

丽水地产灵芝孢子粉元素分析及重金属含量评价

胡红瑶 纪律 楼丁硕 李启 於洋

丽水市疾病预防控制中心，浙江丽水，323000；

摘要：结合丽水的地方特色，对丽水地产灵芝孢子粉（赤芝）及自主破壁孢子粉中元素及重金属含量利用电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）进行测定，并对其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，不同灵芝孢子粉之间其常量元素的含量存在差异性显著，赤芝孢子粉在 Fe、Mn、Cu 等微量元素上含量优于其他品种，且未检出潜在毒性元素 Li 和 Sb。此外，研究发现同种灵芝在不同基质栽培下，元素含量存在差异。重金属安全性分析结果表明丽水地产的灵芝孢子粉重金属含量均远低于限值要求，显示出较高的安全性。与先前研究相比，其重金属含量有显著改善。经自主破壁后的灵芝孢子粉中其 Cr 和 Ni 的含量有所提高，在破壁过程中需采取进一步针对性的控制措施。

关键词：灵芝孢子粉；重金属；破壁

Elemental Analysis and Heavy Metal Content Evaluation of Lingzhi Spore Powder from Lishui Real Estate

Hu Hongyao, Ji Lu, Lou Dingshuo, Li Qi, Yu Yang

Lishui City Center for Disease Control and Prevention in Zhejiang Province, Lishui 323000, China

Abstract: Combined with the regional characteristics of Lishui, this study utilized inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) to determine the elemental and heavy metal contents of locally produced Ganoderma lucidum spore powder (Chizhi) and self-developed wall-breaking spore powder. Elemental composition analysis and heavy metal safety evaluations were conducted. The results of elemental analysis revealed significant differences in the content of major elements among different spore powder samples. Ganoderma lucidum spore powder exhibited higher levels of trace elements such as Fe, Mn, and Cu compared to other varieties, with no detection of potential toxic elements Li and Sb. Additionally, the study found variations in elemental content when the same species of Ganoderma was cultivated under different substrates. Heavy metal safety analysis demonstrated that the heavy metal content in Lishui-produced spore powder was well below regulatory limits, indicating high safety. Compared to previous studies, the heavy metal content showed significant improvement. However, the levels of Cr and Ni increased in self-developed wall-breaking spore powder, suggesting the need for targeted control measures during the wall-breaking process to address this issue.

Keywords: Ganoderma lucidum spore powder; heavy metals; cell wall breaking

DOI:10.69979/3041-0673.25.02.020

引言

灵芝孢子粉是多孔菌科真菌灵芝的干燥成熟孢子，聚集了灵芝的精华，其包含多糖类、三萜类、甾醇类、生物碱以及多种氨基酸等^[1]对人体有益的功能性成分，临幊上多应用于防治心血管疾病，保护肝损伤，抗肿瘤，抗衰老，免疫调节^[2]等方面，是一种极为重要的药食两用食用菌。有研究表明，灵芝孢子粉中总多糖、总三萜的含量明显高于灵芝子实体^[3]，其在临幊上的应用效果也更为显著^[4]。近年来随着大众对药食两用的研究逐渐增多，灵芝孢子粉在保健品市场上也越来越受人们的青

睐。

目前，市面上大部分的灵芝主要还是以人工栽培为主，所以其栽培方式、栽培环境都可能会对灵芝孢子粉的质量产生影响，特别是重金属积蓄问题^[5]。灵芝孢子的细胞壁是由葡聚糖、几丁质等不溶于水的高分子化合物组成，直接服用人体无法吸收其孢子粉的有效成分^[6]，在实际应用中，大多是将孢子粉破壁后进行食用。如今市面上灵芝孢子粉规模化生产的破壁方法主要还是以机械破壁法^[7]为主，孢子粉在经过破壁处理后，虽然极大的促进了其营养成分的溶出，增加人体的吸收和

使用。但在破壁过程中,也有可能会增加金属元素的含量,甚至造成超标。灵芝孢子粉作为保健食品目前尚无国家标准,消费者若食用了重金属残留超标的灵芝,会给人体带来一定的健康风险^[8]。因此对于破壁后灵芝孢子粉的金属元素含量评估是非常有必要的。

本文采用电感耦合等离子质谱法(ICP-MS)分析测定了丽水地产灵芝孢子粉的元素及重金属含量,同时自主破壁以探究灵芝孢子粉在使用现下企业广泛应用于破壁过程中所使用的破壁方式是否会对其产生重金属含量的影响,为灵芝孢子粉的深加工的健康稳步发展提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 样品来源

采集丽水地产灵芝孢子粉(未破壁)9份,以梅花布点法选取采集点,每份样品采集3kg,具体信息见表1。将孢子粉烘干干燥,过230目尼龙筛去除杂质,采用破壁机机械法破壁2小时,既得备用。

表1 丽水地产灵芝样本信息

序号	品种	种植方式	栽培基质
B01	赤芝(沪农1号)	大棚	木屑
B02	赤芝(龙芝2号)	大棚	椴木
B03	赤芝(龙芝2号)	大棚	椴木
B04	赤芝(龙芝2号)	大棚	椴木
B05	赤芝(113)	林下	椴木
B06	赤芝(116)	大棚	椴木
B07	赤芝(佳宝1号)	大棚	椴木
B08	赤芝(沪农1号)	林下	椴木
B09	赤芝(沪农1号)	大棚	椴木

1.2 仪器与试剂

AL104万分之一电子天平(梅特勒-托利多仪器有限公司); Milli-Q Integral 5超纯水机(美国密理博公司); NexION2000电感耦合等离子体质谱仪(美国PerkinElmer公司),配有同心雾化器和碰撞反应池;消解赶酸恒温加热器(北京莱伯泰科仪器股份有限公司);ETHOS UP微波消解仪(Milestone China);振动式细胞级超微粉碎机(济南达微机械有限公司);AFS-9330原子荧光光度计(北京吉天仪器有限公司,9330-1507124)。多元素混标(银Ag、铝Al、砷As、钡Ba、铍Be、钙Ca、镉Cd、钴Co、铬Cr、铜Cu、铁Fe、钾K、镁Mg、锰Mn、钼Mo、钠Na、镍Ni、铅Pb、

锑Sb、硒Se、锡Sn、锶Sr、钛Ti、铊Tl、钒V、锌Zn,100 μ g/ml,PerkinElmer,CL2-135MKBY);内标混标(BWT30144-100-50,100mg/L,北京坛墨质检);水中汞标准溶液(BW30029-1000-20,1000mg/L,北京坛墨质检);香菇成分分析标准物质(GBW10197,北京坛墨质检);硝酸(德国Merck公司,优级纯),盐酸、氢氧化钠、硼氢化钾、硫脲和抗坏血酸(优级纯,国药集团化学试剂有限公司)。

1.3 方法

除汞元素外,所有元素参照《食品安全国家标准食品中多元素的测定》(GB 5009.268-2016)^[9]中的第一法测定,汞元素参照《食品安全国家标准食品中总汞及有机汞的测定》(GB 5009.17-2021)^[10]中的第一法测定。

1.3.1 仪器参数

ICP-MS仪器参数:射频功率:1350W;等离子体氩气流量:15.00L/min;辅助气流量:1.20L/min;雾化气流速:0.98L/min;雾化室温度:室温;采样深度:7mm;KED模式,载气为高纯氩,纯度 \geq 99.99%;重复采样3次。

原子荧光分光光度计仪器参数:灯电流:30mA;负高压:270V;原子化器高度:8mm;原子化器温度:200°C;载气流速:400mL/min;屏蔽气流速:800mL/min;读数方式:峰面积;读数时间:9s。

1.3.2 样品前处理

精密称取未破壁灵芝孢子粉0.5g(精确至0.0001g)于聚四氟乙烯微波消解管中,加入硝酸5mL,混匀静置过夜,用微波消解仪升温程序(见表2)进行消解。消解完全后,放至室温,150°C加热赶酸至黄豆粒大小,冷却后定容至25mL,混匀备用,同时做试剂空白。(破壁孢子粉以及香菇成分分析标准物质粉末与未破壁孢子粉前处理步骤一致)。

表2 微波消解条件

步骤	时间	功率(W)	温度T2(°C)
1	00:05:00	1800	140
2	00:10:00	1800	170
3	00:10:00	1800	190
4	00:15:00	1800	190
冷却	10min		

对待测样品的所有元素进行预实验,确定不同元素的稀释倍数,确保最终上机试液中各元素浓度均在线性

范围内。

1.4 评价标准

以 GB 16740-2014《食品安全国家标准 保健食品》^[11]、T/68C 002-2019《灵芝干品》^[12]、T/JZLZ 003-2019《金寨灵芝》^[13]及 WM/T2-2004《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》^[14]作为评价标准。

1.5 数据分析

每个样品重复测定3次,所有实验数据表示为平均值±标准差 (mean±SD, n=3)。实验数据采用SPSS 26.0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Excel软件绘制完成。

2 结果与分析

2.1 检测结果分析

2.1.1 灵芝孢子粉元素差异性分析

利用电感耦合等离子体质谱法(ICP-MS)对丽水地产灵芝孢子粉样品中的多种金属元素进行测定,测定结果见表3。除K、Ca、Na、Mg四种常量元素外,Mn、Fe、

Cu、Zn这几个微量元素在孢子粉中含量也相对较高,与程齐来等人^[15]研究结果一致。本次检测的孢子粉常量元素含量相差较大,K元素含量范围在1227~1511mg/kg,Ca元素含量范围在59.0~92.5mg/kg,Na元素含量范围在0.912~38.9mg/kg,Mg元素含量范围在128~276mg/kg。在人体必需的微量元素中,赤芝孢子粉的Fe、Mn、Cu、Se、B、V、Sr含量均高于潘少香等人^[16]所研究的美芝粉和新大片孢子粉的含量,说明赤芝孢子粉的元素营养质量相对于其他两类孢子粉要更好。Li元素作为潜在毒性元素,在此次样品中均未检出。Sb元素也未检出,虽然它不是人体必需的微量元素,但其化合物对人体的免疫、神经系统、基因、发育等均具有潜在的毒性,目前食药用菌尚无Sb含量的相关标准。与此同时,我们还发现同种品种在不同基质(木屑B01/木段B09)的栽培下元素含量差异也较为明显,在常量元素中,样品B09中K、Ca、Mg的含量均高于样品B01,只有Na的含量低于样品B01,且含量均存在差异显著(P<0.05)。微量元素中,样品B01中Fe、Mn、Sn、Mo含量高于样品B09,B、Al、V、Co、Zn、Se、Sr含量低于样品B09,且含量均存在差异显著(P<0.05)。

表3 丽水地产灵芝孢子粉元素分布

样品	K	Ca	Na	Mg	Al	Fe	Cu	Zn
序号	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
B01	1413±3 ^b	59.5±1.2 ^c	11.4±0.2 ^d	128±1.4 ^g	10.0±0.13 ^f	219±1.3 ^b	12.8±0.026 ^d	15.3±0.074 ^d
B02	1346±10 ^c	92.5±1.5 ^a	12.1±0.17 ^c	216±2.8 ^b	427±2.8 ^b	198±3.2 ^c	12.8±0.044 ^d	15.9±0.11 ^c
B03	1326±4 ^d	64.7±2 ^d	8.50±0.07 ^c	169±4.2 ^d	52.9±0.44 ^c	38.4±0.2 ^c	14.7±0.13 ^a	17.0±0.10 ^b
B04	1227±18 ^f	68.3±3 ^c	12.4±0.27 ^c	151±1.5 ^f	9.59±0.05 ^g	16.3±0.35 ^g	12.5±0.051 ^c	15.0±0.17 ^c
B05	1507±12 ^a	62.1±1.4 ^{dc}	38.6±0.34 ^a	276±2.6 ^a	9.92±0.018 ^f	38.6±0.3 ^c	13.0±0.089 ^c	20.4±0.066 ^a
B06	1291±27 ^c	59.3±1 ^c	8.93±0.05 ^c	160±2.9 ^c	9.92±0.049 ^f	11.9±0.2 ^b	12.5±0.071 ^c	12.3±0.13 ^h
B07	1407±14 ^b	76.3±2.3 ^b	8.99±0.11 ^c	212±2 ^b	60.9±0.11 ^d	258±1.11 ^a	14.7±0.073 ^a	14.9±0.20 ^c
B08	1344±8 ^c	61.3±1.7 ^c	25.4±0.2 ^b	181±1.8 ^c	585±1.45 ^a	122±0.77 ^d	12.7±0.015 ^d	13.5±0.10 ^f
B09	1511±11 ^a	60.4±2.2 ^c	0.912±0.11 ^f	173±1.8 ^d	201±1.02 ^c	24.2±0.45 ^f	13.3±0.04 ^b	17.1±0.054 ^b
平均值	1375±12	67.2±1.8	14.1±0.17	185±2.3	152±0.67	103±0.96	13.2±0.059	15.7±0.11
变异系数 (%)	6.55	16.3	79.1	23.9	140	95.5	6.53	14.9
Mn	B	V	Ba	Co	Mo	Sn	Se	Rb
(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
5.11± 0.85 ^b	0.71± 0.032 ^f	0.089± 0.050 ^d	8.74±0.004 ^c	0.034± 0.0024 ^{ef}	0.021± 0.0019 ^c	0.791± 0.011 ^f	0.067± 0.004 ^{bc}	6.33±0.013 ^a
6.19± 0.35 ^a	2.96± 0.08 ^c	4.02± 0.66 ^a	20.1±0.031 ^a	0.131± 0.0080 ^a	0.088± 0.0052 ^a	1.44± 0.0078 ^b	0.099±0.018 ^a	3.06±0.018 ^h
2.54± 0.984±	0.238± 0.238±	5.80±0.026 ^f	0.041±	0.016±	1.15±0.011 ^d	0.059±	3.50±0.052 ^g	

0.18 ^{cd}	0.005 ^c	0.025 ^d	0.0006 ^d	0.0013 ^{cd}	0.012 ^{bc}		
2.18±	0.994±	0.049±	7.42±0.028 ^d	0.029±	0.018±	1.27±0.013 ^c	0.050±0.019 ^c
0.74 ^d	0.014 ^c	0.010 ^d		0.0009 ^f	0.0018 ^c		4.27±0.053 ^c
3.03±	5.80±	0.117±	5.95±0.049 ^c	0.033±	0.021±	1.09±	
0.88 ^c	0.23 ^a	0.079 ^d		0.009 ^{ef}	0.0091 ^c	0.0091 ^c	0.109±0.007 ^a
2.25±	1.15±	0.032±	7.42±0.041 ^d	0.037±	0.011±	0.769±	5.27±0.010 ^b
0.10 ^{cd}	0.01 ^d	0.028 ^d		0.0013 ^{dc}	0.0029 ^d	0.013 ^g	0.074±0.013 ^b
4.78±	0.426±	1.34±	5.34±0.045 ^g	0.122±	0.067±	2.58±	4.22±0.012 ^f
0.25 ^b	0.023 ^g	0.47 ^b		0.0031 ^b	0.0028 ^b	0.0079 ^a	
5.69±	4.38±	0.742±	5.77±0.017 ^f	0.081±	0.018±	0.651±	0.108±0.030 ^a
0.26 ^a	0.018 ^b	0.032 ^c		0.0011 ^c	0.0020 ^c	0.010 ^h	4.76±0.023 ^d
2.95±	3.04±	0.093±	11.1±0.039 ^b	0.043±	0.009±0.0011 ^d	0.653±	0.075±0.033 ^b
0.67 ^{cd}	0.054 ^c	0.008 ^d		0.0013 ^d		0.012 ^h	5.06±0.017 ^c
3.86±0.48	2.27±	0.754±	8.63±0.031	0.061±	0.030±0.005	1.16±0.011	0.083±0.017
	0.052	0.15		0.003			4.58±0.024
40.8	82.8	172	54.3	65.1	92.6	52.2	27.8
							21.1

Sr	Li	Sb
(mg/kg)	(mg/kg)	(mg/kg)
3.25±0.026 ^f	-	-
4.76±0.011 ^a	-	-
2.72±0.024 ^g	-	-
3.98±0.011 ^d	-	-
2.71±0.011 ^g	-	-
3.34±0.014 ^c	-	-
4.07±0.040 ^c	-	-
1.66±0.007 ^h	-	-
4.22±0.025 ^b	-	-
3.41±0.019	-	-
28.0	-	-

注:同列不同字母表示不同品种间具有显著性差异($P<0.05$)

2.1.2 灵芝孢子粉重金属安全性能评价

此次灵芝孢子粉中均检出 Pb、Cd、As、Hg、Cr、Ni 等重金属元素, 6 种重金属的检出率为 100%, 结果见图 1。由图 1 可知, Pb 元素含量范围在 0.028~0.275mg/kg, Cd 元素含量范围在 0.082~0.188mg/kg, As 元素含量范围在 0.078~0.181mg/kg, Hg 元素含量范围在 0.007~0.051mg/kg, Cr 元素含量范围在 0.072~0.926mg/kg, Ni 元素含量范围在 0.073~1.17mg/kg。虽然对于灵芝孢子粉, 目前尚无国家标准, 行业标准中也未对其重金属含量有限值要求, 但根据团体标准 T/68C 002-2019《灵芝干品》及 T/JZLZ 003-2019《金寨灵芝》, 将灵芝孢子粉的重金属限量值规定为, As 含量≤1.0mg/kg

g、Pb 含量≤2.0mg/kg、Hg 含量≤0.2mg/kg 及 As 含量≤0.9mg/kg、Pb 含量≤1.8mg/kg、Hg 含量≤0.1mg/kg, 此次样品中 Pb、Cd、As、Hg 的含量远低于标准, 安全性较高。与范蕾等[17]研究结果相比, 丽水地产灵芝孢子粉的重金属含量较之前也有了很大的改善。

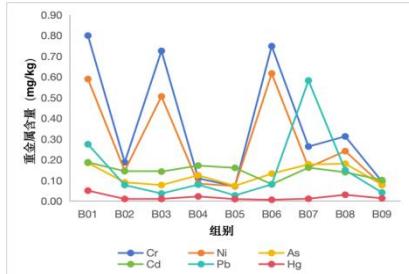


图 1 灵芝孢子粉重金属含量

2.1.3 破壁对灵芝孢子粉重金属含量的影响

机械法应用于破壁灵芝孢子粉的规模化生产, 具备较强的通用性, 是目前企业最常用的灵芝孢子粉破壁技术之一。此次实验对采集的样品进行自主破壁, 并对破壁后孢子粉的 Pb、Cd、As、Hg、Cr、Ni、Cu 这 7 种重金属元素含量进行检测, 元素检测结果见表 4。从表 4 可知, 元素 Cd、Cr、Ni、Cu 含量均呈现出灵芝孢子粉(未破壁)高于灵芝孢子粉(破壁), 这与柳小兰等人[18]研究结果一致, 可能与此次选用的振动式撞击破壁技术有关。根据《保健食品原料目录 破壁灵芝孢子粉》(2020)与《中国药典》(2020), 将灵芝孢子粉 Pb、As、Hg、Cd、Cr、Ni、Cu 规定为: Pb 含量≤2.0mg/kg, As 含量≤1.0mg/kg, Hg 含量≤0.1mg/kg, Cd 含量≤0.5mg/kg, Cr 含量≤2.0mg/kg, Ni 含量≤1.0mg/kg,

Cu元素 $\leq 20\text{mg/kg}$ 。经过振动式撞击破壁后,元素Pb、As、Hg、Cd的含量仍达规范的标准,且破壁前后含量没有显著的变化,说明传统的破壁方式对其影响不大,Cu元素含量略有上升,但仍在限值范围内。由于此次破壁是通过不锈钢内磨棒撞击研磨的传统加工方式,较容易引入重金属,可以很明显发现Cr、Ni含量相较于未破壁前的灵芝孢子粉在一定程度上都有提高。灵芝孢子粉(破壁)Cr、Ni均有两份超标,而灵芝孢子粉(未破壁)所有元素都在限值范围内。因此,在内磨棒撞击研磨的破壁过程中孢子粉存在着重金属被污染的风险,在实际应用的过程中应加强风险管理,在灵芝孢子粉破壁达到预期目标的前提下,减少其与设备的接触时间,尽可能降低重金属元素的污染风险。

表4 灵芝孢子粉破壁前后重金属

		$x \pm s$	t值	p值
Pb	未破壁	0.15 \pm 0.18	1.41	0.19
	破壁	0.06 \pm 0.05		
Cd	未破壁	0.14 \pm 0.03	-1.6	0.13
	破壁	0.17 \pm 0.03		
As	未破壁	0.12 \pm 0.05	0.55	0.59
	破壁	0.11 \pm 0.04		
Hg	未破壁	0.02 \pm 0.01	1.38	0.19
	破壁	0.01 \pm 0.01		
Cr	未破壁	0.37 \pm 0.30	4.59	$\leq 0.01^*$
	破壁	1.34 \pm 0.55		
Ni	未破壁	0.28 \pm 0.23	-3.78	$\leq 0.01^*$
	破壁	0.72 \pm 0.27		
Cu	未破壁	13.22 \pm 0.87	-2.4	0.03*
	破壁	14.53 \pm 1.38		

注: 标*表示破壁前后具有显著性差异($P < 0.05$)

3 结论

灵芝孢子粉做为当下炙手可热的药食两用的保健产品,其元素含量及重金属安全评价是值得我们关注的问题。灵芝的栽培环境、栽培方式和采收手段等诸多因素都会对其孢子粉的质量产生影响,通过栽培基质-植物系统的转化迁移,基质中铜、镉含量高也可能使其被灵芝吸收和积累造成孢子粉中铜与镉这两种元素的污染,而铬与镍一般为灵芝孢子粉破壁时由所使用的的不锈钢容器带入,相关部门应注意现在市场可能存在一些灵芝孢子粉产品加工乱象。从此次研究结果来看,丽水市地产灵芝孢子粉的食用安全性能总体良好。从原材料角度来看,灵芝孢子粉的生长环境污染较小,种植环境与之前相比有明显的改善。同一品种在不同基质的栽培

下,其元素含量也存在差异,但本次研究的样品量较少,因此,尚无法全面综合地评价不同栽培基质灵芝孢子粉的品质,后续也将做进一步深入研究。

灵芝孢子粉在破壁过程中应着重注意Cr、Ni这两个重金属的污染,作为人体必需的微量元素,它们对生长发育和新陈代谢有着一定的作用,但当浓度过量时,就会对人体产生严重的伤害。Cr元素过量摄入有可能造成皮肤以及胃肠道等方面疾病的,甚至还会出现急性肾功能衰竭;Ni元素过量摄入则有可能会引起皮肤过敏,损伤内脏器官,影响生育,引起呼吸器官障碍及呼吸道癌等。而徐靖等^[19]研究也表明,灵芝孢子粉在破壁过程中与破壁设备长时间的接触及剧烈振动造成金属部件的磨损,从而使得破壁设备中重金属元素溶入孢子粉中。此次研究中,自主破壁的灵芝孢子粉中Cr、Ni元素的超标也验证了这一点。为避免重金属的污染,在实际应用中破壁功率、破壁时间等相关破壁条件也需要进一步进行研究,同时改进破壁工艺,开发材质安全、便于大范围投入使用的破壁设备,减少破壁过程中产生的二次污染,也是孢子粉破壁设备未来研发的主要方向。

参考文献

- [1] 冯道俊. 灵芝的化学成分、功效及药理作用[J]. 特种经济动植物, 2006, 9(8): 39-40.
- [2] 朱云龙. 破壁灵芝孢子中多糖提取工艺研究进展[J]. 中文科技期刊数据库(全文版)自然科学, 2024(6): 0144-0147.
- [3] 姚仲青, 李文林, 周俊, 朱虹, 姚海峰. 灵芝孢子粉的质量研究[J]. 中药材, 2007, 30(5): 607-611.
- [4] 王方, 麻红太, 胡德, 郑淑晶, 王淑敏. 灵芝孢子粉破壁前后质量对比研究[J]. 特产研究, 2020, 42(1): 47-53.
- [5] 柳小兰, 梁光焰, 杨莹, 魏福晓, 张清海, 邓廷飞, 周新富, 王道平. 黔产赤灵芝不同部位无机元素和营养成分分析[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2023, 36(1): 39-45.
- [6] 江和栋, 李广焱, 牛仙, 万仁口, 陈小露, 邓泽元, 李红艳. 破壁对灵芝孢子粉品质的影响[J]. 食品工业科技, 2020, 41(23): 51-56.
- [7] 马艺沔, 丁自勉, 陈向东, 兰进, 刘阳, 吴茜. 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
- [8] 姜涛, 施枝江, 罗安, 黄发军, 姚艺新, 陈纯纯, 翁玉萍. 赤芝灵芝多糖与重金属元素的质量评价研究[J]. 亚太传统医药, 2019, 15(6): 77-81
- [9] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009. 268- 2016 食品安全国家标准食品中多元素的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [10] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会, 国家食品药品监督管理总局. GB 5009. 17- 2021 食品安全国家标准食品中总汞及有机汞的测定[S]. 北京: 中国标准出版社, 2021.
- [11] 中华人民共和国国家卫生和计划生育委员会. GB 16740-2014 食品安全国家标准 保健食品[S]. 2014.
- [12] T/68C 002-2019, 灵芝干品[S].
- [13] T/JZLZ 003-2019, 金寨灵芝[S].
- [14] WM/T2-2004 药用植物及制剂外经贸绿色行业标准[S]. 中华人民共和国商务部, 2004.
- [15] 程齐来, 杨韶平, 夏侯国论. 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, (04): 878-879.
- [16] 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(02): 319-324.
- [17] 范蕾, 刘敏, 余乐, 等. ICP-MS 分析丽水地产灵芝中的重金属元素[J]. 中国现代应用药学, 2019, 36(07): 837-840.
- [18] 柳小兰, 梁光焰, 杨莹, 等. 黔产赤灵芝不同部位无机元素和营养成分分析[J]. 信阳师范学院学报(自然科学版), 2023, 36(01): 39-45.
- [19] 徐靖, 刘志风, 王瑛, 等. 微波消解-ICP-MS 分析不同破壁方法灵芝孢子粉中无机元素含量[J]. 中国现代应用药学, 2014, 31(07): 813-817.

基金项目: 丽水市科学技术局公益性技术应用研究项目(2022GYX37); 丽水市科学技术局自筹类公益性技术应用研究项目(2023SJC047)

作者简介: 胡红瑶, 本科, 技师, 主要从事理化检验工作。

通讯作者: 纪律