

贵阳主要城区市售食用菌中重金属污染与健康风险评估

贾彦龙¹, 孙嘉龙^{1,*}, 林科跃¹, 曾玲玲¹, 梁琴¹, 邢茜¹, 宁增平²

(1. 贵州理工学院 资源与环境工程学院, 贵阳 550003;

2. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵阳 550081)

摘要: 食用菌是一类绿色保健食品,但对重金属具有一定的富集能力。本文从贵阳市主城区农贸市场、大型超市分期采集了各类食用菌共计 153 份,分析检测了其中的 As、Cd、Cr、Cu、Hg、Mn、Pb、Sb、Se、Tl 和 Zn 等 11 种重金属元素含量。结果表明:本次样品中 Cd 元素超标频次最高,其次为 As、Pb 和 Hg 元素;重金属元素在干制品姬松茸和竹荪样品含量水平较高,竹荪样品中 As、Cd 和 Hg 的超标率为 100%,Pb 元素的超标率为 17.0%,姬松茸样品中 As、Cd、Hg 和 Pb 四种元素超标率分别为 92.8%、92.9%、92.8%和 64.3%;平菇和杏鲍菇样品中多种元素的转移系数较高,而姬松茸则偏低;暴露-剂量模型评估表明各类样品的健康风险指数均小于 1.0,表明没有明显的健康风险。这将为全省食用菌产业健康发展提供科学依据,也对贵阳地区人群膳食调控具有一定的指导意义。

关键词: 食用菌; 重金属; 健康风险; 贵阳

中图分类号: X56 文献标识码: A 文章编号: 1672-9250(2021)04-0428-08 doi: 10.14050/j.cnki.1672-9250.2021.49.033

食用菌是一种口感独特、食用营养价值和药用价值高且可供人们食用的绿色保健食品,具有提高机体免疫功能,调节人体生理机能的作用,自古以来都备受关注。目前,食用菌产业作为继粮食、蔬菜、果树、油料之后的第五大产业,已经成为贵州省精准扶贫的新抓手,农村产业结构调整的新途径,也是贵州省绿色农业的重点产业^[1-2],全省食用菌经营主体逐年增多,2017 年达到了 370 多家,已逐步成为贵州省经济社会发展新的着力点。作为食用菌资源大省,贵州食用菌有 22 个科 72 个属 268 种,种类占全国的 80%,主要特色品种有竹荪、冬菇、香菇、羊肚菌、美味牛肝菌、鸡枞菌、蜜环菌、桑黄菌等,贵州是竹荪、冬菇的著名产地^[3]。

有研究表明,食用菌对重金属有一定的富集能力,长期食用重金属含量高的食用菌会给人类健康带来了潜在的危害^[4-6]。随着物质生活水平的提高和健康意识的增强,人们对食用菌的质量提出了更高的要求,特别是对食用菌中重金属含量水平及其

潜在风险系数十分关注^[7-8]。近年来先后有调查研究发现黑木耳样品铬超标、山西地区食用菌中铅和镉含量、天津地区食用菌中重金属超标的情况^[9-11],这些报道均指出食用菌中的重金属污染状况不容忽视,有些地区甚至比较严重,这给食用菌的食用安全带来了一定的潜在风险。

作为食用菌产业发展大省,有关贵州及贵阳市市场上主要食用菌重金属元素含量分布特征及风险评价的报道较少。本文采集了贵阳市城区市场上香菇、金针菇等 7 类主要食用菌样品,分析了其中铅(Pb)、铬(Cr)、镉(Cd)、砷(As)、汞(Hg)等重金属的含量水平与分布特征,并在此基础上,采用美国环保署(United States Environmental Protection Agency, USEPA)的健康风险评价模型进行了健康风险评价。研究结果将为贵阳城区主要市场中食用菌的产品质量监控提供科学依据,并为全省食用菌产业健康发展提供理论支撑,同时对保障人群膳食健康有着重要的现实意义。

收稿日期: 2020-10-24, 改回日期: 2020-12-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(41563010); 贵州省教育厅创新群体重大项目(黔教合 KY 字[2016]045); 贵州省高层次创新型人才项目(GZSQCC2018001); 贵州理工学院高层次人才启动项目(20140605、20140606); 贵州理工学院大学生创新创业训练计划项目 201814440396。

第一作者简介: 贾彦龙(1984-),男,博士,副研究员,研究方向为有毒有害元素的地球化学行为研究。E-mail: 20130187@git.edu.cn。

* 通讯作者: 孙嘉龙(1978-),男,博士,研究员,研究方向为有毒有害元素的微生物地球化学循环研究。E-mail: danielsjl@163.com。

1 材料与方法

1.1 样品采集

本文随机选取贵阳市主城区农贸市场、大型超市分期进行采样,其中包括7个较大型农产品农贸市场,9个小型农产品销售市场和5个超市(表1),品种为香菇、平菇、木耳、杏鲍菇、金针菇、姬松茸、竹荪等七类市民经常食用的食用菌(表2)。本次调查共采集样品153份,采集的食用菌样品使用清洁食品袋保存,避免样品间交叉污染。

各类样品含水率见表2所示,尽管姬松茸和竹荪为干制品,但仍然含有一定的水分,这两类样品主要取自于精包装成品,可能与加工、包装过程有关。

1.2 样品处理

将每份样品带回实验室后,去除杂质,称取鲜重,然后用超纯水冲洗干净,沥干后置于恒温干燥箱(80℃)中烘干至恒重,记录干重。将每份样品随机分成两份,一份样品分成菌伞和菌柄,用于分析转移系数;另一份样品用于制作混合样,用于后期评价与风险评估,均用破碎机磨碎,过100目筛,置于干燥器中保存。

1.3 元素含量检测

准确称取0.05g样品(<100目)于Teflon管内,加入2mL HNO₃溶液密封,于180℃的温度下消解30h;将Teflon管从钢罐中取出置于电热板上加热(80~90℃)蒸至近干,加入1mL HNO₃,再次加热、蒸至近干;加入4mL HNO₃和6mL超纯水,

再次加热(140℃)12h,随后冷却、定容。适当稀释之后采用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)检测Pb、Cr、Cd、As、Hg等重金属的含量。

1.4 数据分析

本文按鲜样(干制品除外)分析样品的重金属含量特征,并依据《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762—2017)开展超标率评价,转移系数参照如下公式进行分析:

$$TF = \frac{\text{菌伞中某一元素的含量}}{\text{菌柄中某一元素的含量}} \quad (1)$$

有毒重金属日摄入量参照如下公式进行测算^[12]:

$$CDI = \frac{C \times IR \times ABS_g \times EF \times ED}{BW \times AT \times 365} \quad (2)$$

式中,CDI为重金属污染物通过食用菌进入人体的摄入量(mg/(kg·d));C为食用菌暴露途径的重金属浓度(mg/kg);IR为摄取速率(kg/d),本文取值为0.0086kg/d^[13];ABS_g为肠胃吸收因子,参照美国环保署参数^[14-15],As取0.03,Cd取0.14,Cr取0.04,Hg取0.05,Pb取0.006;ED为暴露时间(a),本文选用值为24a^[16];EF为暴露频率(d/a),本文选用值为350d/a^[16];BW为体重(kg),按成人平均体重56.8kg计算^[16];AT为平均暴露时间(a),以平均寿命76a计。

根据美国环保署USEPA(United States Environmental Protection Agency)和世界卫生组织(WHO, World Health Organization)推荐评价有毒污染物的参考暴露剂量RfD,健康风险指数的计算公式如下:

表1 贵阳城区食用菌采样地点汇总表

Table 1 Sampling sites of collected edible mushrooms in Guiyang City

采样区域	采样点位
南明区	DYD 农贸市场、WCP 农贸市场、WEM 超市、FJB 农贸市场、HMC 农贸市场等
云岩区	SFL 农贸市场、JDS 农贸市场、某生鲜蔬菜店、LX 菜市场、HB 食用菌批发市场等
观山湖区	某生鲜果蔬市场、YY 超市
乌当区	BJHH 超市、XTZ 农贸市场、HTL 农贸市场等

表2 不同种类食用菌样品含水率

Table 2 The water content of various edible mushrooms

类别	种类	样品量/份	鲜重/g	干重/g	含水率/%
新鲜食用菌	平菇	27	16.3~167.6	2.0~16.6	87.3~95.5
	杏鲍菇	32	19.7~233.2	1.7~24.1	87.9~92.4
	金针菇	21	5.5~112.6	0.5~13.0	87.1~93.1
	木耳	16	1.1~63.7	0.3~5.7	90.3~96.8
	香菇	36	6.5~86.5	1.5~10.4	77.0~90.9
干制食用菌	姬松茸	15	0.4~1.2	0.4~1.1	0.99~6.2
	竹荪	6	0.6~2.2	0.6~2.1	2.5~30.2

$$HQ = \frac{CDI}{RfD} \quad (3)$$

$$HI = \sum_{i=0}^n HQ_i \quad (4)$$

式中 HQ 为发生单一重金属有害健康效应而造成等效死亡的终身危险度 HI 则为发生复合重金属有害健康效应而造成等效死亡的终身危险度; RfD 为重金属污染物在某种暴露途径下的日参考剂量 ($\text{mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$) ,其中 As 为 $0.0003 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$; Cd 为 $0.001 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$; Cr 为 $0.005 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$; Hg 为 $0.0003 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$; Pb 为 $0.0035 \text{ mg}/(\text{kg}\cdot\text{d})$ [15-17]。如果 HQ (HI) 值小于 1,说明没有明显的风险;如果大于或等于 1 相关暴露人群就会有健康风险。

本文使用 Excel 2019 和 SPSS 18.0 软件进行实验数据的统计分析,采用 SigmaPlot 14.0 进行数据图绘制。

2 结果与讨论

2.1 重金属元素含量特征分析

样品中重金属含量水平见图 1 所示,考察的重金属元素有 As 、 Cd 、 Cr 、 Cu 、 Hg 、 Mn 、 Pb 、 Sb 、 Se 、 Tl 和 Zn 。由图可知,由于样品采集于不同时段,不同的市场或超市,而且各类样品的经销商进货渠道不尽一样,因此样品中重金属元素水平波动范围较大,变异系数为 $0.159\sim 2.85$,离散度较大的有香菇中的 Tl 含量,其次为杏鲍菇中的 Tl 含量,再次为金针菇中的 Hg 含量;离散度较小的有竹荪中的 Cd 含量、金针菇中的 Mn 含量和杏鲍菇中的 Cu 含量。基于此,考虑到样品代表性,本文采用中位数值进行健康风险评价。

姬松茸和竹荪样品中的 As 含量水平较高,中位数值分别为 2.10 和 $2.08 \text{ mg}/\text{kg}$, As 含量较低的为杏鲍菇样品 ($0.0925 \text{ mg}/\text{kg}$);与其它样品相比,姬松茸和竹荪样品中的 Cd 含量水平也较高,中位数值分别为 6.20 和 $1.81 \text{ mg}/\text{kg}$,其次是香菇样品 ($0.936 \text{ mg}/\text{kg}$), Cd 含量较低的为金针菇样品 ($0.0410 \text{ mg}/\text{kg}$);姬松茸样品中的 Cr 含量水平最高 ($13.2 \text{ mg}/\text{kg}$),木耳和香菇样品分别为 8.68 和 $6.81 \text{ mg}/\text{kg}$, Cr 含量较低的是竹荪和金针菇样品,分别为 2.04 和 $2.86 \text{ mg}/\text{kg}$;姬松茸和竹荪样品中的 Cu 含量水平较高,中位数值分别为 49.6 和 $20.2 \text{ mg}/\text{kg}$, Cu 含量较低的是木耳和杏鲍菇样品,分别为 3.16 和 $4.32 \text{ mg}/\text{kg}$;姬松茸和竹荪样品中的 Hg 含

量水平较高,中位数值分别为 0.26 和 $0.59 \text{ mg}/\text{kg}$,杏鲍菇样品 Hg 含量水平较低 ($0.0070 \text{ mg}/\text{kg}$);竹荪样品中的 Mn 含量水平最高 ($72.2 \text{ mg}/\text{kg}$),其次为木耳和香菇样品,分别为 24.8 和 $15.8 \text{ mg}/\text{kg}$, Mn 含量较低的为姬松茸和金针菇样品(分别为 6.20 和 $6.30 \text{ mg}/\text{kg}$);姬松茸样品中的 Pb 含量水平最高 ($1.45 \text{ mg}/\text{kg}$),其次为竹荪样品 ($0.718 \text{ mg}/\text{kg}$), Pb 含量较低的是杏鲍菇和金针菇样品,分别为 0.0614 和 $0.0661 \text{ mg}/\text{kg}$;姬松茸样品中的 Sb 含量水平最高 ($0.049 \text{ mg}/\text{kg}$), Sb 含量较低的是杏鲍菇样品 ($0.0073 \text{ mg}/\text{kg}$);竹荪样品中的 Se 含量水平最高 ($4.82 \text{ mg}/\text{kg}$),其次为姬松茸样品 ($1.08 \text{ mg}/\text{kg}$),含量水平较低的是木耳和香菇样品(均为 $0.130 \text{ mg}/\text{kg}$);姬松茸样品中的 Tl 含量水平最高 ($0.040 \text{ mg}/\text{kg}$),水平较低的为金针菇样品 ($0.0014 \text{ mg}/\text{kg}$);姬松茸、平菇、杏鲍菇和香菇样品中的 Zn 含量水平较高(分别为 71.3 、 78.7 、 75.9 和 $70.1 \text{ mg}/\text{kg}$),较低的为木耳样品 ($20.7 \text{ mg}/\text{kg}$)。

对比不同品种类食用菌样品中元素含量水平可知,姬松茸、竹荪样品中的重金属含量水平较高,而金针菇、木耳和杏鲍菇样品中的水平较低。此外,同一食用菌对不同重金属元素呈现选择性富集的特征,如杏鲍菇对大多数元素的富集能力较弱,但对 Mn 、 Zn 和 Cu 等元素呈现出较强的富集能力,这主要源于菌种的特异性,还可能受到栽培方式、栽培介质的影响。

将样品分为菌伞和菌柄两部分(木耳、金针菇样品除外),测算样品中各种元素的转移系数,分析其在不同食用部位的分布特征,结果见图 2。香菇样品中 As 的转移系数最高 (1.57),较低的是姬松茸 (0.460);平菇样品 Cd 转移系数最高 (3.35),其次为杏鲍菇样品 (2.31),较低的是香菇样品 (0.310);姬松茸样品中 Cr 转移系数最高 (3.47),其次为平菇 (1.86),较低的是香菇样品 (0.890); Cu 在平菇样品中转移系数最高 (1.20),其次为竹荪 (1.14),较低的是姬松茸样品 (0.480);平菇样品中 Hg 转移系数最高 (2.25),其次为杏鲍菇样品 (1.50),较低的是香菇样品 (0.660);竹荪样品中 Mn 转移系数最高 (1.92),其次为杏鲍菇样品 (1.80),较低的是姬松茸样品 (0.770);平菇样品中 Pb 转移系数最高 (1.59),其次为杏鲍菇样品 (0.870),较低的是竹荪样品 (0.36);杏鲍菇样品中 Sb 转移系数最高 (1.75),其次为平菇样品 (1.56),

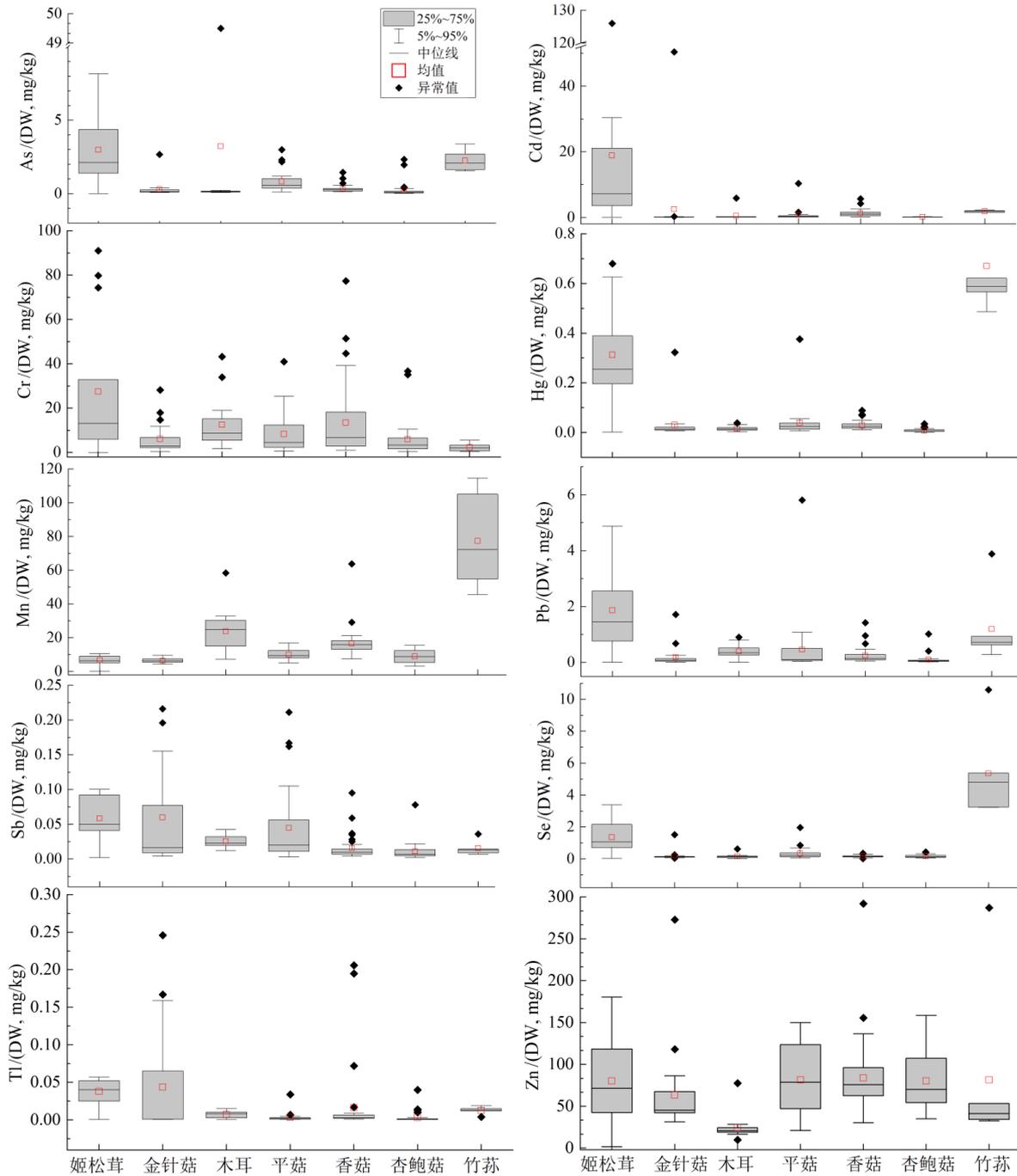


图 1 不同食用菌样品中重金属含量水平比较

Fig. 1 Content level of some heavy metals in different samples

较低的是姬松茸样品 (0.59); 平菇样品中 Se 转移系数最高 (1.47), 其次为杏鲍菇样品 (1.30), 较低的是姬松茸样品 (0.48); 平菇样品中 Tl 转移系数最高 (1.70), 其次为香菇样品 (1.56), 较低的是姬松茸样品 (0.99); 杏鲍菇样品中 Zn 转移系数最高 (1.77), 其次为平菇样品 (1.69), 较低的是姬松茸样品 (0.560)。

从以上对比不难得出, 转移系数与菌伞大小的

关联度不大, 如平菇和杏鲍菇样品中多种元素的转移系数较高, 而姬松茸样品则偏低。总体而言, 姬松茸中除 Cr 和 Tl 外其它元素的转移系数均小于 1, 竹荪中除 Cr、Cu、Mn 和 Tl 外其它元素的转移系数均小于 1, 香菇中 Cd、Cr、Cu、Se 和 Zn 的转移系数均小于 1, 杏鲍菇中除 Pb 外其它元素的转移系数均大于 1, 平菇中 11 种元素的转移系数均大于 1。

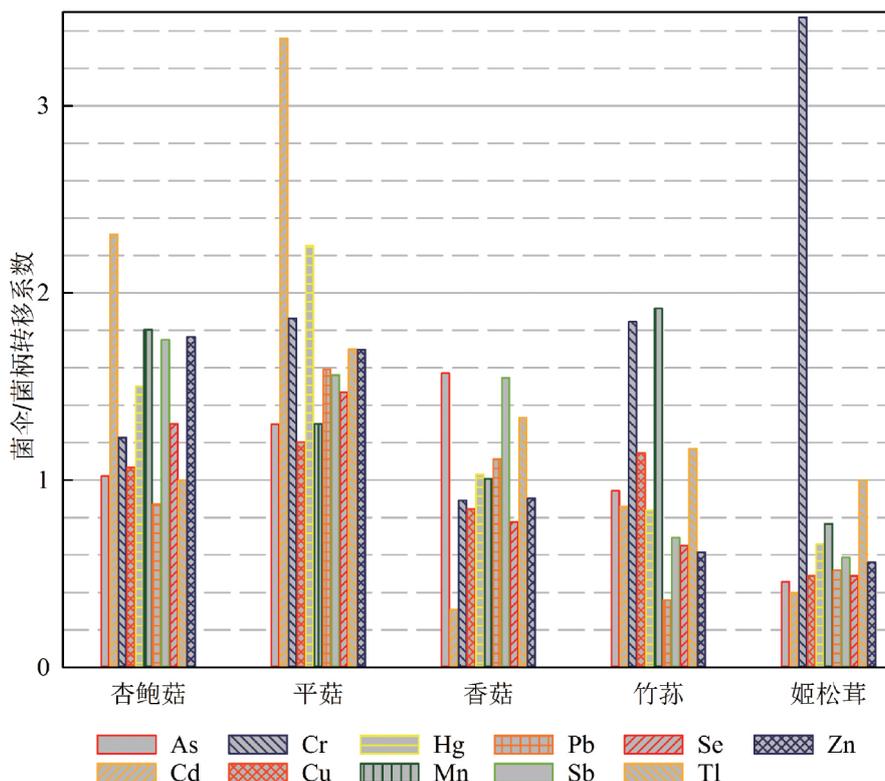


图2 菌伞和菌柄重金属转移系数

Fig. 2 Transfer coefficient of heavy metals between pileus and stipe in the samples

2.2 重金属元素污染评价

《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762—2017)规定了食用菌中As、Cd、Hg、Pb等元素的限量指标,见表3。

表3 食用菌中部分元素的限量值

Table 3 The minimum values of some heavy metals limited for edible mushrooms

元素	样品类别	限量/(mg/kg)	备注
As	食用菌及其制品	0.5	以As计
	新鲜食用菌(香菇和姬松茸除外)	0.2	
Cd	香菇	0.5	以Cd计
	食用菌制品(姬松茸制品除外)	0.5	
Hg	食用菌及其制品	0.1	以Hg计
Pb	食用菌及其制品	1.0	以Pb计

注:表中数据值来源于《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762—2017)。

按照表中的限量指标,对153份样品进行分类评价,各类样品合格情况如图3所示。

由图3可知,本次杏鲍菇样品重金属元素均满足限量要求,合格率为100%;其次为平菇样品,有部分样品中的Cd出现了超标,超标率为3.72%,其它元素均满足限量要求;金针菇样品中有部分样品

Cd元素出现了超标,超标率为4.81%,其它元素均满足限量要求;香菇样品中Cd元素出现了超标,超标率为4.52%,其它元素均满足限量要求;木耳样品中As和Cd元素出现了超标,超标率为6.36%,其它元素均满足限量要求;在食用菌干制品姬松茸和竹荪样品中,As、Cd、Hg和Pb四种元素均存在超标情况,其中姬松茸样品四种元素超标率分别为92.8%、92.9%、92.8%和64.3%;竹荪样品中砷、镉和汞的超标率为100%,铅元素的超标率为17.0%。综上,本次样品中Cd元素超标频次最高,其次为As、Pb和Hg元素。

国外也有学者发现香菇中Cd等元素含量水平较高^[17],国内学者刘哲等^[5]通过对北京地区流通市场的样品采集分析表明,香菇中Cd和Pb含量水平较高(最高分别达到0.76和1.79 mg/kg, DW),但总体超标率较低(5.6%),高于上海市香菇样品中Pb超标率^[18];而Hg和As则没有出现超标情况。

也曾有学者对竹荪新鲜样品进行检测^[19],发现红托竹荪中Cd含量高达8.68 mg/kg(DW),且其中的Pb、As和Cr含量均超标;陈实等^[20]通过实验也发现了姬松茸对镉的富集特征,其子实体中Cd含

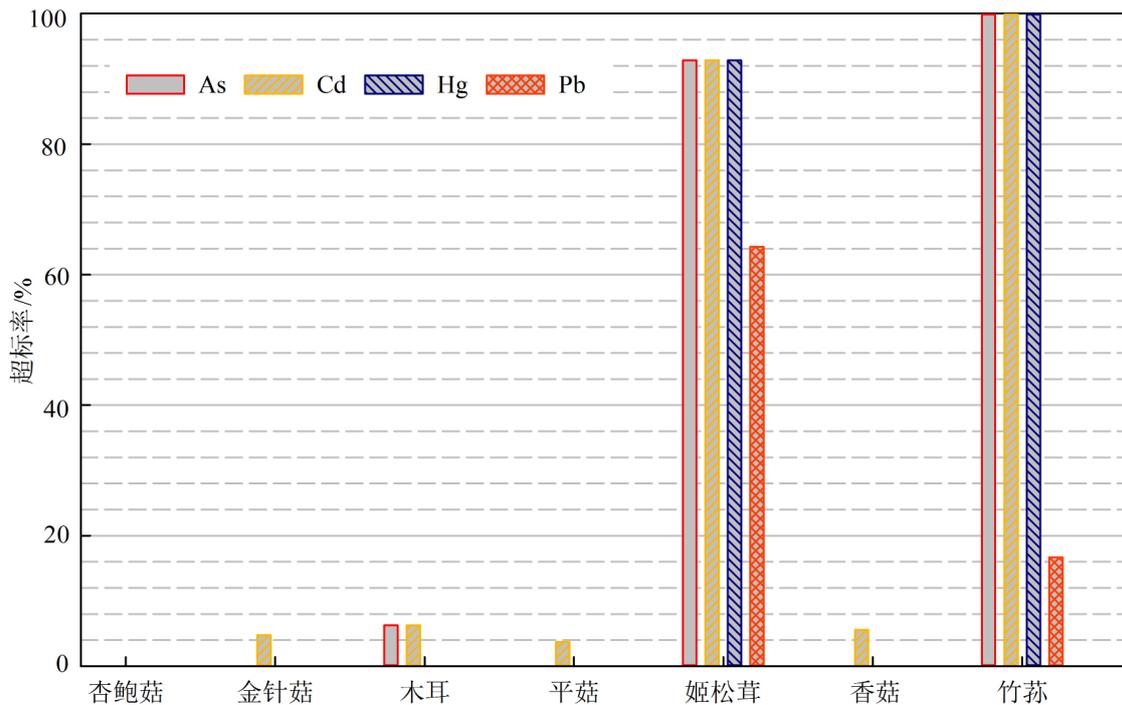


图3 不同类食用菌样品超标率比较

Fig. 3 Comparison of the frequency of exceeding food standard among different kind of mushrooms

量最高可达到 64.478 mg/kg(DW),这与本次调查研究结果接近。综上所述,本次调查研究的姬松茸和竹荪样品部分重金属水平较高,超标率也较高,可能受多种因素影响,如培养方式、培养介质及菌种本身,需作进一步探讨研究。

2.3 健康风险评估

基于各类样品元素含量水平的中位数值,借助前述暴露-剂量风险评估模型测算了本次各类样品中几类主要有毒有害重金属元素的 HQ 值和 HI 值,结果如表4所示。

由表4可知,姬松茸样品的健康风险指数最高,其次为竹荪样品,再次为香菇样品,但 HI 值(复合风险值)均没有超过 1.0。评价表明尽管部分样品的超标率较高,但由于摄入量、肠胃消化等因素影

响,在当前摄入量情景下并没有引起明显的健康风险。

与本文略有差异的是,北京市场香菇样品中四种重金属的风险值大小依次为 $As > Cd > Pb > Hg$,靶标危害系数(THQ)均未超过安全阈值^[5];邵祥龙等通过对上海市场食用菌样品中 Pb 暴露量分析表明,由于食用菌在人群膳食中所占比例很低,摄入食用菌导致的 Pb 暴露总体风险处于可接受水平^[19],与本研究结论类似。

健康风险评估采用的是风险度这一指标来加以评价的,在评价的过程中是将环境污染与人体健康结合在一起,对于人体重金属健康风险的总体评估,需要有详细的各类暴露过程及参数。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

表4 食用菌样品健康风险评估

Table 4 Health risk index of heavy metals in the samples

样品	HQ_{As}	HQ_{Cd}	HQ_{Cr}	HQ_{Hg}	HQ_{Pb}	HI
姬松茸	0.009 8	0.046 7	0.004 9	0.002 0	0.000 1	0.063 5
金针菇	0.000 6	0.000 3	0.001 1	0.000 1	0	0.002 1
木耳	0.000 6	0.000 7	0.003 2	0.000 1	0	0.004 7
平菇	0.002 6	0.001 4	0.001 7	0.000 2	0	0.006 0
香菇	0.001 2	0.006 1	0.002 5	0.000 2	0	0.010 1
杏鲍菇	0.000 4	0.000 4	0.001 2	0.000 1	0	0.002 2
竹荪	0.009 7	0.011 8	0.000 8	0.004 6	0.000 1	0.026 8

其他有毒物质和暴露途径,因此实际上低估了重金属暴露的风险。

3 结 论

1) 基于《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762—2017)的评价结果表明,杏鲍菇样品均未出现超标,平菇、金针菇和香菇样品出现了Cd元素超标,木耳样品出现了As和Cd元素超标;在干制品姬松茸和竹荪中,As、Cd、Hg和Pb四种元素均存在超标情况,其中姬松茸样品四种元素超标率分别为92.8%、92.9%、92.8%和64.3%,竹荪样品中As、Cd和Hg的超标率为100%,Pb元素的超标率为17.0%。综上,本次样品中Cd元素超标频次最高,其次为As、Pb和Hg元素。

2) 由于样品采集于不同时段,源于贵阳市城区不同的市场或超市,而且各经销商进货渠道不尽一样,因此,各类样品重金属元素水平波动范围较大,

但总体上,多数重金属元素在姬松茸和竹荪样品中含量水平较高,这与前人研究结论类似;而金针菇、木耳和杏鲍菇中重金属元素含量水平较低。

3) 通过对菌伞和菌柄部分的重金属含量分析表明,各种重金属元素转移系数并无显著的趋势特性,转移系数与菌伞大小的关联度不大,如平菇和杏鲍菇样品中多种重金属元素的转移系数较高,而姬松茸样品则偏低。

4) 基于暴露-剂量风险评价模型的健康风险评估结果表明,尽管部分样品的超标率较高,受摄入量、肠胃消化因子等因素影响,当前摄入量并没有带来明显的健康风险。

致谢:本研究开展过程中得到了贵州省农业科学院农作物品种资源研究所桂阳博士和朱国胜博士在部分食用菌样品采集方面给予的帮助,在此表示感谢!

参 考 文 献

- [1] 朱国胜. 发展特色食用菌产业助推乡村振兴[N]. 贵州日报, 2019-10-23(10).
- [2] 周韬, 雷强, 杨铎沂, 等. 贵州省食用菌产业发展现状与对策[J]. 上海蔬菜, 2019(6): 7-11.
- [3] 邱胜. 科技助力食用菌产业提质升级——访贵州省农科院农作物品种资源研究所副所长朱国胜[J]. 当代贵州, 2019(30): 26-27.
- [4] 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.
- [5] 刘哲, 王康, 穆虹, 宇, 等. 香菇中重金属含量风险分析及栽培基质对重金属累积的作用[J]. 农业环境科学学报, 2019, 38(6): 1226-1232.
- [6] Damodaran D, Vidya Shetty K, Raj Mohan B. Uptake of certain heavy metals from contaminated soil by mushroom—*Galerina vittiformis* [J]. Ecotoxicology and Environmental Safety, 2014, 104: 414-422.
- [7] 余宜武, 王敦旗, 肖青青, 等. 安徽东至县主要栽培食(药)用菌重金属调查分析[J]. 中国食用菌, 2019, 38(9): 47-51.
- [8] 张银峰, 赵晓慧, 欧阳敏, 等. 云南不同区域羊肚菌砷、汞及常量元素分布特征[J]. 食品安全质量检测学报, 2019, 10(14): 4629-4635.
- [9] 王国桢, 苏菊萍, 刘俐君, 等. 山西省食用菌中铅、镉含量与膳食暴露评估[J]. 农产品质量与安全, 2020(3): 68-71.
- [10] 刘焯潼, 张强, 张玮, 等. 天津市食用菌质量安全风险监测调查与分析[J]. 食品安全质量检测学报, 2020, 11(7): 2328-2333.
- [11] 孙向东, 兰静, 陈国友, 等. 栽培基质铬含量对黑木耳质量安全的影响研究[J]. 农产品质量与安全, 2020(1): 80-84.
- [12] 刘丽. 重金属在土壤-蔬菜系统中的迁移转运与调控及其健康风险评估[D]. 长沙: 中南林业科技大学, 2018.
- [13] 国家统计局. 中国统计年鉴 2019[S]. 2019.
- [14] EPA U.S. Risk assessment guidance for superfund. Volume I: Human health evaluation manual (Part E, Supplemental guidance for dermal risk assessment) [S]. Washington, D.C., 2004.
- [15] U.S. EPA. Regional Screening Levels (RSLs) [S]. Washington, D.C., 2019.
- [16] 中华人民共和国环境保护部. 污染场地风险评估技术导则[S]. 北京, 2014.
- [17] Yamaç M, Yıldız D, Sarıkkürücü C, et al. Heavy metals in some edible mushrooms from the Central Anatolia, Turkey [J]. Food Chemistry, 2007, 103(2): 263-267.
- [18] 邵祥龙, 朱效宁, 成玉萍, 等. 上海市6区县食用菌中铅含量测定及暴露评估[J]. 中国卫生检验杂志, 2017, 27(6): 892-895.
- [19] 孙燕, 李浪, 刘妮, 等. 红托竹荪不同部位的无机元素含量及相关性[J]. 贵州农业科学, 2019, 47(6): 113-116.
- [20] 陈实, 彭国平, 左娟. 姬松茸对培养基中镉的吸收富集规律[J]. 福建农业, 2015(5): 106-107.

Risk Assessment of Toxic Metals in Edible Mushrooms Collected from Urban Markets in Guiyang City

JIA Yanlong¹, SUN Jialong¹, LIN Keyue¹, ZENG Lingling¹, LIANG Qin¹,
XING Qian¹, NING Zengping²

- (1. School of Resources and Environmental Engineering , Guizhou Institute of Technology , Guiyang 550003;
2. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry , Institute of Geochemistry , Chinese Academy of Sciences ,
Guiyang 550081 , China)

Abstract: Edible mushrooms (EMs) are known as a kind of green and healthful food , but also been identified as one kind of food with the capacity of accumulating potential toxic elements (PTEs) . However , more detailed knowledge on PTEs contents in EMs and their health risk is limited. In this work , a total of 153 samples were collected from urban markets in Guiyang City , and the contents of heavy metals were determined. The results indicated that cadmium was marked with the highest frequency of exceeding food standard. The content of heavy metals in *Dictyophora indusiata* and *Agaricus blazei* samples was much higher than that in other samples. Specially , the frequency of exceeding food standard was 100% by arsenic , cadmium and mercury , and 17% by lead in *Dictyophora indusiata* samples. In *Agaricus blazei* samples , the frequency of exceeding food standard was 92. 8% , 92. 9% , 92. 8% and 64. 3% respectively by arsenic , cadmium , mercury and lead. Interestingly , no obvious trend for the transfer coefficients of heavy metals was observed between pileus and stipe in the samples , but the transfer coefficients in *Pleurotus eryngii* and *Pleurotus ostreatus* samples were higher than others , especially than *Agaricus blazei* samples. Furthermore , all the health risk indexes in the samples were lower than threshold value. Furthermore , no obvious trend for the transfer coefficients of heavy metals was observed between pileus and stipe in the samples. The findings may provide basic knowledge and guidelines for the sound development of edible mushroom in Guizhou Province and the diet habit for the local residents in Guiyang City.

Key words: edible mushroom; toxic heavy metals; risk assessment; Guiyang