

## 风险评估

我国9省铁皮石斛食用情况及消费人群4种常见重金属  
累积暴露评估研究黄雅琳<sup>1,2</sup>,包汇慧<sup>2</sup>,邱雪娇<sup>1,2</sup>,李建文<sup>2</sup>,张磊<sup>2</sup>,张首楠<sup>2</sup>,李琦<sup>2</sup>,曹佩<sup>2</sup>,覃思<sup>1</sup>

(1. 湖南农业大学,湖南长沙 410125;2. 国家食品安全风险评估中心,北京 100022)

**摘要:**目的 了解我国9省居民铁皮石斛食用情况,评估铁皮石斛消费人群铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)4种重金属的累积暴露量和潜在的健康风险。方法 基于2019年和2022年中国9省居民铁皮石斛消费量数据和文献筛选得到的部分地区铁皮石斛4种重金属含量数据,采用简单分布模型计算4种重金属暴露量,评估其健康风险;并在此基础上利用危害指数法(HI)进行累积暴露评估。结果 铁皮石斛消费者主要以食用干品为主(37.3%),其中以泡饮方式食用较多,单次消费量的平均值为8.2 g/人;铁皮石斛鲜品食用人群占总调查人数的12.9%,以榨汁为主,单次消费量的平均值为30.8 g/人。暴露评估结果显示,在铁皮石斛(干/鲜)4种重金属暴露量中,干品均高于鲜品且Pb的平均暴露水平(干/鲜)最高;以健康指导值或基准剂量的5%进行判定,在铁皮石斛干品中不同性别-年龄组消费者As、Pb的平均暴露量的暴露边界值(MOE)>1;Pb P95暴露量的MOE值<1;Cd和Hg暴露量均低于其健康指导值的5%。不同省份居民铁皮石斛重金属暴露评估结果表明,江西省铁皮石斛消费居民4种重金属暴露量均最高。江西和浙江两省Pb的高端暴露量的MOE值<1。4种元素累积评估显示铁皮石斛消费者的HI值均<1。结论 我国9省铁皮石斛消费者As、Cd、Hg暴露的健康风险较低,高食物量消费人群应关注铅暴露的健康风险。

**关键词:**铁皮石斛;重金属;食品污染物;暴露评估;累积风险评估

中图分类号:R155 文献标识码:A 文章编号:1004-8456(2024)01-0039-10

DOI:10.13590/j.cjfh.2024.01.007

**Risk assessment of specific heavy metals cumulative exposure to dendrobium officinale in nine provinces in China**HUANG Yalin<sup>1,2</sup>, BAO Huihui<sup>2</sup>, QIU Xuejiao<sup>1,2</sup>, LI Jianwen<sup>2</sup>, ZHANG Lei<sup>2</sup>, ZHANG Shouan<sup>2</sup>,  
LI Qi<sup>2</sup>, CAO Pei<sup>2</sup>, QIN Si<sup>1</sup>

(1. Hu'nan Agricultural University, Hu'nan Changsha 410125, China; 2. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China)

**Abstract: Objective** To understand the consumption of dendrobium officinale, by residents in nine Chinese provinces, and assess the cumulative levels of exposure related to four heavy metals (lead, cadmium, mercury, and arsenic) in dendrobium officinale consumers. **Methods** Consumption data from nine Chinese provinces from 2019 and 2022 and a literature review were used based on a simple distribution model and the hazard index (HI) method to assess the health risk of four heavy metals. **Results** Consumers mainly preferred dried dendrobium officinale (37.3%) and commonly consumed it by brewing tea or cooking soup. The average value of a single consumption amount was 8.2 g/person. Fresh dendrobium officinale was consumed by 12.9% of the surveyed population, primarily through juicing with an average single serving size of 30.8 g/person. The exposure assessment results indicate that in the case of dendrobium officinale (dried/fresh), the exposure levels of four heavy metals exposure in dried products were consistently higher than in fresh ones. Additionally, the average exposure level of lead (dried/fresh) was the highest; arsenic exposure levels for different gender-age groups were above the health guidance value or 5% reference dose [Margin of exposure (MOE)>1]. Average lead exposure exceeded the standard (MOE>1), whereas the 95th percentile (P95) values exposure were below 1

收稿日期:2023-07-14

作者简介:黄雅琳 女 在读研究生 研究方向为食品安全 E-mail:2832084171@qq.com

通信作者:覃思 男 研究员 研究方向为营养基因组学 E-mail:qingsiman@hotmail.com

曹佩 女 副研究员 研究方向为食品安全 E-mail:caopei@cfsa.net.cn

覃思和曹佩为共同通信作者

(MOE<1). Cadmium and mercury exposure levels are below the 5% health guidance value. The assessment results of heavy metal exposure in residents consuming dendrobium officinale in different provinces indicate that residents in Jiangxi Province have the highest levels of exposure to four types of heavy metals. The MOE values for high-end exposure to lead in both Jiangxi Province and Zhejiang Province are less than 1. The cumulative assessment of 4 elements indicates that the HI values for consumers of dendrobium officinale are all less than 1. **Conclusion** Consumers of dendrobium officinale in China have low health risks associated with arsenic, cadmium, and mercury exposure. However, individuals with high food intake individuals should pay attention to the health risks associated with lead exposure.

**Key words:** Dendrobium officinale; heavy metal; food contamination; exposure assessment; cumulative risk assessment

铁皮石斛是兰科植物铁皮石斛(拉丁学名 *Dendrobium officinale Kimura et Migo*)的干燥茎,已被载入《中华人民共和国药典》2020版,在我国云南、贵州、浙江等地区有作为食品原料传统食用历史,目前已作为试点食药物质之一在部分省份进行生产经营。研究显示,重金属等外源性污染物已成为影响我国食药物质食用安全性的主要风险因素<sup>[1-2]</sup>。符德欢等<sup>[2]</sup>采用电感耦合等离子体质谱法对铁皮石斛叶中5种重金属元素含量进行测定,发现铁皮石斛叶对铅、镉等重金属有一定蓄积作用,其中铅和砷的含量较高。杜静等<sup>[1]</sup>对四川雅安产的铁皮石斛中铅、镉、汞、砷进行测定,其汞含量较高。

本研究在我国有铁皮石斛传统食用习惯的地区开展其消费情况调查,全面了解铁皮石斛的食用方式、食用频次、食用量等,并对铁皮石斛中常见的4种有害金属元素铅、镉、汞、砷开展风险评估,以期科学客观地评价食药物质中重金属的健康风险,实现精准的风险管控和指导食药物质安全使用提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 数据来源

#### 1.1.1 铁皮石斛中4种重金属含量数据

基于已经发表的关于检测铁皮石斛中重金属含量的文献,按照相应纳入与排除标准,获得我国部分地区铁皮石斛中重金属的含量数据。以“石斛”“铁皮石斛”“重金属”“铅”“镉”“汞”“砷”等为中文关键词,以“dendrobe”“dendrobium officinale”“heavy metal”“plumbum”“cadmium”“mercury”“arsenic”等为英文关键词,从万方、中国知网、PubMed等数据库中搜集铁皮石斛重金属含量数据文献。时间从2011年至2022年,语种限定为中文和英文,共搜集检索到97篇文献(其中中文文献89篇,英文文献8篇)。文献纳入标准为:①检测指标为砷、镉、铅、汞4种重金属;②食品种类为铁皮石斛(包括干和鲜);③铁皮石斛来源地区及数量确定;④四种重金属检测方法为国家标准方法,依据不同的检测方法

获取铁皮石斛铅、镉、总砷/汞或无机砷/汞的含量数据。根据文献纳入排除标准与文献质量,最终纳入近10年的18篇文献进行数据分析。

#### 1.1.2 铁皮石斛消费量数据

国家食品安全风险评估中心于2019和2022年开展中国居民食药物质消费量调查,选取福建、江西、河南、贵州、甘肃、浙江、广东、黑龙江、山东9个省作为调查点,在每个省(市)至少调查2个县/市,每个县/市选取2个乡镇/街道,每个镇/街道选取2个村委会,每个村委会选取44户,每户选取一人作为调查对象,住户人群调查人数:2×2×2×44=352人,最终共计10396人参与调查。把户内常住人口(居住至少6个月)18岁及以上家庭成员作为调查对象。所有调查点对象全部自愿签署“知情同意书”。

采用过去1年食物消费频率法获得消费者的消费数据和个体体质量数据。采用入户面对面问卷调查方式开展,问卷内容包括家庭基本信息及个人基本信息,如性别、年龄、民族、教育、职业等。食药物质消费情况主要包括食药物质消费形式、消费量、消费频率、食用方式等内容。使用Epidata 3.0软件录入问卷信息,并通过一致性检验,确保数据真实准确。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 暴露量计算

采用简单分布模型,利用2019年和2022年中国居民食药物质消费量调查状况中18岁及以上人群每个个体的铁皮石斛消费量数据和体质量数据,结合从文献中整理得到的铁皮石斛中重金属含量数据,计算每天每个个体每千克体质量的重金属暴露量,其公式为:

$$Exp = \sum_{i=1}^n \frac{Fi \times Ci}{w} \quad (1)$$

式中:Exp为某个体每日重金属暴露量( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ );Fi为某个体第i种食物的消费量( $\text{g}/\text{d}$ );Ci为第i种食物中重金属的平均含量( $\text{mg}/\text{kg}$ );本文暴露评估中假设消费者全部摄入铁皮石斛中的重金属;w为对应食用者的体质量( $\text{kg}$ )。在计算获取个体暴露量的基础上,分别计算不同性别-年龄组重金属暴露分

布以及平均暴露量水平和高消费量人群(P95)的膳食暴露水平。将不同性别-年龄人群从18岁成年人到60岁及以上老年人,分成4个性别-年龄组:18-59岁(男、女)、60岁及以上(男、女)。

### 1.2.2 累积风险评估

采用危害指数法(Hazard index, HI)开展铁皮石斛中4种重金属的累积暴露评估。膳食中重金属暴露于多种食品,铁皮石斛仅为其中一种来源,基于世界卫生组织对镉等进行评估时,将来源于饮用水的暴露贡献率定为10%<sup>[3]</sup>,毛伟峰等<sup>[4]</sup>以此和以往研究结果对来源于饮料的铅和镉的贡献率定为5%。由于铁皮石斛的一种食用方式为鲜品榨汁,因此假定来源于铁皮石斛的铅、镉、汞、砷的贡献率占健康指导值的5%。HI是各化合物危害商(Hazard quotient, HQ)之和, HQ是各污染物暴露量与其健康指导值5%的比值,计算公式为:

$$HI = \sum_{i=1}^n HQ_i = \sum_{i=1}^n \frac{Exp_i}{RVI} \quad (2)$$

式中:当HI>1时,认为风险是不可接受的;当HI≤1时,认为风险是可接受的。

### 1.2.3 健康指导值

#### 1.2.3.1 砷元素

联合国粮农组织/世界卫生组织食品添加剂联合专家委员会(Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives, JECFA)基于人群流行病学调查研究数据,提出了以无机砷产生肺癌发病率增加0.5%作为毒性效应终点的基准剂量下限(BMDL<sub>0.5</sub>)为3 μg/kg·BW<sup>[5]</sup>。本文选择暴露边界(Margin of exposure, MOE)法对铁皮石斛消费者砷暴露进行风险评估。

#### 1.2.3.2 铅元素

JECFA在2010年取消了铅的PTWI值(25 μg/kg·BW),但JECFA经过评估后,给出了成人的BMDL<sub>0.1</sub>是1.2 μg/kg·BW<sup>[6]</sup>(收缩压上升1 mmHg),采用MOE法开展铅暴露的风险评估。

#### 1.2.3.3 镉元素

JECFA于2010年在第73次会议上,选择β2-微球蛋白(B<sub>2</sub>M)作为镉的最适标志物,将食品中镉的暂定每月允许摄入量(Provisional Tolerable Monthly Intake, PTMI值)25 μg/kg·BW<sup>[7]</sup>作为健康指导值(相当于每日0.833 μg/kg·BW)。

#### 1.2.3.4 汞元素

欧洲食品安全局(European Food Safety Authority, EFSA)以雄性大鼠肾脏重量变化作为关键效应,于2012年发布了无机汞的每周允许摄入量(Tolerable weekly intake, TWI值)为4.00 μg/kg·BW<sup>[8]</sup>(相当于

每日0.571 μg/kg·BW)。

### 1.3 统计学分析

使用R studio 4.1.2和Excel 2019从中国居民食物消费量数据库中提取整理各省份铁皮石斛的消费信息(包括性别、年龄、体质量、食用方式、消费量等)。采用IBM SPSS 26.0软件进行数据描述与分析,数值变量采用均值和标准差描述,分类变量采用频率和构成比描述,应用χ<sup>2</sup>检验来检测组间差异,检验水准α为0.05,以P<0.05为差异具有统计学意义。

## 2 结果

### 2.1 铁皮石斛中4种重金属含量数据

根据纳入的铁皮石斛中重金属元素含量的研究,铁皮石斛干品、鲜品共430份样品中4种重金属元素的含量数据见表1,其中经过文献筛选,得到的铁皮石斛砷/汞为无机砷/无机汞含量。由此可知,对于干品,砷、镉、铅、汞元素的均值范围分别为0.083~1.414、0.073~0.334、0.224~2.954、0.024~0.121 mg/kg,最大值分别为6.410、5.131、9.260、0.334 2 mg/kg;对于鲜品,砷、镉、铅、汞元素的均值范围分别为0.012~0.017、0.017~0.045、0.059~0.113、0.001 mg/kg,最大值分别为0.020、0.067、0.380、0.001 4 mg/kg。

### 2.2 铁皮石斛食用情况调查

#### 2.2.1 基本信息

本研究在2019年和2022年于我国9省(市)共调查10396人,其中男性4841人(46.6%),女性5555人(53.4%)。调查显示共有1291人食用铁皮石斛,全人群铁皮石斛消费率为12.4%。女性食用率(13.2%)高于男性(11.5%);从年龄分布来看,18-59岁(12.5%)略高于60岁以上人群(12.2%);按受教育程度分层,大专及以上学历最高(16.6%),小学及以下最低(9.2%);在从事职业中,商业技术(32.4%)高于其他职业;在城乡分布调查中,城市(14.4%)高于农村;从收入水平来看,3万元以上人群最高(19.4%);从地域来看,东部地区最高(27.5%)(表2)。

#### 2.2.2 食用情况

##### 2.2.2.1 食用频次和食用历史

本次调查显示,偶尔(≤1次/月)食用铁皮石斛的人数最多,为507人(39.3%),其次是每个月食用铁皮石斛的次数≥4次,占比为30.0%,21.6%的调查对象极少食用铁皮石斛。对于铁皮石斛的食用年限,1~2年和2~5年的人最多,分别为187人(28.9%)和188人(29.1%),食用10~30年的人数占调查总人数的11.7%(表3)。

表1 我国部分地区铁皮石斛中四种重金属含量数据  
Table 1 Content data of four heavy metals in dendrobium officinale from some areas of China

采样来源	样本量	检测部位	检测方法	砷含量/(mg/kg)				铅含量/(mg/kg)				参考文献				
				均值	标准偏差	范围	范围	均值	标准偏差	范围	范围					
贵州	n=39	茎	电感耦合等离子体质谱法;原子荧光光谱法	0.117	0.067	0.025~0.410	0.077	0.057	0.022~0.259	0.567	0.467	0.037~2.266	0.025	0.010	0.004~0.042	[9-12]
江西	n=26	茎	电感耦合等离子体质谱法;原子荧光光谱法;原子吸收分光光度法	0.931	0.553	0.079~1.892	0.334	0.947	0.013~5.131	1.354	0.575	0.589~2.152	0.121	0.113	0.012~0.334	[11,13-14]
云南	n=59	茎	电感耦合等离子体质谱法;ICP-AES 原子吸收光谱法	1.414	1.876	0.011~6.410	0.185	0.117	0.005~0.470	2.954	3.247	0.170~9.260	0.024	0.015	0.002~0.052	[2,11-12,15-16]
浙江	n=12 n=99 n=117	茎 茎 茎	电感耦合等离子体质谱法;原子荧光光谱法;电感耦合等离子体质谱法	0.017 0.197 0.012	0.003 0.225 0.002	0.015~0.020 0.021~1.42 0.008~0.015	0.017 0.160 0.045	0.003 0.234 0.014	0.015~0.019 0.004~1.470 0.031~0.067	0.059 0.776 0.113	0.042 0.529 0.128	0.029~0.089 0.027~2.600 0.029~0.380	— 0.042 0.001	— 0.025 0.000 5	— 0.001~0.110 0.000 5~0.001 4	[11-12,15,17-23]
广东	n=11	茎	电感耦合等离子体质谱法	0.093	0.042	0.060~0.140	0.118	0.046	0.07~0.122	1.150	0.774	0.630~2.040	0.096	0.071	0.045~0.146	[11-12]
福建	n=34	茎	电感耦合等离子体质谱法;ICP-AES 原子吸收光谱法	0.105	0.007	0.100~0.110	0.234	0.131	0.134~0.382	0.740	0.365	0.500~1.160	0.059	0.067	0.003~0.167	[11,15,24]
安徽	n=39	茎	电感耦合等离子体质谱法;ICP-AES 原子吸收光谱法	0.083	0.084	0.030~0.180	0.073	0.031	0.016~0.099	0.224	0.240	0.064~0.820	0.102	0.054	0.023~0.141	[11-12,15,25]
合计	n=307 n=129	干 鲜		0.542 0.013	0.851 0.003	0.011~6.410 0.008~0.020	0.188 0.039	0.519 0.017	0.004~5.131 0.015~0.067	1.119 0.102	1.718 0.116	0.027~9.260 0.029~0.380	0.043 0.001	0.046 0.000 5	0.001 1~0.334 2 0.000 5~0.001 4	— —

注:电感耦合等离子体质谱法检测砷、镉、铅、汞 4 种重金属的检出限范围分别是:0.002~0.182、0.001~0.041、0.001~0.170、0.008~0.020 mg/kg;原子吸收光谱法检测砷、镉、铅、汞 4 种重金属的检出限范围分别是:0.003、0.001、0.005~0.020、0.000 15 mg/kg;原子荧光光谱法检测砷、汞的检出限范围分别是:0.001~0.01、0.003 mg/kg



表2 我国9省(市)铁皮石斛消费状况调查研究对象分组情况及铁皮石斛食用率

Table 2 Characteristics of participants for investigation and prevalence of dendrobium officinale in nine provinces of China

分组	调查人数(占比/%) <i>n</i> =10 396	食用人数 <i>n</i> =1 291	食用率/%	$\chi^2$	<i>P</i> 值	
性别	男性	4 841(46.6)	559	11.5	6.320	0.012
	女性	5 555(53.4)	732	13.2		
年龄	18~59岁	7 297(70.2)	912	12.5	0.144	0.704
	60岁及以上	3 099(29.8)	379	12.2		
受教育程度	小学及以下	2 633(25.3)	241	9.2	63.434	<0.001
	中学	5 424(52.2)	662	12.2		
	大专及以上	2 339(22.5)	388	16.6		
职业	在校学生	152(1.5)	15	9.9	648.547	<0.001
	体力劳动	4 219(40.6)	217	5.1		
	公务员或事业单位	966(9.3)	87	9.0		
	自由职业	1 179(11.3)	166	14.1		
	离退休人员	643(6.2)	152	23.6		
	商业技术	809(7.8)	262	32.4		
	个体经营者	693(6.7)	150	21.6		
	服务业	890(8.6)	123	13.8		
城乡	其他	845(8.1)	119	14.1	29.564	<0.001
	城市	4 671(44.9)	671	14.4		
年人均收入水平	农村	5 725(55.1)	620	10.8	1 047.179	<0.001
	1万元以下	2 793(26.9)	36	1.3		
	1万~3万元	3 189(30.7)	198	6.2		
地域	3万元以上	2 125(20.4)	413	19.4	1 216.141	<0.001
	东部	3 710(35.7)	1 022	27.5		
	中部	4 590(44.2)	203	4.4		
	西部	2 096(20.2)	66	3.1		

表3 食用频次和食用历史统计表

Table 3 Consumption frequency and consumption history statistics table

类别	人数	占比(%)	
食用铁皮石斛的频率	极少(≥4个月1次)	279	21.6
	偶尔(≤1次/月)	507	39.3
	经常(2-3次/月)	117	9.1
	频繁(≥4次/月)	388	30.0
	合计	1 291	100.0
食用铁皮石斛的年限	不到1年	104	16.1
	1~2年	187	28.9
	2~5年	188	29.1
	5~10年	92	14.2
	10~30年	76	11.7
	合计	647	100.0

2.2.2.2 不同食用方式下铁皮石斛(干/鲜)的消费量

受调查铁皮石斛消费者主要以食用干品为主,食用人数占调查人数的37.3%,传统食用方式有煲汤、泡茶、入菜、泡酒等,其中采用泡茶方式的消费者最多(41.2%),其次是煲汤,占比为26.4%。部分消费者(25.6%)采用磨粉方式食用铁皮石斛干品,还有少部分消费者采用泡酒、入菜、其他方式食用。采用泡茶方式的消费者单次铁皮石斛(干)的平均消费量为8.2 g/人;煲汤食用铁皮石斛的消费者单次铁皮石斛(干)的平均消费量为8.2 g/人;磨粉方式的消费者单次铁皮石斛(干)的平均消费量为2.5 g/人;采用入菜方式的消费者单次铁皮石斛(干)的平均消费量为12.0 g/人;泡酒的单次铁皮石斛(干)的平均消费量分别为6.8 g/人;其他方式的消费者单次铁

皮石斛(干)的平均消费量为2.3 g/人(表4)。

表4 不同方式食用铁皮石斛(干)单次消费量

Table 4 Single consumption of dendrobium officinale (dry) in different ways

食用方式	食用人数	食用人数 占比/%	单次消费量/(g/人/次)			
			均值	<i>P</i> 50	<i>P</i> 95	范围
煲汤	127	26.4	8.2	6.0	20.0	2.0-50.0
泡茶	198	41.2	8.2	5.0	30.0	1.0-50.0
入菜	15	3.1	12.0	3.0	—	1.0-50.0
泡酒	12	2.5	6.8	5.0	—	2.0-20.0
磨粉	123	25.6	2.5	2.0	4.8	1.0-20.0
其他	6	1.2	2.3	2.0	—	1.0-6.0
合计	481	100	6.8	5.0	25.0	1.0-50.0

注:其他方式包括直接吃等食用方式

铁皮石斛消费者食用鲜品的人数占总调查人数的12.9%。采用榨汁方式的消费者最多(40.4%),其次是泡茶(38.0%)。部分消费者(14.5%)采用煲汤方式食用,还有少部分消费者采用入菜和其他方式食用。采用榨汁方式的消费者单次铁皮石斛(鲜)的平均消费量为30.8 g/人;泡茶方式的消费者单次铁皮石斛(鲜)的平均消费量为25.7 g/人;通过煲汤食用铁皮石斛的消费者单次平均消费量为21.5 g/人;采用入菜方式的消费者单次平均消费量为20.0 g/人(表5)。

2.3 铁皮石斛(干/鲜)中4种重金属暴露量

由表6可见,铁皮石斛(干品)中砷、镉、铅和汞的平均暴露量分别为 $7.2 \times 10^{-3}$ 、 $2.5 \times 10^{-3}$ 、 $14.9 \times 10^{-3}$ 、 $5.7 \times 10^{-4} \mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ ,铁皮石斛(鲜品)中砷、镉、铅和

表5 不同方式食用铁皮石斛(鲜)单次消费量

Table 5 Single consumption of dendrobium officinale (fresh) in different ways

食用方式	食用人数	食用人数 占比/%	单次消费量/(g/人/次)			
			均值	P50	P95	范围
煲汤	24	14.5	21.5	17.5	50.0	2.0~50.0
泡茶	63	38.0	25.7	20.0	50.0	2.0~100.0
入菜	6	3.6	20.0	12.5	—	2.0~50.0
榨汁	67	40.4	30.8	30.0	80.0	10.0~100.0
其他	6	3.6	4.5	4.0	—	1.0~10.0
合计	166	100	26.2	25.0	50.0	1.0~100.0

注:其他方式包括直接吃等食用方式

汞的平均暴露量分别为  $0.8 \times 10^{-3}$ 、 $2.4 \times 10^{-3}$ 、 $6.2 \times 10^{-3}$ 、 $0.6 \times 10^{-4}$   $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ 。铁皮石斛(干品)中砷、镉、铅和汞的 P95 分别为  $35.7 \times 10^{-3}$ 、 $12.4 \times 10^{-3}$ 、 $73.8 \times 10^{-3}$ 、 $2.8 \times 10^{-3}$   $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ , 铁皮石斛(鲜品)中砷、镉、铅和汞的 P95 分别为  $3.4 \times 10^{-3}$ 、 $10.1 \times 10^{-3}$ 、 $26.5 \times 10^{-3}$ 、 $0.3 \times 10^{-3}$   $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ 。铁皮石斛中 4 种重

金属的暴露量,干品均高于鲜品。

## 2.4 我国不同省份居民经铁皮石斛摄入 4 种重金属暴露量

由表 7 可知,江西省铁皮石斛消费居民 4 种重金属暴露量均最高。本研究不同省份砷和铅元素的平均暴露水平分别是  $0.0003$ ~ $0.0284$   $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$  和  $0.0019$ ~ $0.0413$   $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ , 所有省份消费者砷暴露量的 MOE 值均远大于 1, 但江西和浙江省居民的 P95 暴露量的 MOE 值略大于 1。铅元素平均暴露量的 MOE 值均 >1, 但江西和浙江省的高端消费人群暴露量的 MOE 值 <1。不同省份居民镉和汞元素的平均暴露量范围分别为  $0.0006$ ~ $0.0102$   $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$  和  $0.0002$ ~ $0.0037$   $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ 。所有省份消费者镉和汞元素的平均暴露量均远低于其健康指导值的 5%。但江西铁皮石斛高端消费者镉元素的暴露量稍小于其健康指导值的 5%, 可能存在一定的潜在风险。

表6 铁皮石斛干/鲜品中 4 种重金属暴露量/( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ )Table 6 Exposure of four heavy metals to dried and fresh of dendrobium officinale/( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ )

干鲜分类	砷		镉		铅		汞	
	平均暴露量	P95	平均暴露量	P95	平均暴露量	P95	平均暴露量	P95
干品	$7.2 \times 10^{-3}$	$35.7 \times 10^{-3}$	$2.5 \times 10^{-3}$	$12.4 \times 10^{-3}$	$14.9 \times 10^{-3}$	$73.8 \times 10^{-3}$	$5.7 \times 10^{-4}$	$2.8 \times 10^{-3}$
鲜品	$0.8 \times 10^{-3}$	$3.4 \times 10^{-3}$	$2.4 \times 10^{-3}$	$10.1 \times 10^{-3}$	$6.2 \times 10^{-3}$	$26.5 \times 10^{-3}$	$0.6 \times 10^{-4}$	$0.3 \times 10^{-3}$

注:干/鲜品暴露量是利用消费者群干/鲜品消费量与干/鲜品中重金属含量按照公式计算得来

表7 我国 6 省市人群经铁皮石斛干品摄入 4 种重金属暴露量及健康风险

Table 7 Exposure of four heavy metals and health risks through dried dendrobium officinale in 6 provinces and cities of China

地区	人数占 比/%	砷				镉			
		平均暴露量/( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ )	MOE	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ )	MOE	平均暴露量/( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ )	PTMI <sup>a</sup> /%	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ )	PTMI <sup>a</sup> /%
贵州	0.93	0.0009	166.67	—	—	0.0006	1.44	—	—
江西	13.25	0.0284	5.28	0.1129	1.33	0.0102	24.49	0.0405	97.24
浙江	28.81	0.0090	16.67	0.0367	4.09	0.0073	17.53	0.0298	71.55
广东	49.88	0.0007	214.29	0.0022	68.18	0.0009	2.16	0.0028	6.72
福建	4.03	0.0003	500.00	0.0014	107.14	0.0007	1.68	0.0030	7.20
河南	2.25	0.0007	214.29	0.0032	46.88	0.0006	1.44	0.0028	6.72

  

地区	人数占 比/%	铅				汞			
		平均暴露量/( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ )	MOE	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ )	MOE	平均暴露量/( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ )	TWI <sup>b</sup> /%	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg} \cdot \text{BW}$ )	TWI <sup>b</sup> /%
贵州	0.93	0.0041	14.63	—	—	0.0002	0.70	—	—
江西	13.25	0.0413	1.45	0.1642	0.37	0.0037	12.96	0.0147	51.49
浙江	28.81	0.0354	1.69	0.1447	0.41	0.0019	6.65	0.0078	27.32
广东	49.88	0.0084	7.14	0.0272	2.21	0.0007	2.45	0.0023	8.06
福建	4.03	0.0022	27.27	0.0096	6.25	0.0002	0.70	0.0008	2.80
河南	2.25	0.0019	31.58	0.0085	7.06	0.0009	3.15	0.0039	13.66

注:PTMI<sup>a</sup>为 PTMI\*5%;PTMI<sup>b</sup>为暴露量占 PTMI<sup>a</sup>的百分比;TWI<sup>b</sup>为 TWI\*5%;TWI<sup>a</sup>为暴露量占 TWI<sup>a</sup>的百分比,因缺少甘肃、黑龙江、山东 3 省的重金属含量数据,未计算其暴露量,采用邻省安徽的重金属含量数据代替河南进行计算

## 2.5 不同性别-年龄组消费者铁皮石斛(干/鲜)中 4 种重金属元素暴露量

由表 8 可知,在 4 个性别-年龄组中,18~59 岁年龄段女性消费者铁皮石斛(干)中 4 种重金属元素暴露量均最高。不同性别-年龄组消费者砷暴露量的 MOE 值均 >1;铅元素平均暴露量的 MOE 值 >1,

P95 暴露量的 MOE 值均 <1;镉和汞暴露量均低于其健康指导值的 5%;由表 9 可知,在 4 个性别-年龄组中,18~59 岁年龄段消费者铁皮石斛(鲜)中 4 种重金属元素暴露量均最高,砷和铅元素平均暴露量的 MOE 值均 >1,镉和汞暴露量均远低于其健康指导值的 5%。

表8 不同性别-年龄组消费者铁皮石斛(干)中4种重金属暴露量及健康风险

Table 8 Exposure of four heavy metals to dendrobium officinale (dry) in different age groups consumers and their healthy risk

人群	人数占 比/%	砷				镉			
		平均暴露量/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	MOE	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	MOE	平均暴露量/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	PTMI <sup>a</sup> /%	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	PTMI <sup>a</sup> /%
18~59岁男	30.21	0.011 3	13.27	0.054 7	2.74	0.003 9	9.36	0.019 0	45.62
18~59岁女	40.43	0.013 8	10.87	0.065 0	2.31	0.004 8	11.52	0.022 6	54.26
≥60岁男	13.09	0.007 1	21.13	0.033 0	4.55	0.002 5	6.00	0.011 4	27.37
≥60岁女	16.27	0.009 6	15.63	0.037 7	3.98	0.003 3	7.92	0.013 1	31.45

  

人群	人数占 比/%	铅				汞			
		平均暴露量/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	MOE	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	MOE	平均暴露量/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	TWI <sup>a</sup> /%	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	TWI <sup>a</sup> /%
18~59岁男	30.21	0.023 3	2.58	0.112 9	0.53	0.000 9	3.15	0.004 3	15.06
18~59岁女	40.43	0.028 6	2.10	0.134 3	0.45	0.001 1	3.85	0.005 2	18.21
≥60岁男	13.09	0.014 7	4.08	0.068 1	0.88	0.000 6	2.10	0.002 6	9.11
≥60岁女	16.27	0.019 9	3.02	0.077 8	0.77	0.000 8	2.80	0.003 0	10.51

注:PTMI<sup>a</sup>为PTMI\*5%;PTMI<sup>a</sup>%为暴露量占PTMI<sup>a</sup>的百分比;TWI<sup>a</sup>为TWI\*5%;TWI<sup>a</sup>%为暴露量占TWI<sup>a</sup>的百分比

表9 不同性别-年龄组消费者铁皮石斛(鲜)中4种重金属暴露量及健康风险

Table 9 Exposure of four heavy metals to dendrobium officinale (fresh) in different age groups consumers and their healthy risk

人群	人数占 比/%	砷				镉			
		平均暴露量/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	MOE	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	MOE	平均暴露量/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	PTMI <sup>a</sup> /%	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	PTMI <sup>a</sup> /%
18~59岁男	30.70	$0.9\times 10^{-3}$	161.29	$5.2\times 10^{-3}$	28.79	$2.8\times 10^{-3}$	6.70	$15.6\times 10^{-3}$	37.50
18~59岁女	40.93	$0.9\times 10^{-3}$	163.04	$3.6\times 10^{-3}$	41.90	$2.8\times 10^{-3}$	6.67	$10.7\times 10^{-3}$	25.79
≥60岁男	11.16	$0.3\times 10^{-3}$	600.00	$2.6\times 10^{-3}$	57.69	$0.8\times 10^{-3}$	1.80	$7.9\times 10^{-3}$	18.87
≥60岁女	17.21	$0.6\times 10^{-3}$	272.73	$2.7\times 10^{-3}$	55.76	$1.7\times 10^{-3}$	4.01	$8.1\times 10^{-3}$	19.35

  

人群	人数占 比/%	铅				汞			
		平均暴露量/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	MOE	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	MOE	平均暴露量/ ( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	TWI <sup>a</sup> /%	P95/( $\mu\text{g}/\text{kg}\cdot\text{BW}$ )	TWI <sup>a</sup> /%
18~59岁男	30.70	$7.3\times 10^{-3}$	8.22	$40.8\times 10^{-3}$	1.47	$0.7\times 10^{-4}$	0.25	$4.0\times 10^{-4}$	1.40
18~59岁女	40.93	$7.2\times 10^{-3}$	8.33	$28.1\times 10^{-3}$	2.14	$0.7\times 10^{-4}$	0.25	$2.8\times 10^{-4}$	0.96
≥60岁男	11.16	$2.0\times 10^{-3}$	31.58	$20.5\times 10^{-3}$	2.93	$0.2\times 10^{-4}$	0.07	$2.0\times 10^{-4}$	0.71
≥60岁女	17.21	$4.4\times 10^{-3}$	13.79	$21.1\times 10^{-3}$	2.85	$0.4\times 10^{-4}$	0.15	$2.1\times 10^{-4}$	0.72

注:PTMI<sup>a</sup>为PTMI\*5%;PTMI<sup>a</sup>%为暴露量占PTMI<sup>a</sup>的百分比;TWI<sup>a</sup>为TWI\*5%;TWI<sup>a</sup>%为暴露量占TWI<sup>a</sup>的百分比

### 2.6 铁皮石斛消费者4种重金属元素累积暴露风险评估

参考表8和表9的结果,铁皮石斛食用方式以干品为主,且暴露量高于鲜品,因此基于HI法的HI值主要以铁皮石斛干品数据进行计算。针对4种重金属元素的最敏感作用终点,计算获得相应的HQ值,并计算不同年龄段人群的HI值。不同年龄段人群HQ<sub>砷</sub>>HQ<sub>镉</sub>>HQ<sub>铅</sub>>HQ<sub>汞</sub>,说明铅的健康风险高于其他元素,其他元素风险依次类推。所有年龄段消费者的HI值均<1,具体结果见表10。

表10 铁皮石斛消费者四种重金属元素的累积暴露结果 (HI法)

Table 10 Cumulative exposure results of four heavy metals in different dendrobium officinale consumers(HI)

人群	HQ <sub>砷</sub>	HQ <sub>镉</sub>	HQ <sub>铅</sub>	HQ <sub>汞</sub>	HI
18~59岁男	0.08	0.09	0.39	0.03	0.59
18~59岁女	0.09	0.12	0.48	0.04	0.72
≥60岁男	0.05	0.06	0.25	0.02	0.37
≥60岁女	0.06	0.08	0.33	0.03	0.50
合计	0.08	0.10	0.40	0.03	0.60

### 3 讨论

随着现代工农业的快速发展,中药材重金属污染问题也日益严重<sup>[26]</sup>。一方面是由于植物本身的原因,在植物生长过程中,会存在一定的富集效应;另一方面是植物生长的环境,包括土壤、空气、水等带来的重金属污染<sup>[26]</sup>;此外,在加工过程中,农药、化肥、饲料等的使用都会加重重金属的污染。根据近十年文献中报道的铁皮石斛中重金属含量数据,铁皮石斛中铅、砷、镉的含量较高。这可能与种植地区采用的仿野生栽培方式有关,栽培基会引入部分铅和砷元素;且大气中铅和砷的尘埃也可能被铁皮石斛吸附<sup>[21]</sup>。而镉的含量较高可能是由于铁皮石斛对镉的富集能力比较强<sup>[22]</sup>,因此重金属镉有可能成为铁皮石斛种植的主要风险因子之一。综上,市售铁皮石斛由于产地、环境等因素存在一定程度的重金属污染,需要加强铁皮石斛作为食品食用的风险监测工作。

铁皮石斛食用情况调查显示,铁皮石斛消费人群占调查对象的比例为12.4%。受教育程度为小

学及以下、家庭年人均收入在1万元以下、农村地区以及中部和西部地区的人群,铁皮石斛的消费率较低,且差异具有统计学意义。这可能是由于城乡经济水平存在差异;且农村居民对食药物质健康知识存在一定程度的缺乏,因此,可以适当加大食药物质的科普宣传力度。铁皮石斛的食用频次和食用历史调查显示,选择偶尔食用和食用年限为1~2年和2~5年的人数最多,这说明铁皮石斛的食用普遍性与一般食品相比仍有所区别,主要因为铁皮石斛属于传统名贵中药材,市场售卖价格略超出普通人群的消费水平<sup>[27]</sup>。对于食用方式,铁皮石斛可分为干品和鲜品食用,其中消费者以干品为主,主要食用方式为泡饮,这与王家祺等<sup>[28]</sup>的调查结果一致。可能是由于泡饮方式相对简便可行,且具有良好的口感和营养吸收效果。泡饮作为一种普及的食用方式,可以更好地满足人们对铁皮石斛的需求。

膳食是人体摄入重金属的主要来源,但重金属摄入食物来源不只有铁皮石斛,2000年和2007年中国总膳食研究结果表明,我国居民膳食砷、镉、铅、汞摄入主要来源于谷类和水产类;贡献率分别为50%、80%、57%、50%<sup>[29-32]</sup>。而在本文中仅针对铁皮石斛一个来源,因此在假定贡献率为5%的情况下,我国不同性别-年龄组消费者砷、镉、汞暴露风险较低;铅的高端消费人群提示存在一定健康风险,这与以往中药材重金属文献报道结果比较一致<sup>[33]</sup>。目前尚缺乏铁皮石斛重金属暴露评估的相关文献报道。在本文中,18-59岁女性消费者是四种重金属暴露量最高的群体。江西省铁皮石斛消费者4种重金属暴露水平最高,对于铅元素,江西和浙江省居民的P95暴露量的MOE值<1,提示对于江西和浙江两省的铁皮石斛高消费量人群存在一定的健康风险。此外,HI法的初步累积风险评估结果表明,四种重金属累积暴露风险可以接受。

本研究存在的不确定性主要包括:一是本次评估中的消费量调查对象涉及我国9个省份(区/市)18岁以上人群,但未能完全覆盖到全国其他地区人群,因此消费量数据存在一定不确定性;二是重金属数据来自文献,由于不同实验室、检测方法、检出限等存在差异,会导致铁皮石斛中四种元素的含量数据存在不确定性,此外基于文献获得的是铁皮石斛中总砷和总汞的含量,目前尚缺少铁皮石斛中无机砷和无机汞含量数据,本研究采用最坏情况假设总汞和总砷含量即为无机砷和无机汞,存在高估;三是假设来源于铁皮石斛的四种重金属的贡献率占膳食来源的5%,与实际消费者铁皮石斛来源四种重金属的暴露量占膳食来源总暴露量的贡献率

存在差异;四是由于缺少泡水、煮粥等食用方式下铁皮石斛中重金属析出率的相关数据,基于保守的原则,本研究暴露评估中假设消费者全部摄入铁皮石斛中的重金属,对部分消费者可能存在一定的高估;但是实际消费量调查显示,部分食用者也存在铁皮石斛(干)磨粉、煲汤后全部食入的情况,且鲜品以榨汁食用的方式也存在全部食入铁皮石斛;五是食物摄入后,并非全部都能被人体吸收入血,在本研究中并未考虑胃肠道消化吸收效率对重金属暴露量的影响,重金属的暴露量可能存在一定高估;六是对于累积暴露评估HI法,是在“剂量相加”的假设前提下开展,此法相对保守且数据要求简单,但对于具有交互作用的污染物采用HI法进行累积暴露评估,则丢失的关键信息可能较多,会存在低估或高估风险的情况。

综上所述,本研究对中国居民铁皮石斛中砷、镉、铅、汞四种重金属暴露量进行了风险评估。结果表明,铁皮石斛主要以干品泡饮食用为主,砷、镉、汞暴露的健康风险较低,高食物量消费人群应关注铅暴露的健康风险。因此采用HI法进行累积暴露评估研究,不同性别-年龄组的HI值均<1,表明风险可以接受。

## 参考文献

- [1] 杜静,秦民坚,黄林芳,等.石斛中微量元素的含量测定及其安全性评价[J].中国药房,2012,23(47):4477-4479.  
DU J, QIN M J, HUANG L F, et al. Content determination of trace elements in dendrobii caulis and safety evaluation of it[J]. China Pharmacy, 2012, 23(47): 4477-4479.
- [2] 符德欢,王丽,蒲星宇.铁皮石斛非传统药用部位叶中多糖及5种重金属含量的测定[J].中国民族民间医药,2017,26(16):17-20.  
FU D H, WANG L, PU X Y. The determination of polysaccharide and 5 kinds of heavy metals in the non-traditional medicinal parts of the *Dendrobium officinale* leaf[J]. Chinese Journal of Ethnopharmacology and Ethnopharmacy, 2017, 26(16): 17-20.
- [3] HOWD R A, BROWN J P, FAN A M. Risk assessment for chemicals in drinking water: estimation of relative source contribution [J]. The 43<sup>rd</sup> annual meeting of the society of toxicology, Baltimore, Maryland, 2004, 67(1): 21-25.
- [4] 毛伟峰,隋海霞,刘爱东,等.累积风险评估方法在典型人群饮料中铅和镉联合暴露评估中的应用[J].中国食品卫生杂志,2018,30(3):307-311.  
MAO W F, SUI H X, LIU A D, et al. Application research of cumulative risk assessment on combined exposure of lead and cadmium in beverages in typical beverage consumers[J]. Chinese Journal of Food Hygiene, 2018, 30(3): 307-311.
- [5] ALEXANDER J, BENFORD D, BOOBIS A, et al. Scientific opinion on arsenic in food. EFSA panel on contaminants in the food chain (CONTAM)[J]. EFSA Journal, 2009, 7(10): 1-198.



- [ 6 ] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific opinion on lead in food [J]. *EFSA Journal*, 2010, 8(4): 1570.
- [ 7 ] World Health Organization. Evaluation of certain food additives and contaminants [J]. WHO Technical Report Series, 2011, 64: 305-380.
- [ 8 ] EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM). Scientific Opinion on the risk for public health related to the presence of mercury and methylmercury in food [J]. *The EFSA Journal*, 2012, 10(12): 2985.
- [ 9 ] 杜光映, 严福林, 何卫军, 等. 喀斯特地区树栽与棚栽铁皮石斛中多糖重金属含量比较 [J]. *中国现代中药*, 2022, 24(3): 488-492.  
DU G Y, YAN F L, HE W J, et al. Content of polysaccharides and heavy metals in *dendrobii officinalis caulis* under the bionic bark surface and greenhouse cultivation mode from Karst area [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2022, 24(3): 488-492.
- [ 10 ] 谭道鹏, 卢叶, 刘桂岚, 等. 贵州铁皮石斛、金钗石斛中农药残留、重金属及有害元素含量分析 [J]. *遵义医科大学学报*, 2022, 45(1): 111-117.  
TAN D P, LU Y, LIU G L, et al. Analysis of pesticide residues, heavy metals and harmful elements in *Dendrobium officinale* and *D. Nobile* in Guizhou [J]. *Journal of Zunyi Medical University*, 2022, 45(1): 111-117.
- [ 11 ] 严华, 石任兵, 姚辉, 等. 铁皮石斛的 ITS2 条形码分子鉴定及 5 种重金属及有害元素的测定 [J]. *药物分析杂志*, 2015, 35(6): 1044-1053.  
YAN H, SHI R B, YAO H, et al. Identification of *Dendrobium officinale* using ITS2 barcodes and determination of five heavy metals and hazardous elements by ICP-MS [J]. *Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis*, 2015, 35(6): 1044-1053.
- [ 12 ] 赵玉洋, 吕朝耕, 何雅莉, 等. ICP-MS 分析不同产地铁皮石斛中 24 种无机元素 [J]. *中国现代中药*, 2020, 22(12): 2026-2031.  
ZHAO Y Y, LYU C G, HE Y L, et al. Determination of 24 inorganic elements in *dendrobii officinalis caulis* from different origins by ICP-MS [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2020, 22(12): 2026-2031.
- [ 13 ] 彭国颖, 卢山, 黄超, 等. 江西龙虎山 10 种铁皮石斛的品质测定及分析 [J]. *保鲜与加工*, 2021, 21(7): 125-131.  
PENG G Y, LU S, HUANG C, et al. Quality determination and analysis of 10 kinds of *Dendrobium officinale* from Longhushan in Jiangxi Province [J]. *Storage and Process*, 2021, 21(7): 125-131.
- [ 14 ] ZHENG L, YANG C L, SU Z P, et al. Determination of heavy metals in *Dendrobium candidum* Wall. ex Lindl. by ICP-MS [J]. *Agricultural Science Technology*, 2015, 16(12): 2592-2595.
- [ 15 ] 杨岚, 王红娟, 师帅, 等. 12 种不同产地铁皮石斛指纹图谱研究及重金属元素含量测定 [J]. *西北植物学报*, 2014, 34(10): 2078-2084.  
YANG L, WANG H J, SHI S, et al. Fingerprints and heavy metal contents of *Dendrobium officinale* produced from 12 areas [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2014, 34(10): 2078-2084.
- [ 16 ] 杨世波, 张满常, 杨丽英, 等. ICP-MS 法测定石斛中重金属元素的含量 [J]. *保山学院学报*, 2021, 40(5): 16-21.  
YANG S B, ZHANG M C, YANG L Y, et al. Determination of heavy metals in *Dendrobium* by ICP-MS [J]. *Journal of Baoshan University*, 2021, 40(5): 16-21.
- [ 17 ] 陈美春, 贾彦博, 林斌, 等. 不完全消解-电感耦合等离子体质谱法快速测定铁皮石斛中 9 种元素 [J]. *中国卫生检验杂志*, 2018, 28(17): 2068-2070.  
CHEN M C, JIA Y B, LIN B, et al. Determination of nine elements in *Dendrobium officinale* by inductively coupled plasma mass spectrometry after incomplete digestion [J]. *Chinese Journal of Health Laboratory Technology*, 2018, 28(17): 2068-2070.
- [ 18 ] 倪张林, 汤富彬, 喻晴, 等. 优化 Rpa 电压-电感耦合等离子体质谱法测定铁皮石斛中不同部位的 14 种金属元素 [J]. *分析科学学报*, 2016, 32(5): 664-668.  
NI Z L, TANG F B, YU Q, et al. Determination of 14 elements in different parts of *Dendrobium officinale* by inductively coupled plasma mass spectrometry with optimization of rpa voltage [J]. *Journal of Analytical Science*, 2016, 32(5): 664-668.
- [ 19 ] 倪张林, 喻晴, 何玲吉, 等. 大棚种植铁皮石斛的重金属含量与健康风险评估 [J]. *浙江农业科学*, 2016, 57(6): 844-846.  
NI Z L, YU Q, HE L J, et al. Heavy metal content and health risk assessment of *Dendrobium candidum* planted in greenhouse [J]. *Journal of Zhejiang Agricultural Sciences*, 2016, 57(6): 844-846.
- [ 20 ] 倪张林, 袁新跃, 叶彩芬, 等. 不同栽培模式下铁皮石斛中重金属含量及健康风险评估 [J]. *江西农业大学学报*, 2017, 39(4): 686-690.  
NI Z L, YUAN X Y, YE C F, et al. Concentrations of heavy metals in *Dendrobium officinal* in different cultivation modes and health risk assessment [J]. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis*, 2017, 39(4): 686-690.
- [ 21 ] 徐丽红, 郑蔚然, 王小骊, 等. 铁皮石斛产地环境及产品重金属的监测与污染评价 [J]. *浙江农业学报*, 2015, 27(3): 429-433.  
XU L H, ZHENG W R, WANG X L, et al. Monitoring and evaluation for heavy metals of *Dendrobium officinale* Kimura et Migo and its origin environment [J]. *Acta Agriculturae Zhejiangensis*, 2015, 27(3): 429-433.
- [ 22 ] 杨德毅, 吴梅, 吾建祥. 铁皮石斛对重金属的富集能力 [J]. *农技服务*, 2019, 36(7): 43-44.  
YANG D Y, WU M, WU J X. Enrichment ability of *Dendrobium candidum* for heavy metals [J]. *Agricultural Technical Services*, 2019, 36(7): 43-44.
- [ 23 ] 诸燕, 苑鹤, 李国栋, 等. 铁皮石斛中 11 种金属元素含量的研究 [J]. *中国中药杂志*, 2011, 36(3): 356-360.  
ZHU Y, YUAN H, LI G D, et al. Study on 11 metal element contents in *Dendrobium officinale* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2011, 36(3): 356-360.
- [ 24 ] 王家祺, 田丽霞, 陈晓梅, 等. 常规与菌根栽培的铁皮石斛茎及叶中矿物元素含量比较及健康风险评估 [J]. *中国中药杂志*, 2022, 47(21): 5824-5831.  
WANG J Q, TIAN L X, CHEN X M, et al. Comparison and health risk assessment of mineral elements in stems and leaves of *Dendrobium officinale* cultivated with conventional method and mycorrhizal fungi [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*,

- 2022, 47(21): 5824-5831.
- [25] 王佳芷, 戈振凯, 王正, 等. 原子吸收光谱法测定铁皮石斛中铅、镉、铬、铜[J]. 中兽医医药杂志, 2018, 37(2): 69-71.  
WANG J Z, GE Z K, WANG Z, et al. Determination of Pb, Cd, Cr and Cu in *Dendrobium officinale* by atomic absorption spectrum [J]. Journal of Traditional Chinese Veterinary Medicine, 2018, 37(2): 69-71.
- [26] 张蓝月. 中药重金属污染的现状与治理对策概况[J]. 福建质量管理, 2015(10): 67.  
ZHANG L Y. Present situation of heavy metal pollution in traditional Chinese medicine and its control countermeasures [J]. Fujian Qual Manag, 2015(10): 67.
- [27] 陈子恩, 吴锴, 潘利明. 广州清平中药材市场市售石斛资源调查[J]. 广东药科大学学报, 2020, 36(5): 633-638.  
CHEN Z E, WU K, PAN L M. Investigation on *Dendrobium* in Qingping market of traditional Chinese medicine in Guangzhou [J]. Journal of Guangdong Pharmaceutical University, 2020, 36(5): 633-638.
- [28] 王家祺, 柴剑波, 刘利亚, 等. 试点食药物物质铁皮石斛在我国3个省份食用习惯调查分析[J/OL]. 中国食物与营养, 1-6 [2024-01-13] <https://doi.org/10.19870/j.cnki.11-3716/ts.20230224.001>.  
WANG J Q, CHAI J B, LIU L Y, et al. Eating Habits Analysis on Experimental Medicinal Substance *Dendrobium officinale* in Three Provinces of China [J/OL]. Food and Nutrition in China, 1-6 [2024-01-13] <https://doi.org/10.19870/j.cnki.11-3716/ts.20230224.001>.
- [29] 李筱薇, 高俊全, 王永芳, 等. 2000年中国总膳食研究—膳食摄入量[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.
- [30] 李筱薇, 高俊全, 陈君石. 2000年中国总膳食研究——膳食汞摄入量[J]. 卫生研究, 2006, 35(3): 323-325.  
LI X W, GAO J Q, CHEN J S. Chinese total diet study in 2000—the dietary mercuric intakes [J]. J Journal of Hygiene Research, 2006, 35(3): 323-325.
- [31] 李筱薇, 刘卿, 刘丽萍, 等. 应用中国总膳食研究评估中国人膳食铅暴露分布状况[J]. 卫生研究, 2012, 41(3): 379-384.  
LI X W, LIU Q, LIU L P, et al. Application of the data from China Total Diet Study to assess the distribution of lead exposure in different age-gender population groups [J]. Journal of Hygiene Research, 2012, 41(3): 379-384.
- [32] 张磊, 高俊全, 李筱薇. 2000年中国总膳食研究——不同性别年龄组人群膳食镉摄入量[J]. 卫生研究, 2008, 37(3): 338-342.  
ZHANG L, GAO J Q, LI X W. Chinese total diet study in 2000 Cadmium intakes by different age-sex population groups [J]. Journal of Hygiene Research, 2008, 37(3): 338-342.
- [33] 李筱薇, 高俊全, 赵京玲, 等. 华北地区二十三种中药材中重金属及有害元素基线调查及参考限量标准建立[J]. 卫生研究, 2006, 35(4): 459-463, 467.  
LI X W, GAO J Q, ZHAO J L, et al. Study on the baseline contents and reference maximum limit standard of heavy metals and harmful element of 23 Chinese herbs in Northern China [J]. Journal of Hygiene Research, 2006, 35(4): 459-463, 467.

(上接第38页)

- 刘成伟(江西省疾病预防控制中心)  
刘兆平(国家食品安全风险评估中心)  
刘守钦(济南市疾病预防控制中心)  
刘烈刚(华中科技大学公共卫生学院)  
刘爱东(国家食品安全风险评估中心)  
孙长颢(哈尔滨医科大学)  
李 宁(国家食品安全风险评估中心)  
李 黎(中华预防医学会)  
李凤琴(国家食品安全风险评估中心)  
李业鹏(国家食品安全风险评估中心)  
李国梁(陕西科技大学食品与生物工程学院)  
李静娜(武汉市疾病预防控制中心)  
杨 方(福州海关技术中心)  
杨 钧(青海省卫生健康委员会卫生监督所)  
杨大进(国家食品安全风险评估中心)  
杨小蓉(四川省疾病预防控制中心)  
杨杏芬(南方医科大学公共卫生学院)  
肖 荣(首都医科大学公共卫生学院)  
吴永宁(国家食品安全风险评估中心)  
何更生(复旦大学公共卫生学院)  
何来英(国家食品安全风险评估中心)  
何洁仪(广州市疾病预防控制中心)  
贾旭东(国家食品安全风险评估中心)  
徐 娇(国家卫生健康委员会食品标准与监测评估司)  
徐海滨(国家食品安全风险评估中心)  
高志贤(军事科学院军事医学研究院)  
郭云昌(国家食品安全风险评估中心)  
郭丽霞(国家食品安全风险评估中心)  
唐振柱(广西壮族自治区疾病预防控制中心)  
黄 薇(深圳市疾病预防控制中心)  
黄锁义(右江民族医学院药学院)  
常凤启(河北省疾病预防控制中心)  
崔生辉(中国食品药品检定研究院)  
章 宇(浙江大学生物工程与食品学院)  
章荣华(浙江省疾病预防控制中心)  
梁进军(湖南省疾病预防控制中心)  
程树军(广州海关技术中心)  
傅武胜(福建省疾病预防控制中心)  
谢剑炜(军事科学院军事医学研究院)  
赖卫华(南昌大学食品学院)  
裴晓方(四川大学华西公共卫生学院)  
廖兴广(河南省疾病预防控制中心)  
熊丽蓓(上海市疾病预防控制中心)  
樊永祥(国家食品安全风险评估中心)