

市售灵芝孢子粉 7 种重金属元素含量测定及膳食暴露风险评估

王伟影^{1,2}, 陈梦², 饶琛², 汪昕², 陈卫平² (1.浙江中医药大学, 杭州 310053; 2.丽水市质量检验检测研究院, 浙江 丽水 323000)

摘要: 目的 测定市售灵芝孢子粉中铅、镉、砷、汞、铜、铬、镍 7 种重金属元素的残留量并评估其膳食暴露的健康风险。方法 收集市售灵芝孢子粉(包含中药饮片、保健食品、食品和农产品等不同产品类型)40 批次, 对 7 种重金属元素进行检测, 采用点评估方法对灵芝孢子粉中 7 种重金属元素的膳食暴露量进行评估。结果 40 批灵芝孢子粉中 7 种重金属元素检出率均为 100%, 有 8 批样品重金属元素超出拟定的限度。重金属元素膳食暴露评估显示消费者食用灵芝孢子粉摄入铬的量存在一定的膳食暴露健康风险。结论 灵芝孢子粉中铅、镉、砷、汞、铜、镍 6 种重金属元素膳食暴露低于暂定可耐受摄入量, 对人体健康产生危害的风险可接受; 铬元素膳食暴露的最大值和第 95 百分位数(P_{95})值超过暂定可耐受摄入量, 存在一定的健康风险。

关键词: 灵芝孢子粉; 重金属; 暴露评估

中图分类号: R284.1

文献标志码: B

文章编号: 1007-7693(2022)17-2216-06

DOI: 10.13748/j.cnki.issn1007-7693.2022.17.007

引用本文: 王伟影, 陈梦, 饶琛, 等. 市售灵芝孢子粉 7 种重金属元素含量测定及膳食暴露风险评估[J]. 中国现代应用药学, 2022, 39(17): 2216-2221.

Determination of the Content of 7 Heavy Metals in Ganoderma Spore Powder and Assessment of the Dietary Exposure

WANG Weiyong^{1,2}, CHEN Meng², RAO Chen², WANG Xin², CHEN Weiping² (1.Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 310053, China; 2.Lishui Institute for Quality Inspection and Testing, Lishui 323000, China)

ABSTRACT: OBJECTIVE To determine the residue of 7 heavy metals(Pb, Cd, As, Hg, Cu, Cr, Ni) in Ganoderma spore powder and to evaluate the health risk of dietary exposure. **METHODS** A total of 40 batches of Ganoderma spore powder(including Chinese traditional medicine decoction pieces, health food, food and agricultural products) were collected for detection, and the dietary exposure of 7 heavy metal element in Ganoderma spore powder was evaluated by the method of point estimation. **RESULTS** Among the 40 batches of Ganoderma spore powder, the detection rate of 7 heavy metal elements was 100%, and the residue of heavy metals in 8 batches was exceeded the proposed limit, the result of dietary exposure assessment showed that there was a certain health risk of dietary exposure of Cr in the consumption of Ganoderma spore powder. **CONCLUSION** The dietary exposure of 6 heavy metals(Pb, Cd, As, Hg, Cu, Ni) in Ganoderma spore powder is lower than the temporary tolerable intake, and the risk to human health is acceptable. The maximum dietary exposure and P_{95} value of Cr is exceeded the temporary tolerable intake, and there is a certain health risk.

KEYWORDS: Ganoderma spore powder; heavy metals; exposure assessment

灵芝孢子粉属多孔菌科真菌赤芝 *Ganoderma lucidum*(Leyss. ex Fr)Karst 或紫芝 *Ganoderma sinense* Zhao, Xu et Zhang 的干燥成熟孢子^[1]。灵芝孢子粉是现下药食两用的研究热点之一, 市售灵芝孢子粉存在中药饮片、保健食品等不同类型的产品。随着活性成分研究的开展, 灵芝孢子粉在免疫调节、保肝解毒等方面都显示出较好的效果^[2-8]。赤芝和紫芝目前均以人工种植为主, 在栽培过程中可能会富集土壤、水等环境中的重金属, 且灵芝孢子粉作为中药材(饮片)或者保健食品目前均无国家标准, 消费者若食用了重金属残留超

标的灵芝孢子粉, 会给人体带来一定的健康风险。为了解市售灵芝孢子粉重金属残留情况, 及时发现灵芝孢子粉的安全问题和风险隐患, 笔者所在团队从市场上随机购买中药饮片、保健食品、食品和农产品等不同产品类型的灵芝孢子粉共 40 批次, 对其进行风险监测, 分析铅(Pb)、镉(Cd)、砷(As)、汞(Hg)、铜(Cu)、铬(Cr)、镍(Ni)7 种重金属元素含量, 并采用点评估方法对该 7 种重金属元素膳食暴露进行初步评估, 以期开展灵芝孢子粉作为食品(保健食品)或药品的风险研判、应急处置以及引导消费者理性、合理、安全消费提供科

基金项目: 浙江省市场监管首批重点实验室(浙市监科[2021]13 号文件); 衢州市食品药品检验研究院赵维良专家工作站(衢委人才[2021]17 号文件)

作者简介: 王伟影, 女, 副主任中药师 E-mail: onlyying0508@gmail.com

学依据,为促进灵芝孢子粉行业健康、持续发展提供科学性建议。

1 材料与方法

1.1 仪器

HP7900J E-2000 型电感耦合等离子体质谱仪(美国 Agilent 公司); DM2500 型正置显微镜(德国 Leica); 超纯水仪(Milli-Q Advantage A10)。

1.2 试剂

40 批灵芝孢子粉均为市场上随机购入,其中浙江企业 36 批(来自 29 个生产企业)、江苏企业 2 批、山东企业 1 批、福建企业 1 批,具体信息见表 1;盐酸(优级纯, Merck); 硝酸(优级纯, Merck); 水为自制超纯水; Pb、Cd、As、Cr、Ni 元素混合标准溶液(批号: CDJS-GNM-M221630-2013; 浓度: $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)、Hg 元素标准溶液(批号: CFGG-060080-02-01; 浓度: $1\text{ }000\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)、Cu 元素标准溶液(批号: GNM-M050060-2013; 浓度: $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)、钪(Sc)元素标准溶液(批号: GSB 04-1750-2004; 浓度: $1\text{ }000\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)、钇(Y)元素标准溶液(批号: GSB 04-1788-2004; 浓度: $1\text{ }000\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)、铟(In)元素标准溶液(批号: GSB 04-1731-2004; 浓度: $1\text{ }000\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)、铋(Bi)元素标准溶液(批号: GSB 04-1719-2004; 浓度: $1\text{ }000\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$)均购自上海安谱实验科技股份有限公司。

1.3 样品检测与限度判定

1.3.1 ICP-MS 测定条件 按 GB 5009.268-2016《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》第一法电感耦合等离子体质谱法(inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS)进行测定^[9], 仪器参数设置见表 2。

1.3.2 标准溶液的制备 精密吸取元素标准溶液适量,用 1%硝酸溶液配制成储备液,再用 1%硝酸溶液稀释成 3 组元素标准溶液: Hg 单元素标准溶液浓度为 0, 0.1, 0.2, 0.5, 0.8, $1.0\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; Cu 单元素标准溶液浓度为 0, 1, 20, 100, 500, $1\text{ }000\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$; Pb、Cd、As、Cr、Ni 5 种元素混合标准溶液,浓度为 0, 1, 2, 5, 8, $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 。

1.3.3 内标溶液的制备 精密吸取 Sc、Y、In、Bi 元素标准适量,用 1%硝酸溶液配制成各元素浓度为 $25\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 的混合内标溶液。

1.3.4 供试品溶液的制备 取样品 0.2 g,精密称定,置聚四氟乙烯消解罐中,加入 6.0 mL 硝酸,静置 1 h,旋紧罐盖进行微波消解: 5 min 升至 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$

表 1 样品信息

Tab. 1 Sample information

编号	标示产品名称	标示产品属性	批号/生产日期	生产厂家
1	破壁灵芝孢子粉	保健食品	20191208	JS-1
2	破壁灵芝孢子粉	保健食品	20181215	JS-1
3	破壁灵芝孢子粉	保健食品	F1909101	SD-1
4	破壁灵芝孢子粉	保健食品	1908001	FJ-1
5	破壁灵芝孢子胶囊	保健食品	20190101	ZJ-1
6	破壁灵芝孢子胶囊	保健食品	20190601	ZJ-1
7	破壁灵芝孢子胶囊	保健食品	20190801	ZJ-1
8	破壁灵芝孢子胶囊	保健食品	20191001	ZJ-1
9	破壁灵芝孢子胶囊	保健食品	20191201	ZJ-1
10	破壁灵芝孢子胶囊	保健食品	20200201	ZJ-1
11	破壁灵芝孢子粉	保健食品	20191219	ZJ-2
12	破壁灵芝孢子粉	保健食品	201912-8	ZJ-3
13	灵芝破壁孢子粉	保健食品	20181129	ZJ-4
14	破壁灵芝孢子粉胶囊	保健食品	20191208	ZJ-3
15	孢子粉	食用农产品	2019-09-17	ZJ-5
16	段木灵芝孢子粉	食用农产品	2020-03-09	ZJ-6
17	灵芝孢子粉	中药饮片	20200301	ZJ-7
18	破壁灵芝孢子粉	保健食品	20191206	ZJ-8
19	破壁灵芝孢子粉	保健食品	2018-09-08	ZJ-9
20	破壁灵芝孢子粉	食用农产品	2020-01-11	ZJ-10
21	灵芝孢子粉	食用农产品	2019-10-01	ZJ-11
22	破壁灵芝孢子粉	中药饮片	20190923	ZJ-12
23	破壁灵芝孢子粉	保健食品	20191201	ZJ-13
24	破壁灵芝孢子粉	食用农产品	2019-09-10	ZJ-14
25	破壁灵芝孢子粉	食用农产品	2020-01-09	ZJ-15
26	灵芝孢子粉	食用农产品	2019-04-08	ZJ-16
27	灵芝孢子粉	食用农产品	2019-10-19	ZJ-17
28	灵芝孢子粉	食用农产品	2019-10-21	ZJ-18
29	灵芝孢子粉	食用农产品	2018-06-15	ZJ-19
30	破壁灵芝孢子粉	保健食品	20190906	ZJ-20
31	破壁孢子粉	保健食品	20200309	ZJ-21
32	破壁孢子粉	保健食品	20200108	ZJ-22
33	破壁灵芝孢子粉	保健食品	20191203	ZJ-20
34	破壁灵芝孢子粉	保健食品	20200304	ZJ-20
35	破壁灵芝孢子粉	保健食品	20191203	ZJ-20
36	孢子粉	食用农产品	202-03-17	ZJ-23
37	破壁灵芝孢子粉	食用农产品	2020-01-01	ZJ-24
38	灵芝孢子粉	食用农产品	2019-10-17	ZJ-25
39	灵芝孢子粉	食用农产品	2020-03-16	ZJ-26
40	段木破壁灵芝孢子粉	食品	20200108	ZJ-27

并维持 5 min, 5 min 升至 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并维持 10 min, 5 min 升至 $190\text{ }^{\circ}\text{C}$ 并维持 20 min。消解完成冷却至室温后,将消解液用超纯水转移至 50 mL 量瓶并定容,摇匀,即为供试品溶液。

表 2 ICP-MS 参数
Tab. 2 ICP-MS parameters

参数名称	参数
射频功率	1 550 W
等离子体气流速	15.0 L·min ⁻¹
载气流速	1.0 L·min ⁻¹
辅助气流速	0.90 L·min ⁻¹
氦气流速	4.3 mL·min ⁻¹
雾化器	1.06 L·min ⁻¹
雾化室温度	2 ℃
采样锥/截取锥	镍/铂锥
采样深度	8 mm
采集模式	质谱图
重复次数	3
分析模式	定量

1.3.5 方法学考察

1.3.5.1 线性关系与检出限 取“1.3.2”项下混合标准工作溶液,按“1.3.1”项下条件进行测定。以元素浓度为横坐标,元素和对应内标的计数值比值为纵坐标,绘制 7 种元素的标准曲线,并计算相关系数及检出限,结果显示各元素线性关系良好、检出限低,满足痕量分析要求。结果见表 3。

1.3.5.2 仪器精密度试验 取 3 组标准工作溶液(Hg 单元素标准工作溶液 0.5 μg·L⁻¹, Cu 单元素标准溶液浓度 100 μg·L⁻¹, Pb、Cd、As、Cr、Ni 等 5 种元素混标溶液 5 μg·L⁻¹),各连续进样 6 次,各元素的 RSD 为 0.5%~1.5%,表明仪器精密度良好,结果见表 3。

1.3.5.3 重复性试验 取样品(批号: 20200304),平行 6 份,按“1.3.4”项下方法制备供试品溶液,按“1.3.1”项下条件进行测定,计算各元素含量, RSD 为 0.9%~2.7%,表明样品测试重复性良好。

1.3.5.4 稳定性试验 取样品(批号: 20200304)供试品溶液 1 份,分别于 0, 2, 6, 12, 18, 24 h 按“1.3.1”项下条件进行测定,各元素的 RSD 为 0.5%~1.7%,表明供试品溶液 24 h 内稳定性良好。

1.3.5.5 加样回收试验 取已知各元素含量的样

品(批号: 20200304)6 份,分别精密加入各元素标准溶液适量,按“1.3.4”项下方法制备供试品溶液,按“1.3.1”项下条件进行测定,结算各元素加样回收率为 95.1%~104.7%, RSD 均≤3.0%。

1.3.6 限度值拟定 灵芝孢子粉作为食用农产品、食品、保健食品和中药饮片目前均无相应的国家标准,有相应的团体标准、省级中药炮制规范、保健食品原料要求等^[10-14],笔者所在团队以其中限度要求最严的浙江制造团体标准 T/ZZB 0474-2018 中规定限值^[10]为本次实验的判定限度值,即 Pb≤2.0 mg·kg⁻¹, Cd≤0.5 mg·kg⁻¹, As≤1.0 mg·kg⁻¹, Hg≤1.0 mg·kg⁻¹, Cu≤20.0 mg·kg⁻¹, Cr≤2.0 mg·kg⁻¹, Ni≤1.0 mg·kg⁻¹。

1.4 膳食暴露评估方法^[15-16]

1.4.1 计算方法 采用点评估方法,慢性暴露评估常用的模型见公式(1)。

$$E = C \times \frac{X}{BW} \quad (1)$$

式中 E 表示日均暴露量(mg·kg⁻¹); C 表示灵芝孢子粉中各重金属元素的质量分数(mg·kg⁻¹); X 表示灵芝孢子粉每日食用孢子粉质量(kg); BW 表示评估人群的体质量(kg)。孢子粉主要消费人群为成人,本次评估以 60 kg 计。

具有累积性的有害物质通常采用耐受摄入量来评估人群的摄入安全性,本次评估采用暂定每月耐受量(provisional tolerable monthly intake, PTMI),将公式(1)调整为公式(2)。

$$E_m = 30 \times C \times \frac{X}{BW} \quad (2)$$

式中 E_m 表示每月摄入量(mg·kg⁻¹)。

以膳食安全限值(margin of safety, MOS)对 7 种重金属元素进行膳食暴露安全性评估,见公式(3)。

$$MOS = \frac{E_m}{PTMI} \quad (3)$$

表 3 各元素线性范围、仪器精密度、检出限、背景等效浓度

Tab. 3 Linear relationship, instrument precision, detection limit and background equivalent concentration of each element

元素	内标	浓度范围/μg·L ⁻¹	回归方程	r	仪器精密度/%	检出限/μg·L ⁻¹	背景等效浓度/μg·L ⁻¹
Pb	Bi	0~10	$y=1.401\ 4x+0.126\ 7$	0.999 8	1.1	0.011 620	0.090 390
Cd	In	0~10	$y=0.075\ 2x+0.000\ 09057$	0.999 9	1.3	0.004 051	0.001 205
As	Y	0~10	$y=0.030\ 1x-0.000\ 04546$	0.999 8	1.5	0.002 305	-0.001 509
Cr	Sc	0~10	$y=2.041\ 2x+0.063\ 5$	0.999 6	0.9	0.008 381	0.031 120
Ni	Sc	0~10	$y=1.243\ 3x+0.060\ 0$	0.999 6	1.2	0.035 240	0.048 290
Hg	Bi	0~1.0	$y=0.420\ 3x+0.000\ 08487$	0.997 9	1.0	0.001 365	0.000 202
Cu	Sc	0~1 000	$y=3.708\ 2x+0.358\ 2$	0.999 9	0.5	0.039 890	0.096 610

1.4.2 灵芝孢子粉中重金属暴露评估标准

1.4.2.1 PTMI 标准 Pb、Cd、As、Hg 和 Cr 的风险评估评价指标采用联合国粮食及农业组织(FAO)/世界卫生组织(WHO)食品添加剂联合专家委员会(JECFA)2010 年公布的健康指导值^[17],其中 Pb 的 PTMI 为 0.025 mg·kg⁻¹(每 kg 体质量计,下同)、Cd 的 PTMI 为 0.025 mg·kg⁻¹、As 的 PTMI 为 0.015 mg·kg⁻¹、Hg 的 PTMI 为 0.005 mg·kg⁻¹、Cr 的 PTMI 为 0.006 7mg·kg⁻¹;Ni 的风险评估评价指标采用《香港首个总膳食研究:金属污染物》^[18]中 Ni 的每千克体质量每日可耐受最高摄入量(tolerable upper intake level, UL)为 0.012 mg·kg⁻¹(换算每月 UL 为 0.36 mg·kg⁻¹);Cu 的风险评估评价指标采用《中国居民膳食营养素参考摄入量第 3 部分:微量元素》^[19]中 Cu 的每日 UL 为 8.0 mg·d⁻¹(换算每月 UL 为 240 mg)。

1.4.2.2 MOS 值 MOS≥1 表示该物质对人体健康存在一定的风险, MOS<1 表示该物质对人体健康的风险可接受。

2 结果

2.1 灵芝孢子粉中各重金属元素含量

40 批孢子粉中均检出 Pb、Cd、As、Hg、Cu、Cr、Ni 等 7 种重金属元素, 7 种重金属元素检出率均为 100%。40 批灵芝孢子粉中重金属超标的有 8 批, 合格率为 80.0%, 其中 Cr 元素超标有 4 批, 超标率 10.0%; Ni 元素超标有 4 批, 超标率为 10.0%; Cu 超标有 3 批, 超标率为 7.5%; Cd 元素超标有 1 批, 超标率为 2.5%; As、Hg 和 Pb

等 3 种元素均在限值范围内(其中 Hg 元素, 40 批次检测值均为 0.01 mg·kg⁻¹)。40 批灵芝孢子粉中 7 种重金属元素的最大值(max)、最小值(min)、中位数(P₅₀)、第 95 百分位数(P₉₅)和平均值($\bar{x}$)见表 4。

表 4 灵芝孢子粉中 7 种元素含量的测定结果

Tab. 4 Determination results of seven elements in Ganoderma spore powder mg·kg⁻¹

元素	$\bar{x}$	max	min	P ₅₀	P ₉₅	拟定 限值
Cr	0.82	7.49	0.01	0.12	6.21	2.0
Ni	0.53	4.06	0.07	0.23	3.03	1.0
Cu	16.2	26.0	10.2	15.4	20.2	20.0
Cd	0.24	0.55	0.14	0.22	0.36	0.5
As	0.13	0.40	0.04	0.10	0.37	1.0
Pb	0.03	0.10	0.01	0.03	0.08	2.0
Hg	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.1

2.2 膳食暴露评估情况

2.2.1 7 种元素的每月膳食暴露评估 灵芝孢子粉推荐每日食用量为 4~10 g, 本次评估以最小食用量和最大食用量分别进行评估, 即以 0.004 kg 和 0.01 kg 计; 灵芝孢子粉主要消费人群为成人, 本次评估人群体质量以 60 kg 计。以 Pb、Cd、As、Hg、Cr、Ni 6 种元素的 max、min、P₅₀、P₉₅ 和 $\bar{x}$ 分别计算相应的每月膳食暴露量, 见表 5; 以 Cu 元素的 max、min、P₅₀、P₉₅ 和 $\bar{x}$ 分别计算相应每月膳食暴露总量。结果见表 6。

2.2.2 7 种元素的膳食安全评估 以最小食用量和最大食用量分别进行评估, 即以 0.004 kg 和 0.01 kg 计; 分别计算 7 种元素的 max、min、P₅₀、P₉₅ 和 $\bar{x}$ 的相应 MOS。结果见表 7。

表 5 灵芝孢子粉中 Pb、Cd、As、Hg、Cr、Ni 6 种元素的每月膳食暴露量

Tab. 5 Monthly dietary exposure of 6 elements of Pb, Cd, As, Hg, Cr, Ni in Ganoderma spore powder

		元素	$\bar{x}$	max	min	P ₅₀	P ₉₅	PTMI
Cr	每日食用 0.004 kg		0.001 64	0.014 98*	0.000 02	0.000 24	0.012 42*	0.006 7
	每日食用 0.01 kg		0.004 10	0.037 45*	0.000 05	0.000 60	0.031 05*	
Ni	每日食用 0.004 kg		0.001 06	0.008 12	0.000 14	0.000 46	0.006 06	0.360 0
	每日食用 0.01 kg		0.002 65	0.020 30	0.000 35	0.001 15	0.015 15	
Cd	每日食用 0.004 kg		0.000 48	0.001 10	0.000 28	0.000 44	0.000 72	0.025 0
	每日食用 0.01 kg		0.001 20	0.002 75	0.000 70	0.001 10	0.001 80	
As	每日食用 0.004 kg		0.000 26	0.000 80	0.000 08	0.000 20	0.000 74	0.015 0
	每日食用 0.01 kg		0.000 65	0.002 00	0.000 20	0.000 50	0.001 85	
Pb	每日食用 0.004 kg		0.000 06	0.000 20	0.000 02	0.000 06	0.000 16	0.025 0
	每日食用 0.01 kg		0.000 15	0.000 50	0.000 05	0.000 15	0.000 40	
Hg	每日食用 0.004 kg		0.000 02	0.000 02	0.000 02	0.000 02	0.000 02	0.005 0
	每日食用 0.01 kg		0.000 05	0.000 05	0.000 05	0.000 05	0.000 05	

注: *表示超出 PTMI 标准。

Note: *represented exceeding the limit requirements of PTMI.

表 6 灵芝孢子粉中 Cu 元素的每月 UL

Tab. 6 Month UL of Cu in Ganoderma spore powder

							mg
元素		$\bar{x}$	max	min	P_{50}	P_{95}	每月 UL
Cu	每日食用 0.004 kg	1.994 0	3.120 0	1.224 0	1.848 0	2.424 0	240
	每日食用 0.01 kg	4.860 0	7.800 0	3.060 0	4.620 0	6.060 0	

表 7 灵芝孢子粉中 7 种元素的膳食安全情况

Tab. 7 Dietary safety of seven elements in Ganoderma spore powder

元素		$\bar{x}$	max	min	P_{50}	P_{95}
Cr	每日食用 0.004 kg	0.25	2.24 [#]	<0.01	0.04	1.85 [#]
	每日食用 0.01 kg	0.61	5.59 [#]	0.01	0.09	4.63 [#]
Ni	每日食用 0.004 kg	<0.01	0.02	<0.01	<0.01	0.02
	每日食用 0.01 kg	0.01	0.06	<0.01	<0.01	0.04
Cd	每日食用 0.004 kg	0.02	0.04	0.01	0.02	0.03
	每日食用 0.01 kg	0.05	0.11	0.03	0.04	0.07
Cu	每日食用 0.004 kg	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
	每日食用 0.01 kg	0.02	0.03	0.01	0.02	0.03
As	每日食用 0.004 kg	0.02	0.05	0.01	0.01	0.05
	每日食用 0.01 kg	0.04	0.13	0.01	0.03	0.12
Pb	每日食用 0.004 kg	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	0.01
	每日食用 0.01 kg	0.01	0.02	<0.01	0.01	0.02
Hg	每日食用 0.004 kg	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
	每日食用 0.01 kg	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01

注: [#]表示该物质对人体健康存在一定的风险。

Note: [#]indicated that the substance had certain risks to human health.

3 讨论

金属元素是生物体的基本组成之一,对生长发育和新陈代谢均起着一定的作用,但当浓度过高时,会对人体产生严重危害,如 Cr 过量会对胃肠道、呼吸道、皮肤等产生损伤引发相应的疾病,严重者引起癌变^[20]; Ni 在人体内蓄积会导致肺等重要器官的损伤,诱发肺癌等^[21-22]。本研究结果显示,按项目组设定的评估条件,灵芝孢子粉中 Cr 元素的膳食暴露存在一定风险,按照灵芝孢子粉产品推荐的每日最大食用量和每日最小食用量,其每月暴露量的 P_{95} 分别为 PTMI 的 463.43% 和 185.37%,且 MOS 均>1,给人体带来较高的健康风险。样品超标率同样为 10%的 Ni 元素,其检测结果 max 和 P_{95} ,以每日最大食用量计算相应的每月暴露量,分别为 PTMI 的 5.6%和 4.2%,且 MOS 均<1,可能产生的健康风险较低; Pb、Cd、As、Hg、Cu 等 5 种元素的 max 和 P_{95} 的每月暴露量和相对应的 MOS,均表明该元素对人体造成健康风险的可能性极低。

徐靖等^[22]研究表明,灵芝孢子粉在破壁过程

中因原料与破壁设备长时间接触及猛烈震动使得不锈钢材质的破壁设备的 Ni 等元素对物料造成一定程度的污染,本研究 Ni 元素超标的 4 批样品均为破壁灵芝孢子粉,验证了 Ni 元素由破壁设备带入这一论点。提示灵芝孢子粉产业应对该情况引起重视,加强风险管理,对生产设备或生产技术等进行改进,在灵芝孢子粉破壁预期实现的前提下,减少物料与设备的接触时间,降低 Ni 元素污染风险。

本研究采用的评估方法为点评估方法,操作简单、便于理解。点评估方法是基于最坏情况的设定,项目组对食用人群设定为标准人(60 kg),未考虑其他每日所使用物质中 Pb、Cd、As、Hg、Cu、Cr、Ni 7 种重金属元素的暴露情况,不能全面和真实反映消费者膳食摄入该 7 种重金属的暴露风险,仅是反映了消费者摄入灵芝孢子粉产品中该 7 种重金属元素暴露风险。敏感人群如恶性肿瘤患者、孕妇等,摄入该 7 种重金属元素高暴露量的灵芝孢子粉,可能给其带来比设定人群更大的潜在健康风险。

笔者所在团队对灵芝孢子粉中 Pb, Cd, As, Hg, Cu, Cr, Ni 7 种重金属元素累积暴露情况进行评估初探, 为灵芝孢子粉及其他药食两用物质的重金属残留风险评估工作提供了新的思路。

REFERENCES

- [1] 中国药典. 一部[S]. 2020: 195-196.
- [2] 毛泉明, 叶福媛, 吴倩, 等. 栽培灵芝与灵芝孢子粉有效成分含量比较[J]. 药学实践杂志, 1997, 15(3): 172-173.
- [3] ZHU J H, LI T M, CHEN Y, et al. Research of the dry extract and spore powder of *Canoderma lucidum* on the immunoregulation function of the mice[J]. Acta Edulis Fungi(食用菌学报), 2004, 11(4): 24-27.
- [4] LU M, WANG K F. Studies on the maize pollen, polysacchrides of maize pollen(PPM) and maize spores' inhibiting effect to the proliferation of sarcoma 180 cells[J]. J Bee(蜜蜂杂志), 2002, 22(11): 5-6.
- [5] SAHNG D J, LI Q W, CUI Q, et al. Study on antioxidative and antitumor effect of selenium containing polysaccharide in *Ganoderma lucidum* in mice[J]. Acta Nutrimenta Sin(营养学报), 2002, 24(3): 249-251.
- [6] ZHANG W M, SUN X M, WU S L, et al. Studies on the regulation of the blood fat function of ganderoma lucium spores powder[J]. Chin Wild Plant Resour(中国野生植物资源), 2001, 20(2): 14-16.
- [7] LIU X, YUAN J G, ZHONG Z Q, et al. Effects of *Ganoderma lucidum* spore-pollen on mouse hepatoma and liver protection[J]. Chin J Integr Tradit West Med Liver Dis(中西医结合肝病杂志), 2000, 10(5): 31-32.
- [8] WANG H B, HONG ZH P, LI Z Y, et al. Study on the antithrombotic and cardiac function improvement effects of *Ganoderma lucidum* spore powder with different manufacturing techniques[J]. Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药学), 2021, 38(19): 2367-2373.
- [9] GB 5009.268-2016, 食品安全国家标准 食品中多元素的测定[S]. 2016.
- [10] T/ZZB 0474-2018, 破壁灵芝孢子粉[S]. 2018.
- [11] 浙江省中药炮制规范[S]. 2015: 336-339.
- [12] T/AHPCA 009-2019, 破壁灵芝孢子粉[S]. 2019.
- [13] GH/T 1133-2017, 灵芝破壁孢子粉[S]. 2017.
- [14] 关于发布辅酶 Q10 等五种保健食品原料目录的公告: 破壁灵芝孢子粉原料技术要求[S]. 2020.
- [15] 罗祎. 食品安全风险分析化学危害评估[M]. 北京: 中国质检出版社, 2012: 64-89.
- [16] FENG Y M, ZHENG D S, LI J C, et al. Risk assessment of residents' dietary exposure of cadmium in Miyun district of Beijing[J]. J Food Saf Qual(食品安全质量检测学报), 2017, 8(1): 355-359.
- [17] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-third report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives[R]. Geneva: WHO, 2010: 162-177.
- [18] 香港特别行政区政府食物环境卫生署食品安全中心. 香港首个总膳食研究第五号报告-香港首个总膳食研究: 金属污染物[R]. 2013.
- [19] WS/T 578.3-2017, 中国居民膳食营养素参考摄入量 第3部分: 微量元素[S]. 2017.
- [20] LIU J, LI S X, ZHUJIANG, et al. Discussion on the harm to human body by several kinds of heavy metal elements and preventive measures[J]. China Resour Compr Util(中国资源综合利用), 2018, 36(3): 182-184.
- [21] WEI Y H, HUANG Q C, SU X F. Review on the toxicological effect and the mechanism of nickel to the human health[J]. Environ Sci Manag(环境科学与管理), 2008, 33(9): 45-48.
- [22] XU J, LIU Z F, WANG Y, et al. Determination of inorganic elements in *Ganoderma lucidum* spore powder with different treatments of wall-broken methods by microwave Digestion-ICP-MS[J]. Chin J Mod Appl Pharm(中国现代应用药学), 2014, 31(7): 813-817.

收稿日期: 2022-02-21
(本文责编: 陈怡心)