 容量瓶中，用 5%硝酸定容至刻度摇匀。

1.3.3 人体健康风险评估方法

采用靶标危害系数法(target hazard quotients, THQ)^[19-21]，选取现有的适合我国人群的暴露参数进行健康风险评价，评估人体每日通过食用菌摄入重金属所带来的健康风险，计算如公式(1):

$THQ_i=(ER_i \times ED_i \times F_{IR} \times C_i \times 10^{-3}) / (RfD_i \times W_{AB} \times T_A)$ (1)
式中各参数和取值见表 2。单金属靶标危害系 $THQ_i \leq 1$ 表明通过食用菌进入人体的重金属 i 风险较低, 对人体造成的影响不明显; $THQ_i > 1$ 表明通过食用菌进入人体的重金属 i 风险较高, 可能影响人体健康, 且数值越大健康风险越高。多金属靶标危害系数 THQ_{Total} 则表示多种重金属复合污染导致的潜在健康风险, $THQ_{Total} > 1$ 表明食用菌中多种重金属复合污染通过膳食途径对人体健康风险较高。

1.3.4 数据处理

实验结果以平均值±标准差表示, 数据使用 Excel 统计分析软件对 5 类食用菌各重金属含量进行分析, 图表使用 Origin 8.5 软件制成。

2 结果与分析

2.1 线性范围及检出限

考虑待测样品中各元素的含量情况, 选用适宜的线

性范围为标准曲线范围, 其线性相关系数 r^2 均大于 0.999。线性关系和定量限(10 倍信噪比)的测定结果见表 3。由结果可知, 该方法线性关系良好, 相关系数较高, 灵敏度好, 可以满足 GB 2762—2017《食品安全国家标准 食品中污染物限量》中对食用菌中金属砷(As) 0.5 mg/kg、镉(Cd) 0.2 mg/kg、铅(Pb) 1 mg/kg、汞(Hg) 0.1 mg/kg 的限量要求, 能够对本研究中的蘑菇进行有效分析并且评估其重金属残留对人体的健康风险。

2.2 不同食用菌中重金属含量分析

如表 4 所示, 4 种重金属在食用菌中平均含量差异较大, 其中 As 的平均含量最高, Hg 的平均含量最低; 每种重金属含量变化范围较宽, 变异系数均超过了 100%, 表现为 $Cd > As > Hg > Pb$ 。说明不同食用菌对同种重金属的富集能力不同, 与文献报道结果一致^[6,22-23]。此外, 各种食用菌的栽培技术和生长环境不同也可能是导致金属含量差异较大的原因。

表 2 食用菌重金属 THQ 评估一览表
Table 2 Evaluation parameter summary table of THQ for heavy metals in edible fungi

参数	名称	数值	说明
THQ_i	重金属 i 的目标风险系数		
ER_i	重金属 i 的暴露频率	365	365 d/年
$ED_i/year$	重金属 i 的暴露持久性	成人=30 儿童=7	[16-17]
$F_{IR}/(g/d)$	日均食用菌摄入量	成人=24.5 儿童=18.7	[18]
$C_i/(mg/kg)$	食用菌可食部分重金属 i 含量	GB 2762—2017	本实验测量结果
$RfD_i/[mg/(kg \cdot d)]$	重金属 i 在蔬菜中的参考剂量	$RfD(As)=0.0003$ $RfD(Cd)=0.00083$ $RfD(Pb)=0.0035$ $RfD(Hg)=0.00057$	[3]
W_{AB}/kg	人体平均体重	成人=63.45 儿童=25.6	[18]

注: F_{IR} 为估计值, 假设食用菌摄入量占蔬菜摄入量的 10%。

表 3 重金属含量分析方法的线性关系和定量限
Table 3 Linear relationships and limits of quantification of analytical methods for heavy metals

元素种类	定量限/(mg/kg)	线性范围/(mg/kg)	线性方程	相关系数(r^2)
As	0.0100	0~20	$Y=0.0099X+1.7485 \times 10^{-5}$	0.9997
Cd	0.0030	0~20	$Y=0.0014X+0.0000$	0.9999
Pb	0.0500	0~20	$Y=0.0066X+2.2740 \times 10^{-4}$	0.9997
Hg	0.0100	0~3	$Y=8.81391 \times 10^{-4}X+0.0000$	0.9997

表 4 食用菌中重金属含量分析
Table 4 Analysis of heavy metal content in edible fungi

重金属	$\bar{x} \pm S /(\text{mg/kg})$	范围/(mg/kg)	变异系数/%
As	0.061±0.089	ND~0.276	145.87
Cd	0.040±0.077	ND~0.450	191.53
Pb	0.022±0.026	ND~0.081	117.90
Hg	0.005±0.007	ND~0.029	133.61

注: ND 表示低于检出限(3 倍信噪比)。

对比不同种类食用菌样品中元素含量水平可知,如表 5 所示,As、Cd、Pb、Hg 在香菇、平菇、花菇、金针菇、杏鲍菇 5 种食用菌中含量的平均值差异较大,其中香菇中各项重金属的含量均最高,金针菇和杏鲍菇中各重金属的

平均含量相对较低。香菇中 As 含量是杏鲍菇的 24 倍, Cd 含量是金针菇的 80 倍。进一步说明了不同种类的食用菌对同种重金属的富集能力存在很大差异。这种差异除了来源于菌种的特异性,还可能受到栽培方式、栽培介质的影响,如香菇属于木腐菌,其栽培原料中木屑含量为 70%左右,再添加一定比例的麸皮,石膏等原料;杏鲍菇的栽培原料主要则以棉籽壳为主料。另外,通过与 GB 2762—2017 中对食用菌中常见重金属 Pb、Cd、Hg、As 的限量规定对比,5 种食用菌中 4 种重金属的平均含量均未超过国家限量标准。结果表明,虽然几种食用菌中检测出一定浓度的重金属元素,但几乎不存在安全风险。

从变异系数分析,如表 5 和图 1 所示,各种重金属在不同食用菌中变异系数均不相同,其中香菇和花菇中各种重金属的变异系数相对较高。这可能与这 2 种菇类的实体一般比较大,水分变化差异较大有关。

表 5 5 种食用菌中重金属的含量分析
Table 5 Analysis of heavy metal content in 5 kinds of edible fungi

重金属	种类	$\bar{x} \pm S /(\text{mg/kg})$	范围/(mg/kg)
As	香菇	0.144±0.107	0.014~0.261
	平菇	0.023±0.014	0.008~0.043
	花菇	0.038±0.032	0.015~0.085
	金针菇	0.009±0.004	0.007~0.021
	杏鲍菇	0.006±0.004	ND~0.013
Cd	香菇	0.080±0.107	0.019~0.095
	平菇	0.006±0.006	ND~0.013
	花菇	0.057±0.062	0.018~0.149
	金针菇	0.001±0.001	ND~0.003
	杏鲍菇	0.007±0.003	0.003~0.011
Pb	香菇	0.043±0.031	ND~0.081
	平菇	ND	ND
	花菇	0.011±0.008	ND~0.023
	金针菇	ND	ND
	杏鲍菇	ND	ND
Hg	香菇	0.011±0.009	ND~0.029
	平菇	ND	ND
	花菇	0.004±0.004	ND~0.010
	金针菇	ND	ND
	杏鲍菇	ND	ND

注: ND 表示低于检出限(3 倍信噪比);“-”表示无。

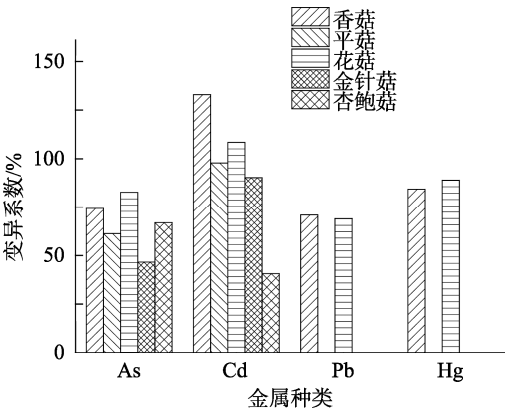


图 1 5 种食用菌中不同重金属含量的变异系数
Fig.1 Coefficient of variation of heavy metal content in 5 kinds of edible fungi

2.3 食用菌重金属健康风险

由表 6 可知, 香菇样品的健康风险指数最高, 杏鲍菇的健康风险指数相对较低, 成年人、儿童摄入食用菌中重金属的 THQ 值和 THQ_{Total} 值呈递增关系, 说明儿童的暴露风险略高于成人; 不同年龄人群膳食摄入食用菌中的 THQ 值和 THQ_{Total} 值均小于 1, 表明尽管部分样品含有一定量的金属元素, 但由于摄入量、肠胃消化等因素影响, 重金属通过食用菌进入人体的风险较低, 对人体健康造成的影响不明显。本研究中仅考虑了重金属经食用菌摄入的暴露途径, 未考虑其他有毒物质和暴露途径, 因此实际上可能低估了重金属暴露的风险。

3 结论与讨论

本研究采用电感耦合等离子体质谱法测定北京市售食用菌中 4 种重金属含量, 采用标准工作曲线, 一次进样, 可同时快速准确灵敏地测定多种元素。检测结果显示本次采集的 2020 年北京市售食用菌中砷、镉、铅、汞的含量均未超标。比对分析数据表明, 香菇中重金属的总体平均含量最高, 不同种类食用菌中重金属含量差异较大, 且变异系数较高, 说明不同食用菌富集重金属的能力具有很大差异, 这可能与食用菌种植环境中重金属污染水平及食用菌本身的生理特征有关。由于样品采集于不同时间和不同的经销渠道, 也可能产生结果含量分布差异。

靶标危害系数法分析结果显示, 儿童和成年人通过膳食途径摄入食用菌中重金属的健康风险均较低。和其他重金属相比, 砷的 THQ 值在香菇、平菇和金针菇中均最高, 提示需重点监控市售食用菌中砷的污染。通过食用同种食用菌摄入的重金属, 儿童的 THQ 值和 THQ_{Total} 值均明显高于成人, 可能与儿童仍处于生长发育期, 肝肾等代谢器官发育不健全, 对重金属更为敏感有关。

综上所述, 本次采样的样品中重金属含量均未超标, 通过膳食途径摄入重金属的风险较低。食用菌中的砷含量总体不高, 但是其导致的健康风险占比较高, 提示对于食用菌栽培过程中的底料和环境中的砷污染仍应保持监控和治理。该研究将为食用菌深加工产品研发和质量安全性评价提供科学理论依据。

表 6 食用菌样品健康风险评估
Table 6 Health risk assessment in edible fungi samples

样品	成人					儿童				
	THQ _{As}	THQ _{Cd}	THQ _{Pb}	THQ _{Hg}	THQ _{Total}	THQ _{As}	THQ _{Cd}	THQ _{Pb}	THQ _{Hg}	THQ _{Total}
香菇	0.2678	0.0540	0.0069	0.0103	0.3390	0.4169	0.0841	0.0108	0.0161	0.5278
平菇	0.0432	0.0040	ND	ND	0.0472	0.0672	0.0076	ND	ND	0.0734
花菇	0.0717	0.0384	0.0018	0.0042	0.1162	0.1117	0.0598	0.0028	0.0066	0.1809
金针菇	0.1755	0.0007	ND	ND	0.1762	0.2733	0.0090	ND	ND	0.2743
杏鲍菇	0.0119	0.0050	ND	ND	0.0167	0.0185	0.0078	ND	ND	0.0260

注: ND 表示低于检出限(3 倍信噪比)。

参考文献

[1] 贾身茂, 秦森, 刘桂娟, 等. 近代报刊中有关食用菌营养成分之研究报告[J]. 食药菌, 2021, 29(1): 82–84.
JIA SM, QIN M, LIU GJ, et al. The research report on the nutritive composition of mushroom in modern press [J]. Edible Med Mushroom, 2021, 29(1): 82–84.

[2] EDITH, NF, ELIAS, et al. Pleurotus florida aqueous extracts and powder influence lipid profile and suppress weight gain in rats fed high cholesterol diet [J]. J Nutr Food Sci, 2016, 6(2): 1–7.

[3] DURU, ME, CAVDAR, et al. Minerals and metals in mushroom species in Anatolia [J]. Food Addit Contam Part B Surveill, 2014, 7(3): 226–231.

[4] 李丽. 食用菌的营养成分和活性研究进展[J]. 食品研究与开发, 2015, (12): 139–142.
LI L. Development of effective component and activity of edible mushroom [J]. Food Res Dev, 2015, (12): 139–142.

[5] 吴莹莹, 鲍大鹏, 李燕, 等. 蟹味菇和白玉菇的蛋白质及氨基酸营养评价与分析[J]. 上海农业学报, 2021, 37(1): 13–21.

- WU YY, BAO DP, LI Y, *et al.* Evaluation and analysis of protein and amino acid nutrition of buna-shimeji and bunapi-shimeji [J]. *Acta Agric Shanghai*, 2021, 37(1): 13–21.
- [6] 高媛. 典型野生食用菌重金属含量及其人体健康风险评估[J]. *环境化学*, 2021, 40(1): 223–231.
- GAO Y. Heavy metals contents and human health risks of typical wild edible mushrooms [J]. *Environ Chem*, 2021, 40(1): 223–231.
- [7] CHUNGU D, MWANZA A, NG'ANDWE, *et al.* Variation of heavy metal contamination between mushroom species in the Copperbelt province, Zambia; are the people at risk? [J]. *J Sci Food Agric*, 2019, 99(7): 3410–3416.
- [8] WANG X, LIU H, JI Z, *et al.* Evaluation of heavy metal concentrations of edible wild-grown mushrooms from China [J]. *J Environ Sci Heal B*, 2017, 52(3): 178–183.
- [9] KESKIN, SARK RKC, AKATA, *et al.* Metal concentrations of wild mushroom species collected from Belgrad forest (Istanbul, Turkey) with their health risk assessments [J]. *Environ Sci Pollut R*, 2021. DOI: 10.1007/s11356-021-13235-8
- [10] 许欣欣, 陈春晓, 仲岳桐, 等. 超高效液相色谱-串联质谱法测定毒蘑菇中5种强毒性蘑菇毒素含量[J]. *食品安全质量检测学报*, 2020, 11(19): 6936–6941.
- XU XX, CHEN CX, ZHONG YT, *et al.* Determination of 5 kinds of virulent mushroom toxins in poisonous mushroom by ultra performance liquid chromatography tandem mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2020, 11(19): 6936–6941.
- [11] 郎乐, 王庆峰, 刘斌. 超高效液相色谱-串联质谱法测定野生蘑菇中的6种鹅膏蕈类毒素[J]. *食品安全质量检测学报*, 2019, 10(6): 1506–1510.
- LANG L, WANG QF, LIU B. Determination of 6 kinds of amatoxins and phallotoxins in wild mushrooms by ultra performance liquid chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2019, 10(6): 1506–1510.
- [12] FALANDYSZ J, CHUDZIŃSKA M, BARAŁKIEWICZ D, *et al.* Toxic elements and bio-metals in *Cantharellus* mushrooms from Poland and China [J]. *Environ Sci Pollut R*, 2017, 24(12): 11472–11482.
- [13] PATOCKA J. Toxic metabolite profiling of *Inocybe virosa* [J]. *Int J Mol Sci*, 2021, 22(4): 2218.
- [14] GUISSOU K, YOROU NS, SANKARA P, *et al.* Assessing the toxicity level of some useful mushrooms of Burkina Faso (west Africa) [J]. *J Appl Biosci*, 2015, 85(1): 7784.
- [15] 李梦莹, 王坤, 保欣晨, 等. 云南野生牛肝菌中重金属的生物有效性及健康风险评估[J]. *食品科学*, 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210322.1123.004.html>
- LI MY, WANG K, BAO XC, *et al.* Human health risk assessment and toxic effects of heavy metals in wild dried Boletus in Yunnan [J]. *Food Sci*, 2021. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2206.TS.20210322.1123.004.html>
- [16] 雍炜, 刘健, 邢仕歌, 等. 醋蒜加工过程中有机酸和矿质元素的变化规律研究[J]. *食品安全质量检测学报*, 2018, 9(24): 6460–6464.
- YONG W, LIU J, XING SG, *et al.* Change rules of organic acids and mineral elements in the vinegar garlic processing [J]. *J Food Saf Qual*, 2018, 9(24): 6460–6464.
- [17] 胡桂霞, 曹美萍, 张燕峰. 电感耦合等离子体质谱法测定大米中总砷、镉和铅含量的不确定度评估[J]. *食品安全质量检测学报*, 2021, 12(6): 2098–2104.
- HU GX, CAO MP, ZHANG YF. Uncertainty evaluation for determination of total arsenic, cadmium and lead content in rice by inductively coupled plasma mass spectrometry [J]. *J Food Saf Qual*, 2021, 12(6): 2098–2104.
- [18] KAMAR V. Determination of heavy metals in almonds and mistletoe as a parasite growing on the almond tree using ICP-OES or ICP-MS [J]. *Biol Trace Elem Res*, 2018, 185(1): 226–235.
- [19] EPA. Risk based concentration table [M]. Philadelphia: United States Environmental Protection Agency, 2017.
- [20] 徐明芳, 岳甜, 傅利军, 等. 微波消解-电感耦合等离子体-质谱法同步检测白玉菇中Pb, As, Cd及其健康风险评估[J]. *食品科学*, 2020, 41(24): 342–348.
- XU MF, YUE T, FU LJ, *et al.* Simultaneous determination of Pb, As, and Cd in white hypsizygus marmoreus by microwave digestion-inductively coupled plasma-mass spectrometry and health risk assessment [J]. *Food Sci*, 2020, 41(24): 342–348.
- [21] DEMKOV L. Mercury content in three edible wild-growing mushroom species from different environmentally loaded areas in Slovakia: An ecological and human health risk assessment [J]. *J Fungi (Basel)*, 2021, 7(6): 434.
- [22] 贾彦龙. 贵阳主要城区市售食用菌中重金属污染与健康风险评估[J]. *地球与环境*, 2021. DOI: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2021.49.033
- JIA YL. Risk assessment of toxic metals in edible mushrooms collected from urban markets in Guiyang city [J]. *Earth Env*, 2021. DOI: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2021.49.033
- [23] FU Z. Assessment of potential human health risk of trace element in wild edible mushroom species collected from Yunnan province, China [J]. *Environ Sci Pollut Res Int*, 2020, 27(23): 29218–29227.

(责任编辑: 于梦娇 张晓寒)

作者简介



邢仕歌, 博士, 副研究员, 主要研究方向为食品安全快检技术。
E-mail: xshgzm@163.com



张峰, 博士, 研究员, 主要研究方向为食品质量与安全。
E-mail: fengzhang@126.com