

# 不同品种灵芝子实体及孢子粉元素成分分析及重金属安全性评价

潘少香<sup>1</sup>, 赵岑<sup>2</sup>, 闫新焕<sup>1</sup>, 李洪霄<sup>2</sup>, 刘雪梅<sup>1</sup>, 宋焯<sup>1</sup>, 吴茂玉<sup>1</sup>, 马超<sup>1</sup>, 熊永星<sup>2\*</sup>, 郑晓冬<sup>1\*</sup>

(1. 中华全国供销合作总社济南果品研究院, 山东省果蔬贮藏加工技术创新中心, 山东济南 250014)

(2. 聊城市农业科学院, 山东聊城 252000)

**摘要:** 针对我国鲁西地区主栽灵芝品种, 利用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)测定不同品种灵芝子实体、孢子粉及破壁孢子粉中元素及重金属含量, 开展元素成分分析及重金属安全性评价。元素成分分析结果表明, 藏芝和香血灵芝子实体中大部分元素含量明显高于赤芝、美芝和新大片子实体中元素含量, 特别是Fe、Cu、Zn、Mn、Se、B、V、Co、Sr 9种人体必需微量元素, 其中藏灵芝子实体中Fe元素含量达到234 mg/kg, Zn元素含量达到57.9 mg/kg, Se含量达到0.309 mg/kg, 香血灵芝子实体样品Sr元素含量最高, 达到3.60 mg/kg。赤芝粉和赤芝椴木粉元素营养质量高于美芝粉和新大片孢子粉元素营养质量, 赤芝粉和赤芝椴木粉中硒含量分别是美芝粉中硒含量的3倍和2倍。重金属安全性分析结果表明5种灵芝子实体与4种孢子粉样品Pb、Hg 2种重金属含量远低于相关标准, 安全性较高, 藏芝及香血灵芝子实体、新大片孢子粉样品As元素含量较高, 具有一定的安全性风险。破壁技术会造成孢子粉中As、Pb、Cd、Cr、Cu、Ni金属元素含量不同程度的提高, 孢子粉破壁过程中重金属存在一定的安全风险。

**关键词:** 灵芝; 孢子粉; 元素; 重金属; 破壁技术

文章编号: 1673-9078(2023)02-319-324

DOI: 10.13982/j.mfst.1673-9078.2023.2.0254

## Element Composition Analysis and Heavy Metal Safety Evaluation of Different Varieties of *Ganoderma lucidum* Fruit Bodies and Their Spore Powders

PAN Shaoxiang<sup>1</sup>, ZHAO Cen<sup>2</sup>, YAN Xinhuan<sup>1</sup>, LI Hongxiao<sup>2</sup>, LIU Xuemei<sup>1</sup>, SONG Ye<sup>1</sup>, WU Maoyu<sup>1</sup>, MA Chao<sup>1</sup>, XIONG Yongxing<sup>2\*</sup>, ZHENG Xiaodong<sup>1\*</sup>

(1. Ji'nan Fruit Research Institute, China Supply and Marketing Cooperatives, Shandong Province Fruit and Vegetable Storage and Processing Technology Innovation Center, Jinan 250014, China)

(2. Liaocheng Academy of Agricultural Sciences, Liaocheng 252000, China)

**Abstract:** The contents of elements and heavy metals in the fruit body, spore powder and cell wall -broken spore powder of different *Ganoderma lucidum* (*G. lucidum*) varieties cultivated mainly in the west of Shandong province of China were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). Element composition analysis and safety evaluation of heavy metals were conducted. The results of elemental composition analysis showed that the contents of most elements in the fruit bodies of *G. lucidum* of Zangzhi and Xiangxueshi were significantly higher than those of Chizhi, Meizhi and Xindapian samples, especially the 9 essential microelements for the human body such as

引文格式:

潘少香,赵岑,闫新焕,等.不同品种灵芝子实体及孢子粉元素成分分析及重金属安全性评价[J].现代食品科技,2023,39(2):319-324

PAN Shaoxiang, ZHAO Cen, YAN Xinhuan, et al. Element composition analysis and heavy metal safety evaluation of different varieties of *Ganoderma lucidum* fruit bodies and their spore powders [J]. Modern Food Science and Technology, 2023, 39(2): 319-324

收稿日期: 2022-03-07

基金项目: 聊城市农业科学院灵芝采后加工项目(202012-202212)

作者简介: 潘少香(1989-), 男, 副研究员, 研究方向: 食品质量安全及控制, E-mail: panshaoxiang@126.com

通讯作者: 熊永星(1982-), 男, 高级工程师, 研究方向: 灵芝品种创新应用、功能性食品生产, E-mail: 845009870@qq.com; 共同通讯作者: 郑晓冬(1983-),

男, 硕士, 副研究员, 研究方向: 食品质量安全与控制, E-mail: zhxd1106@163.com

Fe, Cu, Zn, Mn, Se, B, V, Co and Sr. The content of Fe, Zn and Se in the fruit body of *G. lucidum* reached 234 mg/kg, 57.9 mg/kg and 0.309 mg/kg, respectively. The content of Sr in Xiangxueshi *G. lucidum* was the highest, reaching 3.60 mg/kg. The element nutritional qualities of Chizhi powder and ganoderma basswood powder were higher than those of Meizhi powder and Xindapian powder. The selenium contents of Chizhi spore powder and *Ganoderma basswood* powder were 3 times and 2 times, respectively, that of Meizhi powder. Heavy metal safety analysis results show that the Pb and Hg contents of the 5 kinds of *G. lucidum* and 4 kinds of spore powder were far lower than those of the related standards, thus, the safety was higher. The As element contents of Zangzhi, Xiangquezhi and Xindapian spore powders were high, indicating certain safety risk. The contents of As, Pb, Cd, Cr, Cu and Ni metal elements in the spore powders increased in the process of sporoderm breaking, thus, the sporoderm breaking process may bring in certain safety risk to *Ganoderma lucidum* spore powder.

**Key words:** *Ganoderma lucidum* spore powder; element, heavy metal; sporoderm breaking

灵芝 (*Ganoderma lucidum*) 是担子菌纲 (Homobasidiomycetes) 多孔菌科 (Polyporaceae) 灵芝属 (*Ganoderma*) 真菌, 是一种食药两用的真菌, 具有抗肿瘤、调节免疫等作用<sup>[1,2]</sup>。灵芝孢子粉是灵芝生长成熟时从菌盖弹射出来的淡雾状的极其微小的孢子, 主要含有多糖类、三萜类、甾醇类和生物碱类等活性成分, 具有抗癌、保肝、降血脂、降血糖、抗缺氧、抗炎、清除自由基以及免疫调节等多种药理学作用<sup>[3-5]</sup>。我国是世界上灵芝主要的生产国和出口国, 2019年灵芝产量 18.55 万 t, 占全球产量的 75%。目前灵芝的种植以人工栽培为主, 我国灵芝种植主要分为四大种植区域, 分别为闽浙的武夷山及龙泉区域、东北吉林长白山区域、安徽一带大别山区域和山东鲁西区域, 这四大区域的孢子粉产量占全国总产量的 60% 以上<sup>[6]</sup>。赤芝、美芝、新大片是目前市场主栽的灵芝品种, 藏芝、香血芝因其价值较高在山东鲁西区域逐渐被引进种植。

灵芝子实体和孢子粉中含有钙、镁、铁、锌、铜、硒等丰富的微量元素, 其中丰富的硒元素越来越引起学者的关注<sup>[7]</sup>。灵芝孢子粉作为保健品, 越来越受到人们的青睐, 其安全性也倍受关注。由于近年来环境污染严重, 灵芝孢子粉易受污染, 特别是有害重金属的蓄积问题<sup>[8,9]</sup>。灵芝孢子细胞壁极为坚固, 由几丁质、纤维素和木质素等物质组成, 直接服用很难被胃酸消化, 在实际应用中, 将灵芝孢子粉破壁后食用, 或破壁提取灵芝孢子粉有效成分食用是主流服用方式<sup>[10]</sup>。目前主要工业应用的灵芝孢子粉破壁加工方法是机械破壁法<sup>[11]</sup>, 机械方法常会增加破壁灵芝孢子粉金属元素含量, 甚至造成超标<sup>[6,11-13]</sup>, 因此对于破壁灵芝孢子粉的金属元素含量评估是非常重要的。

本研究针对我国鲁西地区主栽灵芝品种, 利用电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 测定灵芝子实体及孢子粉中元素及重金属含量, 开展元素质量及安全分析评价, 同时研究目前破壁孢子粉企业广泛应用的挤压破壁方式对孢子粉重金属含量的影响, 以期对灵芝

子实体及孢子粉的生产 and 深加工提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 原料

美芝、赤芝、新大片、香血芝、藏芝等灵芝子实体、孢子粉及破壁孢子粉样品均从鲁西地区灵芝生产基地采取, 美芝、赤芝、新大片、香血芝、藏芝等灵芝子实体均为代料栽培灵芝, 赤芝粉、美芝粉、新大片粉均为代料栽培灵芝孢子粉, 赤芝椴木粉为椴木栽培灵芝孢子粉。

### 1.2 仪器与设备

WX-8000 微波消解仪, 上海屹尧仪器科技发展有限公司; ICAP 电感耦合等离子体质谱仪, 美国赛默飞世尔科技公司; Milli-Q 超纯水系统, 德国默克密理博有限公司。

### 1.3 实验方法

#### 1.3.1 元素检测方法

##### 1.3.1.1 微波消解条件

称取 0.3 g 样品, 于微波消解内罐中, 加入 5 mL 纯硝酸, 摇匀, 放入微波消解仪中, 按微波消解程序进行消解 (见表 1)。消解完成后, 将消解罐转移至电热板上赶酸, 赶酸至近干, 加水溶解并转移至 25 mL 容量瓶中, 定容, 摇匀<sup>[14]</sup>。

表 1 微波消解程序

Table 1 Microwave digestion program

步骤	温度/°C	压力/atm	时间/min	功率/W
1	120	15	2	1 000
2	170	20	5	1 000
3	190	25	10	1 000

##### 1.3.1.2 仪器工作参数

ICP-MS 法仪器工作参数为: 功率 1 550 W, 冷却气流量 14.0 L/min, 雾化气流量 1.0 L/min, 辅助气流

量 0.8 L/min, 样品提升量 4.0 L/min, 采样深度 7.8 mm, 重复采样 3 次<sup>[14]</sup>。

### 1.3.2 孢子粉破壁率

孢子粉破壁率检测方法参照 NY/T 1677-2008《破壁灵芝孢子粉破壁率的测定》<sup>[15]</sup>。

## 1.4 数据分析

实验数据表示为平均值±标准差 (mean±SD, n=3), 每个样品重复 3 次, 取平均值。实验数据采用 DPS 统计软件进行分析, 方差分析 (ANOVA) 用于显著性分析, 以  $P<0.05$  为差异具有统计学意义; 点线图由 Origin 9.0 软件绘制完成, 聚类热图由 R 软件分析完成, 聚类方式采用欧氏距离法。

## 2 结果与讨论

### 2.1 不同品种灵芝子实体元素差异分析

利用 ICP-MS 法对赤芝、美芝、新大片、香血芝、藏芝 5 种灵芝子实体样品中 K、Ca、Na、Mg、Al、Fe、Cu、Zn、Mn、Se、Ni、B、Ti、V、Co、Sr、Ba17 种元素进行测定, 测定结果见表 2。除 K、Ca、Na、Mg 四种常量元素外, Fe、Cu、Zn、Mn 4 种微量元素在 5 种灵芝子实体中含量相对较高, 这与闫征等<sup>[16]</sup>、何晋浙等<sup>[17]</sup>研究结果一致。将 5 种灵芝子实体样品元素含量进行 z-score 标准化, 消除各元素间量纲差异后做聚类热图, 见图 1。由图 1 可知, 不同品种灵芝子实体样品中元素含量差异明显, 藏芝和香血芝样品元素含量明显高于赤芝、美芝和新大片样品元素含量。

由表 2 可知, 5 种子实体常量元素含量差异显著, K 含量范围 1 178~5 999 mg/kg, Ca 元素含量范围为 186~1 235 mg/kg, Na 元素含量范围 62.3~113 mg/kg, Mg 元素含量范围 173~1 283 mg/kg。在 Fe、Cu、Zn、Mn、Se、B、V、Co、Sr 9 种人体必需微量元素中, 除 B、Cu、Sr 3 种元素外, 藏芝子实体中其余 6 种微量元素含量均为最高, Fe 元素含量达到 234 mg/kg、Zn 元素含量达到 57.9 mg/kg、Se 达到 0.309 mg/kg。香血芝子实体样品 B、Cu、Sr 3 种元素含量最高, 分别为 5.75、54.1、3.60 mg/kg。5 种灵芝子实体中赤芝子实体 Fe、Cu、Se、Sr 4 种微量元素含量相对较低, 新大片子实体 Zn、Mn、V、Co 4 种元素含量相对较低; 美芝子实体 9 种微量元素含量均高于赤芝和新大片样品, 低于藏芝和香血芝子实体样品。由表 2 和图 1 可

知, 赤芝、美芝、新大片 3 种灵芝子实体微量元素含量低于藏芝和香血芝子实体, 这可能是因为赤芝、美芝、新大片品种是经多年培育的产孢子粉灵芝品种, 子实体元素品质质量稍差。

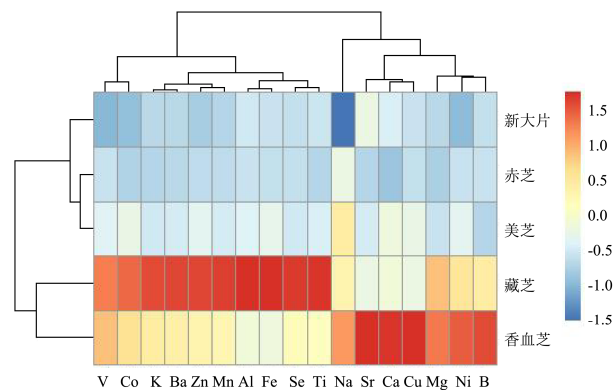


图 1 不同品种灵芝子实体元素聚类热图

Fig.1 Cluster heat map of elements of different varieties of *Ganoderma lucidum*

注: 图例中数字为样品元素含量 z-score 标准化后数据范围, 不同颜色代表样品元素含量差异。

### 2.2 不同品种灵芝孢子粉元素差异性分析

选取赤芝粉、美芝粉、新大片粉 3 种目前鲁西地区主要的灵芝孢子粉样品, 同时以赤芝椴木粉为对照, 分析赤芝粉、美芝粉、新大片粉 3 种孢子粉元素营养质量。4 种孢子粉 17 种元素含量见表 3。由表 3 可知, 灵芝孢子粉中元素分布规律与灵芝子实体中元素分布规律相似, 微量元素中 Fe、Cu、Zn、Mn 4 种微量元素含量较高, 与程齐来等<sup>[18]</sup>研究结果一致。不同品种孢子粉元素含量差异显著, 赤芝粉常量元素 K、Ca 含量较高, 美芝粉常量元素 Na、Mg 含量较高, 赤芝椴木粉常量元素 Ca 含量低于赤芝粉、美芝粉、新大片粉 3 种孢子粉, 赤芝椴木粉 K、Na、Mg 3 种元素含量介于赤芝粉、美芝粉、新大片粉 3 种孢子粉之间。

在 Fe、Cu、Zn、Mn、Se、B、V、Co、Sr 9 种人体必需微量元素中, 赤芝椴木粉中 Fe、Cu、V、Sr 4 种元素含量较高, 赤芝粉中 Zn、Mn、Se、B 4 种元素含量较高, 美芝粉和新大片孢子粉中 Fe、Cu、Zn、Mn、Se、B、V 7 种人体必需微量元素含量显著低于赤芝粉和赤芝椴木粉, 说明赤芝粉和赤芝椴木粉元素营养质量高于美芝粉和新大片孢子粉元素营养质量, 特别是营养元素硒, 赤芝粉和赤芝椴木粉中硒含量分别是美芝粉中硒含量的 3 倍和 2 倍。

表 2 不同品种灵芝子实体元素分布

Table 2 Element content of different varieties of *Ganoderma lucidum*

子实体品种	元素含量/(mg/kg)					
	K	Ca	Na	Mg	Al	Fe
藏芝	5 999±17 <sup>a</sup>	495±1 <sup>b</sup>	82.1±2.3 <sup>b</sup>	1 035±4 <sup>b</sup>	144±1 <sup>a</sup>	234±0 <sup>a</sup>
赤芝	1 178±26 <sup>d</sup>	186±4 <sup>d</sup>	62.3±3.7 <sup>c</sup>	173±4 <sup>e</sup>	3.45±0.18 <sup>c</sup>	9.50±0.41 <sup>e</sup>
美芝	1 629±12 <sup>c</sup>	466±4 <sup>b</sup>	87.7±1.5 <sup>b</sup>	288±3 <sup>c</sup>	14.9±0 <sup>c</sup>	40.0±0.1 <sup>c</sup>
香血芝	3 626±86 <sup>b</sup>	1 235±28 <sup>a</sup>	113±7 <sup>a</sup>	1 283±23 <sup>a</sup>	31.8±0.7 <sup>b</sup>	54.4±0.8 <sup>b</sup>
新大片	1 265±18 <sup>d</sup>	362±8 <sup>c</sup>	14.6±1.4 <sup>d</sup>	230±6 <sup>d</sup>	7.45±0.38 <sup>d</sup>	14.7±0.1 <sup>d</sup>

子实体品种	元素含量/(mg/kg)					
	Cu	Zn	Mn	Se	Ni	B
藏芝	11.6±0 <sup>b</sup>	57.9±0.1 <sup>a</sup>	10.3±0 <sup>a</sup>	0.309±0.010 <sup>a</sup>	0.215±0.002 <sup>b</sup>	3.11±0.16 <sup>b</sup>
赤芝	3.11±0.02 <sup>e</sup>	7.49±0.04 <sup>d</sup>	1.05±0.01 <sup>d</sup>	0.024 2±0.003 1 <sup>c</sup>	0.093 2±0.000 8 <sup>d</sup>	0.706±0.176 <sup>c</sup>
美芝	10.6±0.1 <sup>c</sup>	14.4±0.1 <sup>c</sup>	1.73±0.01 <sup>c</sup>	0.037 2±0.002 9 <sup>c</sup>	0.117±0.001 <sup>c</sup>	0.400±0.130 <sup>c</sup>
香血芝	54.1±0 <sup>a</sup>	28.9±0.2 <sup>b</sup>	4.78±0.06 <sup>b</sup>	0.122±0.014 <sup>b</sup>	0.316±0.001 <sup>a</sup>	5.75±0.35 <sup>a</sup>
新大片	3.55±0.02 <sup>d</sup>	4.32±0.06 <sup>e</sup>	0.773±0.016 <sup>e</sup>	0.025 2±0.0011 <sup>c</sup>	0.0508±0 <sup>e</sup>	0.599±0.131 <sup>c</sup>

子实体品种	元素含量/(mg/kg)				
	Ti	V	Co	sr	Ba
藏芝	3.27±0.07 <sup>a</sup>	0.307±0.001 <sup>a</sup>	0.083 1±0.000 5 <sup>a</sup>	1.40±0 <sup>b</sup>	2.07±0.021 2 <sup>a</sup>
赤芝	0.150±0.011 <sup>d</sup>	0.066 5±0.002 7 <sup>d</sup>	0.010 8±0.000 1 <sup>d</sup>	0.882±0.018 <sup>d</sup>	0.151±0.007 1 <sup>d</sup>
美芝	0.484±0.007 <sup>c</sup>	0.093 0±0.001 3 <sup>c</sup>	0.027 2±0.000 3 <sup>c</sup>	1.14±0.01 <sup>c</sup>	0.302±0.006 4 <sup>c</sup>
香血芝	1.18±0.01 <sup>b</sup>	0.254±0.005 <sup>b</sup>	0.055 8±0 <sup>b</sup>	3.60±0.08 <sup>a</sup>	1.04±0.014 1 <sup>b</sup>
新大片	0.354±0.007 <sup>c</sup>	0.011 8±0.002 3 <sup>e</sup>	0.004 60±0.000 10 <sup>e</sup>	1.41±0.004 <sup>b</sup>	0.139±0.008 5 <sup>d</sup>

注: 同列右肩不同的小写字母表示具有显著差异 ( $P<0.05$ )。表 3 同。

表 3 不同品种灵芝孢子粉元素分布

Table 3 Element content of different varieties of *Ganoderma lucidum* spore power

孢子粉品种	元素含量/(mg/kg)					
	K	Ca	Na	Mg	Al	Fe
赤芝粉	2 389±4 <sup>a</sup>	833±4 <sup>a</sup>	50.4±0.6 <sup>b</sup>	278±0 <sup>c</sup>	29.1±0.1 <sup>b</sup>	45.0±1.2 <sup>b</sup>
美芝粉	1 543±3 <sup>c</sup>	428±1 <sup>c</sup>	95.5±0.1 <sup>a</sup>	599±2 <sup>a</sup>	18.7±0.3 <sup>c</sup>	43.0±0.1 <sup>b</sup>
新大片孢子粉	1 291±38 <sup>d</sup>	521±15 <sup>b</sup>	58.0±4.3 <sup>b</sup>	235±5 <sup>d</sup>	5.57±0.35 <sup>d</sup>	11.7±0.4 <sup>c</sup>
赤芝椴木粉	1 746±49 <sup>b</sup>	306±7 <sup>d</sup>	94.6±2.6 <sup>a</sup>	546±8 <sup>b</sup>	35.4±1.1 <sup>a</sup>	69.8±0.5 <sup>a</sup>

孢子粉品种	元素含量/(mg/kg)					
	Cu	Zn	Mn	Se	Ni	B
赤芝粉	16.3±0.1 <sup>b</sup>	38.8±0.2 <sup>a</sup>	2.08±0.01 <sup>a</sup>	0.236±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>d</sup>	1.63±0.144
美芝粉	13.8±0 <sup>c</sup>	32.8±0.1 <sup>b</sup>	1.45±0 <sup>c</sup>	0.088 0±0.001 3 <sup>c</sup>	0.063 3±0.000 1 <sup>b</sup>	0±0 <sup>d</sup>
新大片孢子粉	12.0±0 <sup>d</sup>	22.9±0.2 <sup>c</sup>	1.01±0.01 <sup>d</sup>	0.106±0.007 <sup>c</sup>	0.054 7±0.000 1 <sup>c</sup>	0.557±0.021 <sup>c</sup>
赤芝椴木粉	16.6±0.1 <sup>a</sup>	38.5±0.2 <sup>a</sup>	1.87±0.01 <sup>b</sup>	0.172±0.016 <sup>b</sup>	0.162±0.001 <sup>a</sup>	0.887±0 <sup>b</sup>

孢子粉品种	元素含量/(mg/kg)				
	Ti	V	Co	sr	Ba
赤芝粉	0.939±0.032 <sup>a</sup>	0.036 2±0.001 0 <sup>b</sup>	0.023 0±0.000 2 <sup>ab</sup>	2.95±0 <sup>b</sup>	1.73±0.01 <sup>a</sup>
美芝粉	0.675±0.184 <sup>ab</sup>	0.024 5±0.002 0 <sup>c</sup>	0.0237±0 <sup>a</sup>	1.27±0 <sup>c</sup>	0.520±0.004 <sup>c</sup>
新大片孢子粉	0.462±0.072 <sup>b</sup>	0±0 <sup>d</sup>	0.011 5±0.000 1 <sup>c</sup>	3.17±0.06 <sup>b</sup>	0.807±0.018 <sup>b</sup>
赤芝椴木粉	0.657±0.015 <sup>ab</sup>	0.042 2±0.001 6 <sup>a</sup>	0.022 8±0.000 3 <sup>b</sup>	5.94±0.15 <sup>a</sup>	0.535±0.011 <sup>c</sup>

### 2.3 灵芝子实体和孢子粉重金属安全性评价

对藏芝、赤芝、美芝、香血芝、新大片 5 种灵芝子实体和赤芝粉、美芝粉、新大片粉和赤芝椴木粉 4 种孢子粉样品中 As、Pb、Hg、Cr、Cd 5 种重金属进行检测, 结果如图 2。由图 2 可知, 5 种子实体样品中 Hg 元素均低于检出限 (0.001 mg/kg), As 元素含量范围为 0.068 8~0.639 mg/kg, Pb 元素含量范围为 0~0.268 mg/kg, Cr 元素含量范围为 0.110~2.08 mg/kg, Cd 元素含量范围为 0.023~0.364 mg/kg。目前灵芝子实体重金属限量没有国家标准和行业标准, 团体标准 T/68C 002-2019《灵芝干品》<sup>[19]</sup>中仅对 As、Pb、Hg 3 种元素设定了限量要求 (As≤1.0 mg/kg、Pb≤2.0 mg/kg、Hg≤0.2 mg/kg), 团体标准 T/JZLZ 003-2019《金寨灵芝》<sup>[20]</sup>中对 As、Pb、Hg 3 种元素也设定了限量要求 (As≤0.9 mg/kg、Pb≤1.8 mg/kg、Hg≤0.1 mg/kg)。从 5 种灵芝子实体检测结果来看, Pb、Hg 2 种重金属含量远低于相关团体标准限量要求, 安全性较高, 藏芝、香血芝 As 元素含量较高, 具有一定的安全性风险。

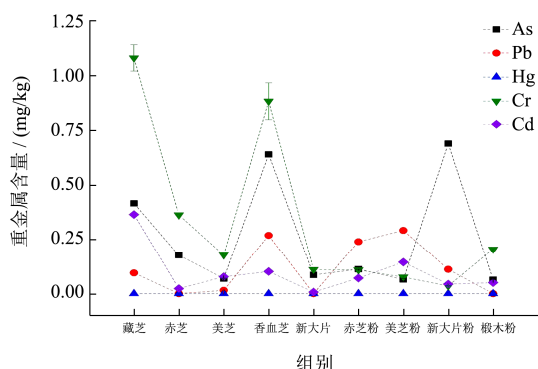


图2 不同品种灵芝子实体及孢子粉重金属含量

Fig.2 Heavy metal content in different varieties of *Ganoderma lucidum* and spore powder

4 种孢子粉重金属检测结果见图 2, 由图 2 可知, 赤芝粉、美芝粉、新大片粉和赤芝椴木粉 4 种孢子粉样品中 Hg 元素均低于检出限 (0.001 mg/kg), As 元素含量范围为 0.063 7~0.689 mg/kg, Pb 元素含量范围为 0~0.291 mg/kg, Cr 元素含量范围为 0.035~0.204 mg/kg, Cd 元素含量范围为 0.043~0.144 mg/kg。目前灵芝孢子粉尚无国家标准, 行业标准中只有供销行业标准 GH/T 1335-2021《灵芝孢子粉》<sup>[21]</sup>, 但标准中无对重金属的限量要求。团体标准如 T/68C 002-2019《灵芝干品》<sup>[18]</sup>、T/JZLZ 003-2019《金寨灵芝》<sup>[19]</sup>对孢子粉中重金属限量与子实体一致, 从 4 种孢子粉重金属 As、Pb、Hg 检测结果可知, 孢子粉中 Pb、Hg 2 种重金属含量远低于相关团体标准限量要求, 安全性较高, 这与胡晓等<sup>[22]</sup>研究结果一致。新大片孢子粉中 As 元素含量较

高, 为 0.698 mg/kg, 具有一定的安全性风险。

### 2.4 破壁对孢子粉重金属含量的影响

对辊式挤压破壁技术是目前企业最常用的灵芝孢子粉破壁技术之一, 实验对美芝、新大片、赤芝孢子粉原料及经对辊式挤压破壁的破壁孢子粉中 As、Pb、Hg、Cd、Cr、Cu、Ni 7 种重金属元素含量进行检测, 三种孢子粉破壁后破壁率分别为 96%、97%、96%, 元素检测结果如图 3。从图 3 可知, Hg 元素在所有样品中均未检出, 安全性较好。新大片孢子粉样品除 As、Pb、Cd 3 种元素破壁前后无显著性差异外, 其余重金属含量均显著提高, 重金属含量变化与沐华等<sup>[13]</sup>研究结果一致。其余孢子粉样品经对辊式挤压破壁后 6 种重金属元素含量变化与厉炯等<sup>[23]</sup>、邹小龙等<sup>[12]</sup>研究一致, 均发生了显著提高。

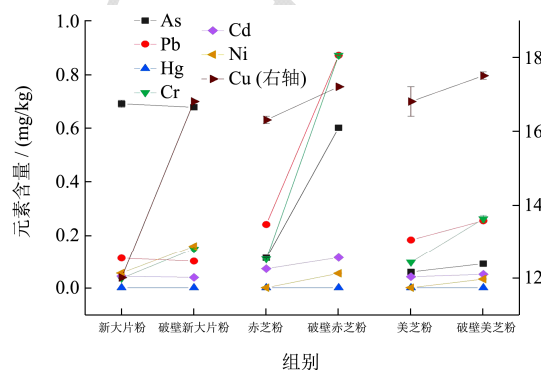


图3 破壁对孢子粉金属元素含量的影响

Fig.3 Effect of broken wall on the heavy metal element content of *Ganoderma lucidum* spore powder

《保健食品原料目录破壁灵芝孢子粉》<sup>[24]</sup>原料技术要求中对破壁孢子粉中 As、Pb、Hg、Cr、Cd、Ni 6 中元素有明确限量要求 (As≤1.0 mg/kg、Pb≤2.0 mg/kg、Hg≤0.1 mg/kg、Cd≤0.5 mg/kg、Cr≤2.0 mg/kg、Ni≤1.0 mg/kg)。除《保健食品原料目录破壁灵芝孢子粉》原料技术要求外, 供销行业标准 GH/T 113-2017《灵芝破壁孢子粉》<sup>[25]</sup>对 As、Pb、Hg 三种元素也有明确限量要求 (As≤1.0 mg/kg、Pb≤2.0 mg/kg、Hg≤0.3 mg/kg), As、Pb 限量与《保健食品原料目录破壁灵芝孢子粉》原料技术要求一致, Hg 限量较高。团体标准 T/ZB 0474-2018《灵芝破壁孢子粉》<sup>[26]</sup>中对 Cd、Cr、Cu、Ni 四种元素限量做出了明确要求, 其中 Cd≤0.5 mg/kg、Cr≤2.0 mg/kg、Cu≤20 mg/kg、Ni≤1.0 mg/kg, 与《保健食品原料目录破壁灵芝孢子粉》原料技术要求中限量要求一致。经对辊式挤压破壁后, 新大片粉 Cu 元素由 12.0 mg/kg 提高至 16.8 mg/kg; 赤芝粉 As、Pb、Cr、Cd 4 种含量分别由 0.112、0.239、0.108、0.070 9 mg/kg 提高至 0.600、0.870、0.870、0.113 mg/kg, 美芝粉 As、

Pb、Cr、Cd、Cu、Ni 元素含量也有一定程度提高。因此在对辊式挤压破壁过程中孢子粉仍存在被重金属污染的风险,在实际应用过程中要严格控制破壁力度、破壁时间等相关破壁条件,减少重金属污染。

### 3 结论

藏芝和香血芝子实体大部分元素含量明显高于赤芝、美芝和新大片样品,特别是 Fe、Cu、Zn、Mn、Se、B、V、Co、Sr 9 种人体必需微量元素,新引品种藏芝和香血芝元素营养质量相对较高;赤芝粉和赤芝椴木粉元素营养质量高于美芝粉和新大片孢子粉元素营养质量,特别是孢子粉中营养元素硒,赤芝粉和赤芝椴木粉中硒含量分别是美芝粉中硒含量的 3 倍和 2 倍。研究结果对于优质灵芝品种及孢子粉品种的引育及推广具有重要的指导作用。

藏芝、赤芝、美芝、香血芝、新大片 5 种灵芝子实体及赤芝粉、美芝粉、新大片粉和赤芝椴木粉 4 种孢子粉样品中, Pb、Hg 两种重金属含量远低于相关团体标准,安全性较高,藏芝、香血芝样品中 As 元素含量较高,说明藏芝、香血芝等引进品种在培育过程中对 As 元素的富集作用较强,具有一定的安全风险,在种植过程应严格控制培养基料中重金属 As 的含量。

不同品种灵芝孢子粉对辊式挤压破壁过程中 As、Pb、Cd、Cr、Cu、Ni 金属元素含量均有不同程度的提高,其中变化最为明显的赤芝粉经破壁后 As、Pb、Cr、Cd 4 种含量分别由 0.112、0.239、0.108、0.070 9 mg/kg 提高至 0.600、0.870、0.870、0.113 mg/kg,因此在对辊式挤压破壁过程中重金属元素含量仍存在一定的风险。破壁后孢子粉重金属含量增加,是因为对辊式挤压破壁机是由金属部件组成,高强度的破壁挤压会造成金属部件的磨损,从而使设备中的重金属进入孢子粉中。为避免重金属污染,实际应用过程中破壁功率、破壁时间等相关破壁条件还需进一步优化研究,同时改进破壁工艺,开发材质(如陶瓷)安全、易于推广的破壁设备,减少破壁过程的二次污染,也是孢子粉破壁设备未来研发的主要方向。

### 参考文献

- [1] 国家药典委员会主编.中华人民共和国药典[M].北京:中国医药科技出版社,2015:188
- [2] Feng M, Wang H, Yang H, et al. Purification, structural characterization and immunological activity of polysaccharides from the spores of *Ganoderma lucidum* [J]. Journal of Food Science and Biotechnology, 2018, 37(5): 502-508
- [3] Su J Y, Su L, Li D. Antitumor activity of extract from the sporoderm-breaking spore of *Ganoderma lucidum*: restoration on exhausted cytotoxic T cell with gut microbiota remodeling [J]. Frontiers in Immunology, 2018, 9(31): 1-19
- [4] Didem S, Shile H. *Ganoderma lucidum* polysaccharides as an anti-cancer agent [J]. Anti-Cancer Agents in Medicinal Chemistry, 2018, 18(5): 667-674
- [5] Gao Y, Zheng J, Li Y, et al. A retrospective study of *Ganoderma lucidum* spore powder for patients with epilepsy [J]. Medicine, 2018, 97(15): 45-99
- [6] 弓志青,孟楠楠,王文亮.6 个破壁灵芝孢子粉的理化性质[J].食品工业,2020,41(9):176-180
- [7] 江和栋,李广焱,牛仙,等.破壁对灵芝孢子粉品质的影响[J].食品工业科技,2022,41(23):51-56
- [8] 石岩,魏锋,肖新月,等.我国市售保健食品铅、砷、汞含量分析[J].亚太传统医药,2016,6(5):160-161
- [9] 付玉生,李永利,张欣焯,等.河南省保健食品中污染物调查[J].中国食品卫生杂志,2016,28(3):360-365
- [10] 张守勤,朱俊洁,王长征,等.灵芝孢子食用方法与破壁技术研究进展[J].农业机械学报,2004,35(2):160-162
- [11] 马艺沔,丁自勉,陈向东,等.灵芝孢子粉破壁技术、质量分析与深加工相关研究进展[J].世界科学技术-中医药现代化,2019,21(5): 892-899
- [12] 邹小龙,姜川,田晓宇,等.灵芝孢子粉破壁前后 5 种金属元素含量的分析对比研究[J].丽水学院学报,2012,34(2):24-27
- [13] 沐华,蔡铭,徐靖,等.破壁与去壁灵芝孢子粉的化学成分与抗氧化活性比较[J].食品工业科技,2020,41(10):32-51
- [14] 潘少香,孟晓萌,谭梦男,等.电感耦合等离子体质谱法比较不同制粉方式对玉米中重金属含量的影响[J].食品安全质量检测学报,2020,11(8):2481-2486
- [15] NY/T 1677-2008,破壁灵芝孢子粉破壁率的测定[S]
- [16] 闫征,郝利民,张黎明,等.3 种不同产地灵芝子实体主要化学成分比较[J].食品科学,2019,40(6):240-246
- [17] 何晋浙,赵培成,张安强,等.灵芝及其类似品中的 20 种微量元素的分析研究[J].药物分析杂志,2010,30(5):847-852
- [18] 程齐来,杨韶平,夏侯国论,等.原子吸收法测定灵芝孢子粉中微量元素含量[J].时珍国医国药,2007,18(4):878-87
- [19] T/68C 002-2019,灵芝干品[S]
- [20] T/JZLZ 003-2019,金寨灵芝[S]
- [21] GH/T 1335-2021,灵芝孢子粉[S]
- [22] 胡晓,王勇,卢端萍,等.ICP-MS 测定不同产地灵芝孢子粉中重金属含量[J].海峡药学,2016,28(11):81-84
- [23] 励炯,宋旭峰,朱健,等.破壁灵芝孢子粉重金属含量、破壁率及杂质掺混情况研究[J].中药材,2014,37(12):2171-2174
- [24] 保健食品原料目录破壁灵芝孢子粉[S]. [https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/tssps/202012/t20201201\\_324007.html](https://gkml.samr.gov.cn/nsjg/tssps/202012/t20201201_324007.html)
- [25] GH/T 1133-2017,灵芝破壁孢子粉[S]
- [26] T/ZZB 0474-2018,破壁灵芝孢子粉[S]