

北京市售干食用菌中重金属特征分析及健康风险评价

李冰茹¹, 张全刚², 姚真真¹, 何昭颖¹, 高媛¹, 王北洪¹, 赵芳¹, 李杨¹, 马智宏¹

(1. 北京农业质量标准与检测技术研究中心, 农业农村部农产品质量安全风险评估实验室, 北京 100097)

(2. 北京市首发天人生态景观有限公司, 北京 102600)

摘要: 测定了北京市售 8 种干食用菌中镉 (Cd)、铅 (Pb)、砷 (As)、汞 (Hg) 四种重金属含量, 并利用内梅罗综合污染指数 (p) 评价法和计算目标危害系数 (THQ) 法对干食用菌质量等级及重金属膳食暴露风险进行了评价。结果表明, 8 种干食用菌中镉、铅、砷、汞四种重金属含量范围分别为 ND~9.332 mg/kg、ND~2.060 mg/kg、ND~24.690 mg/kg、0.004~0.448 mg/kg, 大部分重金属含量均低于国标中安全限量值, 只有 2.2% 的镉和 2.8% 的砷超标。干食用菌重金属内梅罗综合污染指数表明, 姬松茸的重金属污染最严重 (p 为 1.41), 达到轻度污染级, 茶树菇的重金属污染达到警戒级 (p 为 0.95), 其他 6 种食用菌均属于质量安全等级。重金属膳食暴露风险结果表明, 姬松茸中 As 的 THQ > 1, 姬松茸、榛蘑、竹荪中四种重金属的 TTHQ > 1, 表明姬松茸、榛蘑、竹荪三种干食用菌存在潜在的重金属膳食暴露风险, 且姬松茸对镉、铅、汞三种重金属的贡献率均最大。本研究表明, 北京市售 8 种干食用菌总体水平是安全的, 重金属膳食暴露风险水平较低。

关键词: 干食用菌, 重金属, 风险评估, 计算目标危害系数, 内梅罗综合污染指数

文章编号: 1673-9078(2020)12-293-299

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2020.12.0587

Analysis of Heavy Metals in Dried Edible Fungi Commercially Available in Beijing and Assessment of Health Risks via Consumption

LI Bing-ru¹, ZHANG Quan-gang², YAO Zhen-zhen¹, HE Zhao-ying¹, GAO Yuan¹, WANG Bei-hong¹, ZHAO Fang¹, LI Yang¹, MA Zhi-hong¹

(1. Beijing Research Center for Agricultural Standards and Testing, Risk Assessment Lab for Agro-products, Ministry of Agriculture, Beijing 100097, China)(2. Beijing Shoufa Tianren Ecological Landscape Co. Ltd., 102600, China)

Abstract: The concentrations of 4 heavy metals Cd, Pb, As and Hg in eight kinds of dried edible fungi commercially available in Beijing were determined, and the potential health risks to the Beijing local residents via consumption of edible fungi were analyzed based on the Nemorow complex pollution index (p) and target hazard quotients (THQ). The results showed that the concentrations of Cd, Pb, As and Hg in edible fungi were ND~9.332 mg/kg, ND~2.060 mg/kg, ND~24.690 mg/kg, 0.004~0.448 mg/kg, respectively. Most of the heavy metals in edible fungi were below the threshold levels of China quality standard for edible fungi, while the over-standard rates were 2.2%, 2.8% for Cd, As, respectively. The *Agaricus blazeimuril* is the most severely polluted edible fungi by heavy metals with p value of 1.41 (mild pollution level), and the p value of *Agrocybe cylindracea* is 0.95, reaching the food safety alert level, while the other six kinds of dried edible fungi were at safety level. The results of health risks associated with heavy metal were found that the THQ values of *Agaricus blazeimuril* for As and the TTHQ values of *Agaricus blazeimuril*, *Armillaria mellea*, and *Dictyophora indusiate* for 4 heavy metals were all higher than 1. It was indicated that the

引文格式:

李冰茹, 张全刚, 姚真真, 等. 北京市售干食用菌中重金属特征分析及健康风险评价[J]. 现代食品科技, 2020, 36(12): 293-299

LI Bing-ru, ZHANG Quan-gang, YAO Zhen-zhen, et al. Analysis of heavy metals in dried edible fungi commercially available in Beijing and assessment of health risks via consumption [J]. Modern Food Science and Technology, 2020, 36(12): 293-299

收稿日期: 2020-06-25

基金项目: 国家农产品质量安全风险评估重大专项 (GJFP2019016); 北京市农林科学院创新建设项目 (KJ CX20170419; KJ CX20200302)

作者简介: 李冰茹 (1979-), 女, 高级工程师, 研究方向: 农产品质量检测及污染评价

通讯作者: 马智宏 (1970-), 女, 博士, 研究员, 研究方向: 农田环境有害物质预警、农产品质量以及植物生理生化

local inhabitants were faced with potential health risk in some extent by ingesting heavy metals via consumption of these edible fungi, and *Agaricus blazeimuril* made more contribution to the Cd, Pb Hg. The above results showed that the dried edible fungi commercially available in Beijing were generally safe with low heavy metals exposure risk to the local population through consumption.

Key words: dried edible fungi; heavy metal; risk evaluation; target hazard quotients; Nemow complex pollution index

食品质量安全关系国计民生。2019 年中央一号文件提出“实施农产品质量安全保障工程，健全监管体系、监测体系、追溯体系”，明确要求建立餐桌食品安全技术体系，推进食品安全监测和评估。北京市各类农产品大都为外埠供给，因此，监测北京市售农产品中污染物含量，并对污染物的安全风险进行必要的评估很有必要，可以为首都人民餐桌食品质量安全的防控提供最直接的科学数据支撑。

食用菌味美营养，富含各种氨基酸、蛋白质、真菌多糖等生理活性物质，具有高蛋白、低脂肪、低胆固醇的营养价值和药用价值，是倍受消费者追捧的保健品^[1]。但有研究表明食用菌对重金属具有较强的富集能力且具有生物转化特点^[2,3]，其重金属含量要高于粮食和蔬菜等植物性食品，甚至也可能高于动物性食品，因此这也是对食用菌中重金属含量进行重点检测评估的原因之一。重金属的主要膳食危害就是通过人体直接摄入后对身体健康产生危害^[4,5]，因此食用菌的食用安全及其危害评估也受到高度关注，对于常见食用菌的重金属耐受与富集特点^[2]、食用菌中重金属含量的测定及健康风险评估^[3,6]深入研究与分析受到学术界的高度重视。

本研究测定了 8 种北京市售干食用菌的镉、铅、砷、汞四种重金属含量，对食用菌质量等级及重金属膳食摄入风险进行了评估分析，目的是摸清北京市场食用菌的质量状况以及水平，为北京市场销售食用菌质量安全风险研究及科学引导百姓安全消费提供数据支撑。

1 材料与方法

1.1 材料与试剂

氢氧化钾、硼氢化钾、盐酸均为分析纯，北京化工有限公司；镉、铅、砷、汞标准溶液（1000 μg/mL），购自钢铁研究总院分析测试研究所；硝酸（优级纯），德国默克公司；质谱调谐液，PerkinElmer 公司，高纯氦气，所用水为超纯水≥18.2 MΩ·cm。

1.2 仪器与试剂

原子荧光光度计 LFS9650，海光仪器公司；ICP-MSNEXION350，德国珀金埃尔默公司；电子天

平 XS205DU/220 g 梅特勒-托利多国际贸易（上海）有限公司；微波消解仪 Multiwave PRO，安东帕；粉碎机 A11 basic，德国艾卡集团。

1.3 样品采集

选取本地区不同农贸市场、超市为采样点，采取随机采样的方法，共采集茶树菇、木耳、猴头菇、滑子菇、姬松茸、羊肚菌、榛蘑和竹荪等 8 种市售食用菌 172 份。样品采集后至使用前存放在聚乙烯塑料袋中保存，避免交叉污染。

1.4 样品制备

将食用菌样品置于电热恒温鼓风干燥箱内，60℃干燥至恒重，冷却后取出，然后用不锈钢粉碎机将样品粉碎、过筛（40 目）备用。

准确称取 0.2000 g 样品于微波消解罐中，加入 10 mL 优级纯浓硝酸，采用微波消解仪消解，赶酸近干时冷却，并转移至 25 mL 的玻璃刻度管中，用 2% 的硝酸定容后待 ICP-MS 测定镉、铅和砷重金属，用 10% 的盐酸定容后待 AFS 测定汞重金属。

所有玻璃器皿均需 30% HNO₃ 溶液浸泡 24 h，超纯水冲洗净、烘干后备用。

1.5 检测方法

依据 GB 5009.268-2016 和 GB 5009.17-2014 等国家标准对重金属镉、铅、汞、砷进行测定；食用菌中重金属限量值参照 GB 2762-2017，其中镉、铅、砷、汞四种重金属的检出限、限量值、参照标准等信息如表 1 所示。

表 1 国标方法及相关指标

Table 1 The testing methods and indicators in GB

项目	Cd/(mg/kg)	Pb/(mg/kg)	As/(mg/kg)	Hg/(mg/kg)
限量值	0.50	1.00	0.50	0.1
检出限	0.002	0.009	0.002	0.003
检测方法	ICP-MS	ICP-MS	ICP-MS	AFS
参照标准	GB 5009.268-2016			GB5009.17-2014

1.6 评价方法

1.6.1 内梅罗综合污染指数（*p*）法

食用菌重金属单项污染指数评价依据 NY/T

398-2000《农、畜、水产品污染监测技术规范》，采用单项因子污染指数法评价食用菌中单一重金属的污染程度，并根据单项重金属污染指数评定食用菌的等级。

$$p_i=C_i/S_i$$
 (1)

式中： p_i 为食用菌中重金属*i*的单项污染指数，反映重金属*i*的污染程度； C_i 为食用菌中重金属*i*的实测数据； S_i 为食用菌中重金属*i*的限量值。

依照内梅罗计算公式（2）计算综合指数值：

$$p=\sqrt{\frac{p_{MAX_i}^2+p^2}{2}}$$
 (2)

式中： p 为综合评分值， $PMAX_i$ 为一组最大的单项污染指数值， $\bar{p}$ 为一组单项污染指数值的平均值。由内梅罗综合指数划分为5个等级： $p\leq0.7$ 属于安全等级， $0.7<p\leq1.0$ 属于警戒限， $1.0<p\leq2.0$ 属于轻度污染， $2.0<p\leq3.0$ 属于中度污染， $p>3.0$ 属于重度污染^[6]。

1.6.2 计算目标危害系数（THQ_i、TTHQ）法

采用 THQ_i 评价单一重金属膳食暴露风险。其计算方法如下公式（3）：

$$THQ_i=\frac{E_F\times E_D\times F_{IR}\times C_i}{R_{Fdi}\times W\times T}$$
 (3)

式中： E_F 为暴露频率（d/年）； E_D 为暴露持久性（年）； F_{IR} 为每人每天食用菌平均摄入量（kg）； C_i 为食用菌样品中检出的重金属的平均值或者最大值（mg/kg）； R_{Fdi} 为每人每天每公斤体重非致癌口服参考剂量（mg/kg d），即人终生持续暴露在该剂量水平污染物环境下，而不会发生非致癌有害效应的剂量； W 为平均体重/kg； T 为非致癌性暴露的平均时间（d）。

该方法假定污染物吸收剂量等于摄入量，以测定的污染物人体摄入量与参考剂量的比值作为评价标准，如果 $THQ_i<1$ ，则说明暴露人群没有明显的膳食摄入健康风险；如果 $THQ_i>1$ ，则说明相关暴露人群就会有膳食摄入健康风险。 THQ_i 值越大，表明该污染物对人体健康风险越大^[7]。

采用 TTHQ 评价多种重金属复合风险，其中 TTHQ 为多种重金属 THQ_i 之和，如果 $TTHQ\leq1.0$ ，则表明对暴露人群无明显健康风险； $1.0<TTHQ<10.0$ ，则表明对暴露人群有一定的健康风险； $TTHQ\geq10.0$ ，则表明对暴露人群有较大的健康风险。

$$TTHQ=\sum_{i=1}^n THQ_i$$
 (4)

1.7 数据处理

本实验利用 SPSS 17.0 进行数据分析和制图。

2 结果与分析

2.1 镉、铅、砷、汞的总体含量分析

表 2 干食用菌中镉、铅、砷、汞含量

Table 2 Average contents of heavy metals in dried edible fungi

项目	Cd	Pb	As	Hg
范围/(mg/kg)	ND~9.33	ND~2.06	ND~24.69	0.01~0.45
平均值/(mg/kg)	0.36	0.32	0.62	0.03
标准偏差	1.1	0.4	2.7	0.1
变异系数	304	120	437	228
检出率/%	98.91	98.32	98.90	100.00
超标率/%	2.20	0.00	2.80	0.00

注：ND 表示未检出。

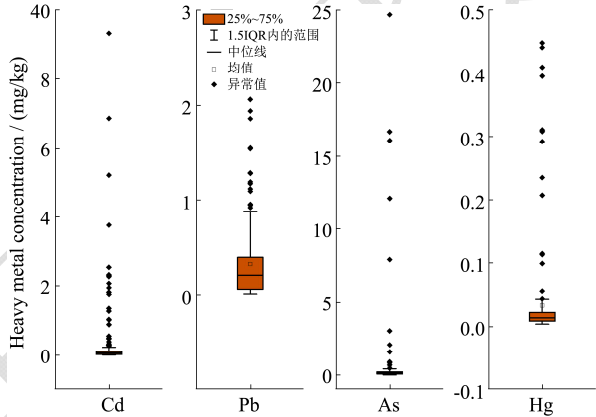


图 1 干食用菌中重金属含量盒须图

Fig.1 Box-and-whisker plot of heavy metals contents in dried edible fungi

表 3 干食用菌中重金属含量的百分位数

Table 3 Percentiles of heavy metals contents which converted from dried edible fungi

重金属/(mg/kg)	百分位数/%						
	5	10	25	50	75	90	95
Cd	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.15	0.34
加权平均 Pb	0.00	0.01	0.01	0.03	0.06	0.13	0.18
As	0.00	0.00	0.01	0.02	0.03	0.05	0.24
Hg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03

北京市售 8 种干食用菌中镉、铅、砷、汞含量及分析结果如表 2 所示。从表 2 中可以看出，不同种类重金属在不同食用菌中含量差异较大，如汞的平均含量为 0.03 mg/kg，镉的平均含量为 0.36 mg/kg，砷的平均含量为 0.62 mg/kg；8 种干食用菌中镉、铅、砷、汞四种重金属的检出率均较高，分别为 98.90%、98.30%、98.90%、100.00%。参照 GB2762-2017 的方法，按照食用菌 85% 的平均缩水率将测定的干食用菌重金属含量折算成鲜食用菌的重金属含量^[8]，并计算得到镉、铅、砷、汞四种重金属的超标率分别为 2.20%、0.00%、2.70%、0.00%，该结果表明北京市售 8 种干

食用菌中镉、铅、砷、汞四种重金属超标率较低, 整体安全, 可以安全食用。

此外, 从市售干食用菌中重金属含量的盒须图(图1)中可以看出, 干食用菌中重金属含量值绝大部分均在盒须图中(75百分位数和25百分位数之间), 只有非常少的样本重金属测定数值偏离较远, 这可能是因个别样品受到严重污染(栽培环境条件、栽培原料、加工过程等因素的影响)而造成的数据差异性较大。

从四种重金属含量(以鲜重计)的百分位数表3中可以看出, 镉、铅、砷、汞的95百分位数分别是0.34、0.18、0.24、0.03 mg/kg, 均低于我国国标中规定的食用菌重金属含量安全限量值, 也说明北京市售干食用菌镉、铅、砷、汞四种重金属的含量水平整体上是安全的。

2.2 不同食用菌中镉、铅、砷、汞的含量结果

表4 不同干食用菌中镉、铅、砷、汞的含量结果

Table 4 The contents of cadmium, lead, arsenic and mercury in dried edible fungi

菌类	指标	Cd	Pb	As	Hg
茶树菇	范围/(mg/kg)	ND~6.87	ND~1.94	ND~24.69	0.01~0.44
	平均值/(mg/kg)	0.20	0.26	0.82	0.03
	标准偏差	0.90	0.40	3.50	0.10
	变异系数/%	480.00	160.00	428.00	240.00
木耳	范围/(mg/kg)	0.03~0.33	0.14~0.79	0.07~0.34	0.01~0.03
	平均值/(mg/kg)	0.10	0.32	0.18	0.01
	标准偏差	0.00	0.20	0.10	0.00
	变异系数/%	45.00	47.00	37.00	41.00
猴头菇	范围/(mg/kg)	0.01~0.07	0.03~0.19	0.01~0.03	0.004~0.01
	平均值/(mg/kg)	0.04	0.07	0.01	0.01
	标准偏差	0.00	0.00	0.00	0.00
	变异系数/%	70.00	66.00	75.00	39.00
滑子菇	范围/(mg/kg)	0.22~0.55	0.11~1.19	0.12~0.23	0.01~0.03
	平均值/(mg/kg)	0.38	0.34	0.18	0.02
	标准偏差	0.10	0.40	0.10	0.00
	变异系数/%	36.00	126.00	25.00	31.00
姬松茸	范围/(mg/kg)	1.76~9.33	0.39~1.12	1.58~16.09	0.29~0.45
	平均值/(mg/kg)	4.30	0.71	6.58	0.35
	标准偏差	4.40	0.40	8.20	0.10
	变异系数/%	101.00	52.00	125.00	24.00
肚菌	范围/(mg/kg)	0.89~2.27	0.06~2.06	0.21~0.82	0.02~0.03
	平均值/(mg/kg)	1.24	0.92	0.43	0.02
	标准偏差	0.50	0.70	0.30	0.00
	变异系数/%	43.00	79.00	61.00	20.00
榛蘑	范围/(mg/kg)	1.94~2.54	0.43~1.55	0.13~3.02	0.02~0.04
	平均值/(mg/kg)	2.28	0.80	0.88	0.03
	标准偏差	0.30	0.50	1.40	0.00
	变异系数/%	11.00	63.00	162.00	29.00
竹荪	范围/(mg/kg)	2.07~3.76	0.14~0.95	0.18~0.89	0.10~0.21
	平均值/(mg/kg)	2.71	0.50	0.44	0.14
	标准偏差	0.90	0.40	0.40	0.10
	变异系数/%	34.00	83.00	90.00	42.00

不同干食用菌中重金属含量及分析结果见表 4。从数据分析结果可以看出,茶树菇(镉含量范围为 ND~6.87 mg/kg)、姬松茸(镉含量范围为 1.76~9.33 mg/kg)和竹荪(镉含量范围为 2.07~3.76 mg/kg)中存在重金属镉超标情况,这也与镉重金属易被食用菌富集研究结论一致^[8-10];茶树菇(砷含量范围为 ND~24.69 mg/kg)和姬松茸(砷含量范围为 1.58~16.10 mg/kg)样品中存在重金属砷超标情况。8 种市售干食用菌重金属铅的含量范围为 0.07~0.92 mg/kg,汞的含量范围为 0.01~0.44 mg/kg,均在国标中规定的食用菌重金属含量安全限量值以下,均不超标。

从表 4 中可以看出,干食用菌中平均镉含量为姬松茸>竹荪>榛蘑>羊肚菌>滑子菇>茶树菇>木耳>猴头菇,平均铅含量为羊肚菌>榛蘑>姬松茸>竹荪>猴头菇>木耳>茶树菇>猴头菇,平均砷含量为姬松茸>榛蘑>茶树菇>竹荪>羊肚菌>木耳>滑子菇>猴头菇,平均汞含量为姬松茸>竹荪>榛蘑>茶树菇>羊肚菌>滑子菇>木耳>猴头菇。由此可以,不同的食用菌对同种重金属的富集量存在明显差异,如姬松茸与木耳对镉的富集能力、茶树菇与猴头菇对砷的富集能力等。不同的食用菌对重金属的富集能力存在差异,这可能与菌种富集重金属的能力和菌种的生长环境等因素有关^[11]。各种食用菌的汞含量均较低(含量范围在 0.004~0.45 mg/kg 之间),说明各种食用菌对汞的富集能力较弱;猴头菇中各种重金属的含量均最低(含量范围在 0.01~0.13 mg/kg 之间),说明猴头菇对四种重金属的富集能力最弱。此外,四种重金属的平均含量在不同种食用菌中高低顺序也不相同,其中在滑子菇、羊肚菌、榛蘑、竹荪四种食用菌中镉的平均含量最高,由此可见镉污染是影响食用菌安全的主要因素之一。

另外,同一种食用菌中一种重金属含量差异也很大,如茶树菇中镉、砷、汞重金属,榛蘑、姬松茸中砷重金属,滑子菇中铅重金属等,同时从变异系数上看,茶树菇中四种重金属的变异系数均最大,分别为 480.00%、160.00%、428.00%、240.00%,榛蘑、姬松茸中砷重金属的变异系数分别为 162.00%、125.00%,滑子菇中铅重金属变异系数为 126.00%,进一步说明食用菌对重金属的积累不仅与食用菌品种有关,而且还受到栽培技术、环境条件、栽培原料等因素的影响^[6]。通过分析各重金属的总变异系数(表 2),其变异系数镉>砷>汞>铅,且变异系数均大于或远大于 100.00%,说明其含量受食用菌品种、栽培环境、加工过程等因素的影响很大。

2.3 干食用菌重金属污染状况评价

采用内梅罗综合污染指数法对重金属污染状况进行评价时,因内梅罗指数 p 会突出重金属污染指数最大的污染物对质量评价的影响和作用,在评价时可能会夸大浓度高的因子的影响作用,降低整体性质量评价的灵敏性^[12,13]。也就是说,如果一批次中有一个或几个样品受到严重污染,样品检测值异常偏高,利用内梅罗指数判定,会造成整体样本安全风险评估偏高,最终分析结果有失客观。研究中结合 4 种重金属百分位数(表 3)和盒须图(图 1),确定了 3 个茶树菇样品受到严重污染,为客观反映整体样品的质量评价结果,计算内梅罗综合污染指数时应予以剔除。采用单因子(单一重金属)污染指数法及综合因子(多种重金属)污染指数法对 8 种干食用菌的污染状况进行评价结果如表 5 所示。

表 5 干食用菌中重金属内梅罗综合污染指数

Table 5 The Nemorow complex pollution index of single heavy metals in dried edible fungi

菌类	单一因子污染指数				综合因子污染指数
	Cd	Pb	As	Hg	
茶树菇	0.04	0.20	1.28	0.03	0.95
猴头菇	0.01	0.02	0.00	0.00	0.02
滑子菇	0.07	0.13	0.03	0.00	0.10
黄花菜	0.03	0.10	0.01	0.00	0.07
姬松茸	1.09	0.14	1.84	0.06	1.41
木耳	0.04	0.09	0.04	0.00	0.07
羊肚菌	0.27	0.24	0.10	0.00	0.22
榛蘑	0.36	0.19	0.33	0.01	0.30
竹荪	0.49	0.11	0.11	0.03	0.37

从表 5 中可以看出,8 种市售干食用菌重金属的单因子污染指数 p 大部分均小于或远小于 0.7,表明北京市售干食用菌重金属质量等级均为安全级别,无食用风险,可以放心食用。但茶树菇中砷和姬松茸中镉、砷的 p 值略高,因此茶树菇、姬松茸两种食用菌的食用存在一定的砷、镉食用风险,应引起重视。8 种干食用菌重金属综合污染状况评价结果表明,姬松茸的污染最严重(p 为 1.41),达到轻度污染级别,茶树菇的污染达到警戒级(p 为 0.95),猴头菇的污染最少(p 为 0.02),质量等级最优,其他 5 种干食用菌均属于安全等级(综合因子污染指数均 p 均<1)。上述研究结果表明,单因子污染指数法与综合因子污染指数法均表明姬松茸是北京市售干食用菌质量安全控制的重要的关注对象,应重点关注镉、砷金属含量的控制。

2.4 膳食暴露风险评估研究

研究中采用计算目标危害系数(THQ、TTHQ)

法对北京地区居民干食用菌膳食摄入风险进行了研究。THQ 值的计算主要参考中国居民营养与健康状况监测报告, 其中成人平均为体重 60.30 kg, 食用菌的每人每日消费量为 0.09 g/(kg·bw), 成人非致癌性平均暴露时间为 10950.00 d^[14], 镉、铅、砷、汞的参考剂量为 $R_{FD}(Cd)=0.001 \text{ mg/kg}\cdot\text{d}$, $R_{FD}(Pb)=0.0035 \text{ mg/kg}\cdot\text{d}$, $R_{FD}(As)=0.0003 \text{ mg/kg}\cdot\text{d}$, $R_{FD}(Hg)=0.0003 \text{ mg/kg}\cdot\text{d}$ ^[15,16], 由公式(3)和(4)计算得到的 8 种市售干食用菌四种重金属的 THQ 及 TTHQ 值如表 6 所示。

表 6 北京市售干食用菌中重金属摄入 THQ 及 TTHQ 值

Table 6 THQ and TTHQ of heavy metals by the consumption of dried edible fungi of Beijing

菌类	THQ				TTHQ
	Cd	Pb	As	Hg	
茶树菇	0.0	0.0	0.6	0.0	0.7
木耳	0.0	0.0	0.1	0.0	0.2
猴头菇	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
滑子菇	0.1	0.0	0.1	0.0	0.3
姬松茸	1.0	0.0	5.2	0.3	6.5
羊肚菌	0.3	0.1	0.3	0.0	0.7
榛蘑	0.5	0.1	0.7	0.0	1.3
竹荪	0.6	0.0	0.3	0.1	1.1
TTHQ	2.5	0.2	7.3	0.4	10.8

从表 6 中可以看出, 8 种干食用菌单一重金属 THQ 值大部分都小于 1, 其中猴头菇四种重金属 THQ 值均为 0, 茶树菇、木耳、滑子菇中 Pb、Hg、Cd 三种重金属的 THQ 值均为 0 (滑子菇 Cd 的为 0.10), 茶树菇、木耳、猴头菇、滑子菇、姬松茸、羊肚菌、榛蘑、竹荪 8 种食用菌的 Pb、Hg 两种重金属 THQ 大部分为 0。相比较而言, 羊肚菌、榛蘑、竹荪 3 种食用菌的 Cd、As 两种重金属 THQ 值略高, THQ 值在 0.30~0.70 之间, 但均小于 1.00。单一重金属 THQ 值分析结果中只有姬松茸 Cd 的 THQ 为 1.00, As 的 THQ 为 5.20。上述研究结果表明, 从单一重金属膳食摄入风险来看, 经膳食途径摄入 8 种市售干食用菌重金属整体上是安全的, 不存在膳食摄入风险或风险较低, 但膳食姬松茸存在一定的重金属 (As) 摄食健康风险, 应引起关注。从复合重金属 TTHQ 值分析结果可以看出, 猴头菇、木耳、滑子菇、茶树菇、羊肚菌等 5 种干食用菌的 TTHQ 值均小于 1.00 (0~0.70 之间), 表明其重金属膳食摄入风险较低; 竹荪、榛蘑、姬松茸三种干食用菌的 TTHQ 值均大于 1.00 (在 1.10~6.50 之间), 表明存在一定的重金属膳食摄入风险。从四种重金属的 TTHQ 值分析结果可以看出, Pb、Hg 两种重金属的 TTHQ 值分别为 0.20, 0.40, 均小于 1.00,

表明 8 种干食用菌 Pb、Hg 两种重金属均不存在膳食摄入风险, 而 Cd、As 两种重金属的 TTHQ 值分别为 2.50, 7.30, 均大于 1.00, 表明 8 种干食用菌 Cd、As 两种重金属存在膳食摄入风险, 特别是干食用菌中 As 的膳食摄入风险应特别引起关注, 但 As 膳食摄入风险主要来自姬松茸, 因此多种重金属复合污染导致的潜在健康风险却不容忽视。

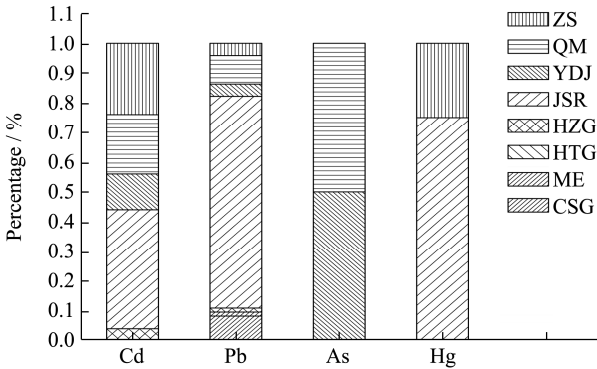


图 2 不同食用菌重金属贡献百分比

Fig.2 Percentage contribution analysis of different heavy metals of different edible fungi

注: 茶树菇 (CSG)、木耳 (ME)、猴头菇 (HTG)、滑子菇 (HZG)、姬松茸 (JSR)、羊肚菌 (YDJ)、榛蘑 (QM)、竹荪 (ZS)。

此外, 为更好的分析不同食用菌的重金属贡献水平, 我们对 8 种食用菌重金属的百分贡献率进行了研究, 结果见图 2。从图 2 中可以看出, 羊肚菌、榛蘑对重金属砷的贡献率最大, 均为 50.00%, 是摄入砷的主要来源; 姬松茸、竹荪对重金属汞的贡献最大, 分别为 75.00%, 25.00%, 因此膳食食用菌摄入汞重金属主要来自姬松茸和竹荪; 姬松茸、榛蘑、竹荪三种食用菌对镉重金属的贡献率达到 84.00%, 是镉重金属的主要摄入源。姬松茸对铅重金属的贡献率最大, 为 71.20%。因此, 在 8 种食用菌中姬松茸对镉、铅、汞三种重金属的贡献率均最大, 分别达到 40.00%, 71.20%, 75.00%, 因此食用菌中镉、铅、汞三种重金属均主要来自于膳食姬松茸。由此可见, 姬松茸食用菌的重金属含量情况应引起重视, 并应加强姬松茸生产监管, 以期降低姬松茸重金属膳食摄入风险。

3 结论

监测北京市售干食用菌重金属含量水平不仅可以有效监管并科学引导百姓安全消费, 避免食用菌重金属残留超标, 同时也有利于分析食用菌重金属污染特点, 评估潜在的膳食摄入风险。本研究对北京市售干食用菌重金属含量测定并进行分析, 认为北京市售干食用菌的质量安全整体上良好, 大部分重金属含量均

低于国标中安全限量值,只有 2.2%的镉和 2.8%的砷超标。单一重金属及四种重金属联合污染膳食暴露风险较低,但茶树菇和姬松茸存在一定的重金属膳食摄入健康隐患。由于北京地区食用菌来源复杂多样,有必要将食用菌按地域分类,评估其重金属含量差异性,进一步研究菌种、地域等因素对食用菌重金属含量的影响。

参考文献

- [1] 张树庭,马海萍,林懿宁,等.食用菌产业发展趋势及其对人类健康的作用[J].中国食用菌,2007,26(6):3-8
ZHANG Shu-ting, MA Hai-ping, LIN Yi-ning, et al. The development of the edible fungi industry and its effect on human health [J]. Edible Fungi of China, 2007, 26(6): 3-8
- [2] 余红英,曹海军,宋鹏,等.3 种常见食用蕈菌对重金属的耐受与富集研究[J].四川大学学报(自然科学版),2008, 45(5): 1263-1268
SHE Hong-ying, CAO Hai-jun, SONG Peng, et al. Investigation of heavy metal resistance and accumulation in three edible mushrooms [J]. Journal of Sichuan University (Natural Science Edition), 2008, 45(5): 1263-1268
- [3] 张徐惠群,杨暄,周忻,等.十八种食用菌铅、砷含量测定及其健康风险评估[J].食用菌学报,2012,19(3):91-96
ZHANU Xu-huiqunl, YANU Xuan, ZHOU Xin, et al. Determination of lead and arsenic concentrations in 18 edible fungi in Beijing and evaluation of their health risks [J]. Acta Edulis Fungi, 2012, 19(3): 91-96
- [4] LIANG Gang, LIU Xin-hui, PAN Li-gang. Assessment of typical heavy metals in human hair of different age groups and foodstuffs in Beijing China. Int. J. Environ. Res [J]. Public Health, 2017, 14(8): 914-923
- [5] 梁刚,潘立刚,刘新会,等.大连市居民头发典型重金属富集特征研究[J].环境科学学报,2019,38(12):4848-4853
LIANG Gang, PAN Li-gang, Liu Xin-hui, et al. Accumulation characteristics of typical heavy metals in human hair from Dalian city [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2019, 38(12): 4848-4853
- [6] 刘烨潼,陈秋生,张强,等.食用菌重金属污染对人体的健康风险分析[J].湖北农业科学,2015,54(2):440-444
LIU Ye-tong, CHEN Qiu-sheng, ZHANG Qiang, et al. Assessing health risk of heavy metals in mushroom [J]. Hubei Agricultural Sciences, 2015, 54(2): 440-444
- [7] LIANG Gang, GONG Wen-wen, LI Bing-ru, et al. Analysis of heavy metals in foodstuffs and an assessment of the health risks to the general public via consumption in Beijing, China. Int. J. Environ. Res [J]. Public Health, 2019, 16(6): 909-918
- [8] 郑伟华,王成,张红艳,等.7 种食用菌铅、镉、汞、砷含量监测及质量安全风险评估[J].西南农业学报.2016,29(2):396-401
ZHENG Wei-hua, WANG Cheng, ZHANG Hong-yan, et al. Monitoring and quality safety risk assessment of Pb, Cd, Hg and As in 7 edible fungi [J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2016, 29(2): 396-401
- [9] 严明,高观世,游金坤,等.云南省 18 种常见野生食用菌营养成分分析[J].黑龙江农业科学,2019,6:119-124,127
YAN Ming, GAO Guan-shi, YOU Jin-kun, et al. Nutrient composition analysis of 18 common wild edible fund in Yunnan province [J]. Heilongjiang Agricultural Sciences, 2019, 6: 119-124, 127
- [10] 刘朋虎,赖瑞联,陈华,等.镉对食用菌生长的影响及防控技术研究进展[J].生态环境学报.2019,28(2):419-428
LIU Peng-hu, LAI Rui-lian, CHEN Hua, et al. Effects of Cd on edible fungi growth and Cd pollution prevention and control techniques in mushroom production [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2019, 28(2): 419-428
- [11] 胡桂仙,王小骊,董秀金,等.3 种干食用菌中汞、砷、铅、镉重金属的污染的检测与评估[J].浙江农业学报,2011,23(2): 349-352
HU Gui-xian, WANG Xiao-li, DONG Xiu-jin, et al. Investigation and evaluation on pollution of heavy metals Hg, As, Pb and Cd in three dried edible fungi [J]. Acta Agriculturae Zhejian Gensis, 2011, 23(2): 349-352
- [12] 孙雷,孙世群,杨晨.几种综合指数方法在土壤重金属污染评价中的应用-以淮南矿区为例[J].赤峰学院学报:自然科学版,2013,29(11):40-42
SUN Lei, SUN Shi-qun, YANG Chen. Application of several synthetic index methods in soil heavy metal pollution assessment- a case study of Huainan Mining area [J]. Journal of Chifeng University (Natural Science Edition), 2013, 29(11): 40-42
- [13] 郭笑笑,刘丛强,朱兆洲,等.土壤重金属污染评价方法[J].生物化学杂志,2011,30(5):885-896
GUO Xiao-xiao, LIU Cong-qiang, ZHU Zhao-zhou, et al. Evaluation methods for soil heavy metals contamination: A review [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(5): 885-896

(下转第 319 页)