

风险评估

广东省灵芝、铁皮石斛、西洋参三种食药物质重金属暴露风险评估

刘志婷,黄盼盼,黄琼,陈洪升,胡曙光,严维娜
(广东省疾病预防控制中心,广东广州 511430)

摘要:目的 分析广东省3种食药物质灵芝、铁皮石斛和西洋参中重金属污染状况及其健康暴露风险。方法 在广东省10个地市采集灵芝及其相关产品(137份)、铁皮石斛及其相关产品(96份)、西洋参及其相关产品(70份)共303份,包括3种物质的鲜品、干制品原料和食品产品,其中广州采集33份、其余9个地市各采集30份。采用电感耦合等离子体法进行铅、镉、总汞、总砷的含量测定和分析;根据点评估模型,计算鲜品(按折干率折算)和干制品原料中重金属的平均含量,按照药用和膳食食用两种暴露方式,分别估计3种食药物质的重金属暴露风险。结果 作为药膳食用,暴露量高于药用暴露量,其中灵芝、铁皮石斛、西洋参的镉暴露量占每月可耐受摄入量(PTMI)的8.51%、8.72%和8.56%;总汞的暴露量占PTWI的3.51%、0.91%和1.08%。铅暴露的暴露限值(MOE)分别为11.56、7.14和20.94,总砷暴露的MOE值分别为68.34、102.39和152.28。在考虑膳食暴露途径后,通过3种食药物质引起的重金属暴露风险仍在可接受范围内。结论 广东省居民通过灵芝、铁皮石斛、西洋参的膳食暴露途径引起的铅、镉、总汞、总砷4种重金属的暴露风险较低。

关键词:食药物质;灵芝;铁皮石斛;西洋参;重金属;风险评估;广东

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2024)04-0414-06

DOI:10.13590/j.cjfh.2024.04.008

**Risk assessment of the heavy metals by ganoderma lucidum, dendrobium officinale,
and American ginseng in Guangdong Province**

LIU Zhiting, HUANG Panpan, HUANG Qiong, CHEN Hongsheng, HU Shuguang, YAN Weina
(Guangdong Provincial Center for Disease Control and Prevention, Guangdong Guangzhou 511430, China)

Abstract: Objective To analyze the pollution status and exposure risks of heavy metals by three edible traditional Chinese herbal medicine, such as ganoderma lucidum, dendrobium officinale, and American ginseng in Guangdong Province. **Methods** Fresh and dried raw materials of Ganoderma lucidum, Dendrobium officinale, and Panax quinquefolium, as well as food products, were collected from 10 cities in Guangdong Province. Among them, 33 samples were collected in Guangzhou, and 30 samples were collected in each of the other 9 cities. The concentrations of lead, cadmium, total mercury, and total arsenic in the three substances were determined and analyzed using inductively coupled plasma method. Based on the point assessment model, we calculated the average concentrations of heavy metals in fresh (converted at a dry rate) and dried raw materials, and evaluated the health risks according to the medicinal and dietary consumption patterns. **Results** As the dietary consumption pattern, the exposure levels were higher than the medical consumption pattern, and the cadmium exposure levels of Ganoderma lucidum, Dendrobium officinale and American ginseng accounted for 8.51%, 8.72% and 8.56% of PTMI. The exposure levels of total mercury accounted for 3.51%, 0.91%, and 1.08% of PTWI. The MOE values of lead exposure were 11.56, 7.14, and 20.94, respectively, while the MOE values of total arsenic exposure were 68.34, 102.39, and 152.28, respectively. After considering the dietary exposure pathway, the risks of heavy metal caused by the three edible traditional Chinese herbal medicine were still within an acceptable range. **Conclusion** Residents in Guangdong Province had a lower risks of exposure to lead, cadmium, total mercury, and total arsenic through the dietary exposure pattern of ganoderma lucidum, dendrobium officinale, and panax quinquefolium.

收稿日期:2023-08-15

基金项目:广东省医学科学技术研究基金项目(C2020011)

作者简介:刘志婷 女 主管医师 研究方向为营养与食品安全 E-mail:liuzhiting6@163.com

黄盼盼 女 主管医师 研究方向为营养与食品安全 E-mail:545396861@qq.com

刘志婷和黄盼盼为并列第一作者

通信作者:严维娜 女 主管技师 研究方向为营养与食品安全 E-mail:54377454@qq.com

Key words: Edible traditional Chinese herbal medicine; ganoderma lucidum; dendrobium officinale; American ginseng; heavy metal; risk assessment; Guangdong Province

食药物质是按照传统作为食品,且列入《中华人民共和国药典》(以下简称《中国药典》)的物质^[1]。2019年11月,国家卫生健康委和国家市场监督管理总局印发《关于对党参等9种物质开展按照传统既是食品又是中药材的物质管理试点工作的通知(国卫食品函〔2019〕311号)》^[2],对党参、肉苁蓉、铁皮石斛、西洋参、黄芪、灵芝、山茱萸、天麻、杜仲叶9种物质开展食药物质试点管理工作。2023年11月,国家卫生健康委和国家市场监督管理总局联合发布《关于党参等9种新增按照传统既是食品又是中药材的物质公告》,将上述9种物质纳入按照传统既是食品又是中药材的物质目录^[3]。广东是我岭南中医药文化的核心地区,“药膳”文化深入人心,食药物质是广东省居民饮食的重要组成部分。中药材的重金属污染问题历来受到国内外的广泛重视^[4-6],《中国药典》对多种药材药用时重金属铅、镉、总汞、总砷限量值做出了规定,然而中药材作为食品食用时,其重金属的暴露量是否安全仍需评估。本研究在广东省采集了具有食用历史的灵芝、铁皮石斛、西洋参3种食药物质,检测其重金属铅、镉、总汞、总砷含量,并对其作为药用和药膳食用的两种情形进行风险评估,为3种食药物质的安全性评价提供参考。

1 材料与方法

1.1 样品采集

根据3种食药物质的消费情况、生产企业分布等因素,选择广东省的广州、珠海、佛山、东莞、中山、江门、韶关、梅州、湛江、云浮10个地市作为采样点,采集铁皮石斛、西洋参、灵芝样品,每种样品类别包括鲜品、干制品原料和生产的食品产品。除广州采集33份样本外,其余9个地市各采集30份样本。各地采集的详细样品种类见表1。

根据简单随机抽样中总体均数估计的样本量计算公式 $n_0 = (Z_{\alpha/2})^2 \sigma^2 / L^2$ 估计最小样本量,取 α 为双侧 0.05,误差 L 为总体均值的 1%,综合考虑既往研究数据以及4种重金属的危害性,以西洋参中铅的平均含量为依据计算样本量。参照既往研究^[7],西洋参中铅的含量最低为 0.211 ± 0.017 mg/kg,最高为 3.264 ± 0.122 mg/kg,取最高和最低平均水平分别计算样本量后取较大值,最终得出至少需要样品250份。考虑样本代表性问题,进一步扩容,最终实际采样303份。广州采集33份样品,其余地

表1 各地市采集各类样品份数/份

采样地市	灵芝	铁皮石斛	西洋参	合计
广州市	19	13	1	33
珠海市	15	8	7	30
佛山市	13	11	6	30
东莞市	11	8	11	30
中山市	11	12	7	30
江门市	11	11	8	30
韶关市	13	9	8	30
梅州市	19	6	5	30
湛江市	11	9	10	30
云浮市	14	9	7	30
合计	137	96	70	303

市采集30份。

1.2 检验方法

重金属铅、镉、总汞、总砷根据《中华人民共和国药典》(2020年版)四部通则(2321)中电感耦合等离子体进行测定。

1.3 暴露量计算及评估

采用点评估模型估计食药物质中重金属膳食暴露风险。将FAO/WHO食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)推荐的健康指导值或基准剂量值与本研究计算得到暴露量(Exposure, Exp)作对比,评估重金属暴露风险。

每月(每周、每天)的暴露量分别为 $\text{Exp}(\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}) = C \times M \times 30(7 \text{ 或 } 1) \times K / \text{WAB}$ 。C是重金属含量;M为每日消费量;K为消费频率校正因子;WAB为体质量。本研究中仅考虑成年人情况,体质量取60 kg。考虑到食品产品中可能含有其他类食物(如灵芝罗汉果茶、灵芝陈皮茶),本研究仅纳入鲜品和干制品原料平均含量数据进行暴露量的计算和评估,鲜品按照折干率折算后计算其重金属含量。

1.4 统计学分析

根据世界卫生组织(WHO)推荐的替代法对未检出值进行处理^[8],考虑到本次检测的4种重金属含量的未检出量均低于60%,用LOD/2替代计算平均值。采用SPSS 25.0软件进行数据的统计分析。

2 结果

2.1 铁皮石斛、灵芝及西洋参3种食药物质中重金属污染状况

本次研究实际采集铁皮石斛、灵芝、西洋参等相关鲜品、干制品原料和食品产品共303份,其中灵芝及其相关产品137份、铁皮石斛及其相关产品

96份、西洋参及其相关产品70份。样品信息详见表2。灵芝样品中以食品产品(55份,40.1%)和干制品原料(51份,37.2%)为主;石斛以干制品原料

(44份,45.8%)和鲜品(37,38.5%)为主;西洋参未采集到鲜品,干制品原料和食品产品分别为47份(67.1%)和23份(32.9%)。

表2 广东省3种食药物质中重金属平均含量/(mg/kg)

Table 2 Average content of heavy metals in 3 edible traditional chinese herbal medicines/(mg/kg)

食药物质	样品数	铅	镉	总汞	总砷
灵芝					
鲜品(未折算)	31	0.061±0.062	0.048±0.050	0.008±0.006	0.023±0.037
鲜品(折算)	31	0.152±0.155	0.120±0.124	0.019±0.014	0.058±0.091
干制品原料	51	0.235±0.359	0.151±0.163	0.052±0.110	0.103±0.085
食品产品	55	0.230±0.391	0.075±0.096	0.024±0.024	0.161±0.109
铁皮石斛					
鲜品(未折算)	37	0.178±0.251	0.062±0.045	0.002±0.002	0.017±0.013
鲜品(折算)	37	0.509±0.716	0.178±0.128	0.005±0.005	0.050±0.038
干制品原料	44	0.179±0.123	0.113±0.064	0.014±0.029	0.064±0.032
食品产品	15	0.108±0.171	0.071±0.059	0.004±0.002	0.034±0.019
西洋参					
干制品原料	47	0.112±0.143	0.140±0.082	0.012±0.024	0.039±0.040
食品产品	23	0.067±0.044	0.082±0.084	0.003±0.003	0.039±0.032

对3种食药物质中铅、镉、总汞、总砷残留量的均值进行分析,结果见表2。参照2023年发布的《关于党参等9种新增按照传统既是食品又是中药材的物质公告》相关规定,铁皮石斛中铅不得超1 mg/kg,镉不得超0.5 mg/kg,汞不得超0.05 mg/kg,砷不得超0.5 mg/kg;灵芝中的铅不得超1 mg/kg,镉不得超0.5 mg/kg,汞不得超0.1 mg/kg,砷不得超1 mg/kg;西洋参中的铅不得超1 mg/kg,镉不得超1 mg/kg,汞不得超0.3 mg/kg,砷不得超过1 mg/kg;以上限量值基于干品确定,鲜品根据干品按照水分进行折算。根据文献资料,灵芝的折干率(折干率=干重/湿重)在40%~45%^[9],铁皮石斛的折干率在35%左右^[10-11],本研究对31份灵芝鲜品按照折干率40%进行折算、37份铁皮石斛鲜品按照折干率35%折换后,判断其超标情况。本研究采集的51份灵芝干制品原料和31份灵芝鲜品中,铅的超标率为3.66%(3/82)、镉的超标率为3.66%(3/82)、汞的超标率为6.10%(5/82)、砷未超标。44份铁皮石斛干制品原料和37份铁皮石斛鲜品中,铅的超标率为4.94%(4/81)、镉的超标率为2.47%(2/81)、汞的超标率为6.17%(5/81)、砷未超标。47份西洋参干制品原料中,4种重金属含量均未超标。

本次监测的食品产品中主要为代用茶(75份)、固体饮料(10份)、压片糖果(5份)、其他(3份),参照《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2022)中对固体饮料和糖果中铅的限量规定分别为1 mg/kg和0.5 mg/kg,本次监测的固体饮料和压片糖果均未超标;代用茶暂无相关重金属限量要求,参照《食品安全国家标准 食品中污染物限量》(GB 2762—2022)中对茶叶中铅的限量值,本次监测的75份代用茶均未超标。本次监测的食品产

品类别中其他3种重金属暂无相关限量要求。

2.2 广东省3种食药物质重金属暴露风险评估

因食药两用的特性,分别考虑3种物质在作为药物治疗和膳食使用的情形下,重金属的暴露风险。①作为药物治疗的情况,每日消费量M根据《中国药典》推荐摄入量上限(灵芝12 g/d、铁皮石斛12 g/d、西洋参6 g/d),遵循风险评估保守性原则,假设患者终生每天用药。②作为膳食使用的情形,根据国家风险评估中心调查数据^[6],药食同源品种作为膳食的使用量平均值为43 g,使用天数的 P_{95} 为260 d。则每日消费量 $M=43$ g/d; $K=260/365=0.712$ 。

根据JECFA推荐,镉的每月可耐受摄入量(Provisional tolerable monthly intake, PTMI)定为25 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ ^[12];鱼和贝类以外的其他食品的总汞每周PTWI采用2011年制定的4 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ ^[13]。将上述健康指导值与本研究计算得到Exp作对比,评估重金属暴露风险。

目前JECFA尚未确定铅和砷的健康指导值,基于人群流行病学调查数据,铅的剂量反应关系分离点定为成人1.2 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d}$ 铅暴露可引起收缩压升高1 mmHg^[12]、无机砷的肺癌发生基准剂量下限值(BMDL0.5)为3 $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d}$ ^[13]。采用暴露限值(Margin of exposure, MOE)方法对铅和砷的暴露潜在危害进行风险评估。MOE=剂量反应关系分离点(或BMDL0.5)/Exp, MOE值越大表示风险越低。因本次检测中未进行形态分析,仅获得总砷含量,参考其他植物性中药材中获得形态分析数据^[14],砷主要以无机形态存在,假定本研究中用测得的总砷含量相当于无机砷含量进行评估,不再进行折算。

2.2.1 镉暴露量风险评估

根据 JECFA 推荐,镉的 PTMI 为 $25 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 。灵芝、铁皮石斛和西洋参 3 种食药物质作为药用镉暴露量占到 PTMI 的 3.33%、3.42% 和 1.68%;作为药膳食用,暴露量占到 PTMI 的 8.51%、8.72% 和 8.56%。以既往研究中广州^[15]和深圳^[16]居民膳食镉暴露的平均水平作为广东省居民暴露水平的参考(14.4 和 $9.9 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}/\text{month}$, 分别占 PTMI 的 57.6% 和 39.6%),因其膳食暴露量较低,即便考虑叠加经 3 种食药物质作为药膳食用的镉暴露量,健康风险也可接受。

2.2.2 总汞暴露风险评估

本研究中灵芝、铁皮石斛和西洋参 3 种食药物质作为药用,汞暴露量占到健康指导值 (PTWI: $4 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$) 1.38%、0.36% 和 0.21%;作为药膳食用,暴露量占到 PTWI 的 3.51%、0.91% 和 1.08%。蔡金良^[17]的研究表明,中国居民经膳食汞暴露的危害指数 (Hazard index, HI),即各类食物(粮谷类、蔬菜类、水产类)汞的平均摄入水平与健康指导值之比的和,为 22%。中国居民的膳食汞暴露风险较低,即便考虑了本研究中 3 种食药物质作为药膳食用的暴露量,其风险也在可接受范围内。

2.2.3 铅暴露风险评估

本研究中灵芝、铁皮石斛和西洋参 3 种食药物质作为药用铅暴露的 MOE 值分别为 29.48、18.21、107.14;作为药膳食用,MOE 值分别为 11.56、7.14、20.94。参考既往研究中广州^[18]和深圳^[19]居民膳食铅暴露的平均水平作为广东省居民暴露水平的参考($0.38\sim 0.73 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d}$),相当于剂量反应关系分离点 31.67%~60.83%,因此经其他途径的暴露量不超过剂量反应关系分离点的 39% 即可,即 $\text{MOE}>2.56$ 可认为健康风险较低。本次监测的 3 种食药物质的膳食食用途径的铅的 MOE 均大于 2.56,表明风险较低。

2.2.4 总砷暴露风险评估

本研究中灵芝、铁皮石斛和西洋参 3 种食药物质作为药用总砷暴露的 MOE 值分别为 174.42、260.87、769.23;作为药膳食用,MOE 值分别为 68.34、102.39、152.28。中国居民的无机砷膳食平均暴露量为 $1.26 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}\cdot\text{d}$ ^[20],相当于 BMDL 0.5 的 42%,因此经其他途径的暴露量不超过 BMDL 0.5 的 58% 即可,即 $\text{MOE}>2$ 可认为健康风险较低。本次监测的 3 种食药物质的膳食食用途径的总砷 MOE 均大于 2,表明风险较低。

表 3 广东省 3 种食药物质中重金属暴露量/ $(\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW})$

Table 3 Exposure Levels of Heavy Metals in pilot edible traditional Chinese herbal medicines/ $(\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW})$

食药物质	镉(月暴露量)		总汞(周暴露量)		铅(天暴露量)		总砷(天暴露量)	
	药用	食用	药用	食用	药用	食用	药用	食用
灵芝	0.833 5	2.126 4	0.055 0	0.140 2	0.040 7	0.103 8	0.017 2	0.043 9
铁皮石斛	0.854 0	2.178 9	0.014 2	0.036 2	0.065 9	0.168 1	0.011 5	0.029 3
西洋参	0.419 3	2.139 6	0.008 4	0.043 0	0.011 2	0.057 3	0.003 9	0.019 7

2.3 评估结果的不确定性

灵芝、铁皮石斛、西洋参 3 种食药物质作为中药材通常采用煎服方式,作为药膳食用通常采用煲汤方式,本研究未考虑溶出率,可能导致一定程度的高估。另外,基于保守性原则,在评估过程中,采用的是《中国药典》推荐使用量的最大值,同时考虑终生服药的极端情形,也会和实际暴露水平有所差异。作为药膳食用的消费情况数据是基于既往文献报道数据,该研究是在黑龙江、辽宁、江西、贵州、甘肃 5 个省份开展,可能与广东省居民的消费情况存在一定差异。今后需进一步开展广东省食药物质膳食消费情况调查研究,为风险评估积累基础数据。

3 讨论

本研究对灵芝、铁皮石斛、西洋参 3 种食药物质中铅、镉、总汞、总砷的含量进行分析,并对 3 种物质分别作为药用和膳食使用的重金属暴露风险

进行评估。王伟影等^[21]对灵芝重金属暴露风险进行评估,按照每日食用 10 g 计,镉的每月膳食平均暴露量为 $1.2 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 、总汞的周暴露量为 $0.012 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 、铅的每天暴露量 $0.005 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ 、总砷的每天暴露量为 $0.022 \mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$,其研究结果总汞和铅的暴露量低于本研究水平,镉和总砷的暴露量稍高于本研究中灵芝药用的暴露水平,总体而言通过灵芝引起的 4 种重金属元素的膳食暴露水平远低于健康指导值。陈芳芳等^[22]对西洋参和铁皮石斛中重金属健康风险进行评估,该研究根据重金属含量中位数和 P_{95} 对平均暴露水平和高暴露水平分别进行分析,考虑了多种重金属综合暴露情形下的健康危害,结果发现除了汞、铅、镉元素综合暴露风险的 P_{95} 可能引起健康危害外,平均暴露水平下无论是单独暴露还是综合暴露均无健康风险。

但是这两项研究均主要考虑药用途径的暴露水平。考虑到膳食使用时暴露量可能增大的情形,本研究针对食药两种暴露途径分别进行评估。3 种物

质重金属的膳食暴露量均大于药用暴露量,但暴露的健康风险仍然在可接受范围内。3种物质作为药膳食用,镉的暴露量均在健康指导值的8%左右;总汞的暴露量中,灵芝暴露量(3.51%)占健康指导值的比例较铁皮石斛(0.91%)和西洋参(1.08%)较高。王远征等^[23]的研究显示,在北京(17份)、杭州(2份)、山东(1份)药店及中医门诊采集售卖的灵芝样品中,检测汞的含量范围从未检出值到0.43 mg/kg,平均值0.115 mg/kg,监测样品汞的超标率达25%。王培卿等^[24]从安徽亳州、河北安国等药材市场采集25份灵芝孢子粉检测其汞含量,检测范围从未检出到0.082 mg/kg之间,低于本研究水平。研究指出,不同产区中药材中重金属的污染状况存在差异^[25],建议后续对我国不同地区灵芝中汞的含量进行分析,明确分布规律,为进一步规划种植区域提供指导。3种物质经膳食暴露途径铅和总砷的暴露量均在可接受范围内。

本研究通过对灵芝、铁皮石斛、西洋参3种食药物质的重金属暴露风险进行评估,结果显示广东省居民通过3种物质经膳食暴露途径的暴露量均在可接受范围内,为评估3种物质作为药食同源物质的安全性提供参考。今后需进一步加强药食同源物质消费模式数据的收集,为相关标准的制修订提供参考。

参考文献

- [1] 国家卫生健康委. 关于印发《按照传统既是食品又是中药材的物质目录管理规定》的通知[EB/OL]. (2021-11-10) [2023-08-01]. <http://www.nhc.gov.cn/sps/s7892/202111/1b3e18ba75f142f99a4a15ce0d1660f3.shtml>.
- NATIONAL HEALTH COMMISSION. Notice on issuing the "Regulations on the administration of the catalogue of substances that are traditional Chinese medicinal materials as well as food" [EB/OL]. (2021-11-10) [2023-08-01]. <http://www.nhc.gov.cn/sps/s7892/202111/1b3e18ba75f142f99a4a15ce0d1660f3.shtml>.
- [2] 国家卫生健康委. 关于对党参等9种物质开展按照传统既是食品又是中药材的物质管理试点工作的通知[EB/OL]. (2019-11-25) [2023-08-01]. <http://www.nhc.gov.cn/sps/s7885/202001/1ec2cca04146450d9b14acc2499d854f.shtml>.
- NATIONAL HEALTH COMMISSION. Notice on pilot work on the management of nine substances, including codonopsis pilosula, based on traditional Chinese medicine and food [EB/OL]. (2019-11-25) [2023-08-01]. <http://www.nhc.gov.cn/sps/s7885/202001/1ec2cca04146450d9b14acc2499d854f.shtml>.
- [3] 国家卫生健康委. 关于党参等9种新增按照传统既是食品又是中药材的物质公告[EB/OL]. (2023-11-17) [2024-01-06]. <http://www.nhc.gov.cn/sps/s7892/202311/f0d6ef3033b54333a882e3d009ff49bf.shtml>.
- NATIONAL HEALTH COMMISSION. Announcement on the addition of 9 new substances, including codonopsis pilosula, that are traditional Chinese medicinal materials as well as food [EB/OL]. (2023-11-17) [2024-01-06]. <http://www.nhc.gov.cn/sps/s7892/202311/f0d6ef3033b54333a882e3d009ff49bf.shtml>.
- [4] YAO T, JIANG S, HOU K, et al. Cadmium (Cd) accumulation in traditional Chinese medicine materials (TCMMs): a critical review[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2022, 242: 113904.
- [5] CHEN Y, ZOU J, SUN H, et al. Metals in Traditional Chinese medicinal materials (TCMM): a systematic review[J]. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2021, 207: 111311.
- [6] 雍凌, 王彝白, 李耀磊, 等. 我国居民中药材砷暴露风险评估[J]. *中国中医药信息杂志*, 2018, 25(4): 5-9.
- YONG L, WANG Y B N, LI Y L, et al. Risk assessment of arsenic exposure by Chinese materia Medica in Chinese population [J]. *Chinese Journal of Information on Traditional Chinese Medicine*, 2018, 25(4): 5-9.
- [7] 秦公伟, 曹小勇, 王晶, 等. 不同年生西洋参中铅、镉含量分析[J]. *食品科学*, 2009, 30(10): 182-184.
- QIN G W, CAO X Y, WANG J, et al. Determination of lead and cadmium in American ginsengs (*Panax quinquefolium* L.) of different years[J]. *Food Science*, 2009, 30(10): 182-184.
- [8] 王绪卿, 吴永宁, 陈君石. 食品污染监测低水平数据处理问题[J]. *中华预防医学杂志*, 2002, 36(4): 278-279.
- WANG X Q, WU Y N, CHEN J S. Low level data processing issues in food pollution surveillance [J]. *Chinese Journal of Preventive Medicine*, 2002, 36(4): 278-279.
- [9] 吴云, 曾令奎. 灵芝的开发利用[J]. *中国食物与营养*, 2005, 11(5): 24-26.
- WU Y, ZENG L K. evelopment and utilization of *Ganoderma lucidum*[J]. *Food and Nutrition in China*, 2005, 11(5): 24-26.
- [10] 宋智琴, 刘海, 杨平飞, 等. 黔产铁皮石斛产地干燥技术研究[J]. *中药与临床*, 2018, 9(1): 5-6, 9.
- SONG Z Q, LIU H, YANG P F, et al. Study on drying technique at production place of *Dendrobium officinale* in Guizhou Province [J]. *Pharmacy and Clinics of Chinese Materia Medica*, 2018, 9(1): 5-6, 9.
- [11] 张雅琼, 丁作明, 安彦峰, 等. 铁皮石斛药材不同加工方法的比较[J]. *中国民族民间医药*, 2015, 24(1): 39-41.
- ZHANG Y Q, DING Z M, AN Y F, et al. The comparison of processing methods for traditional Chinese medicinal materials in *Dendrobium candidum* Wall. ex Lindl [J]. *Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy*, 2015, 24(1): 39-41.
- [12] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-third report of the Joint FAO/WHO expert committee on Food additives [C]. WHO Technical Report Series, 2011.
- [13] WHO. Evaluation of certain food additives and contaminants: seventy-second report of the Joint FAO/WHO expert committee on Food additives [C]. WHO Technical Report Series, 2011.
- [14] 王庚. ICPMS用于海洋和中药材中重金属元素及其汞砷形态分析的研究[D]. 济南: 山东大学, 2008.
- WANG G. Determination of heavy metals and speciation analysis of mercury and arsenic in marine and chinese medicinal herbs by ICP-MS [D]. Jinan: Shandong University, 2008.

- [15] ZHANG W, LIU Y, LIU Y, et al. An assessment of dietary exposure to cadmium in residents of Guangzhou, China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2018, 15(3): 556.
- [16] WANG Z, PAN L, LIU G, et al. Dietary exposure to cadmium of Shenzhen adult residents from a total diet study [J]. *Food Additives And Contaminants Part A-chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 2018, 35(4): 706-714.
- [17] 蔡金良. 中国居民经膳食汞暴露致心血管疾病负担研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2022.
CAI J L. Burden of cardiovascular disease attributed to dietary mercury exposure in chinese residents [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2022.
- [18] WANG M, LIANG B, ZHANG W, et al. Dietary lead exposure and associated health risks in Guangzhou, China [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2019, 16(8): 1417.
- [19] PAN L, WANG Z, PENG Z, et al. Dietary exposure to lead of adults in Shenzhen city, China [J]. *Food Additives And Contaminants Part A-chemistry Analysis Control Exposure & Risk Assessment*, 2016, 33(7): 1200-1206.
- [20] 李筱薇, 高俊全, 王永芳, 等. 2000年中国总膳食研究—膳食砷摄入量[J]. *卫生研究*, 2006, 35(1): 63-66.
LI X W, GAO J Q, WANG Y F, et al. 2000 Chinese total dietary study-the dietary arsenic intakes [J]. *Journal of Hygiene Research*, 2006, 35(1): 63-66.
- [21] 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.
- WANG W Y, CHEN M, RAO C, et al. Determination of the content of 7 heavy metals in *Ganoderma* spore powder and assessment of the dietary exposure [J]. *Chinese Journal of Modern Applied Pharmacy*, 2022, 39(17): 2216-2221.
- [22] 陈芳芳, 李志刚, 王晓琳, 等. 西洋参和铁皮石斛中重金属元素的污染情况及健康风险评估[J]. *预防医学论坛*, 2022, 28(10): 730-733.
CHEN F F, LI Z G, WANG X L, et al. Assessment on pollution level and health risk of heavy metals elements in American ginseng and *Dendrobium officinale* [J]. *Preventive Medicine Tribune*, 2022, 28(10): 730-733.
- [23] 王远征, 朱永官, 黄益宗. 灵芝中重金属的检测及其健康风险初步评价[J]. *生态毒理学报*, 2006, 1(4): 316-322.
WANG Y Z, ZHU Y G, HUANG Y Z. A survey on heavy metals in *Ganoderma lucidum* (LingZhi) and its preliminary health risk assessment [J]. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2006, 1(4): 316-322.
- [24] 王培卿, 李文静, 王金梅. 不同产地灵芝孢子粉的水分、灰分及铅镉砷汞含量分析[J]. *河南大学学报(医学版)*, 2020, 39(2): 85-88.
WANG P Q, LI W J, WANG J M. Analysis on the moisture, total ash and lead, cadmium, arsenic, mercury of *Ganoderma lucidum* spore powder from different habitats [J]. *Journal of Henan University (Medical Science)*, 2020, 39(2): 85-88.
- [25] 马晓莉, 王虎, 梁翠云, 等. 中药重金属富集规律研究进展[J]. *医学研究与教育*, 2022, 39(5): 31-38.
MA X L, WANG H, LIANG C Y, et al. Advances on the enrichment of heavy metals in traditional Chinese medicine [J]. *Medical Research and Education*, 2022, 39(5): 31-38.