

研究报告

9种药食同源物质重金属及农药污染状况 Meta 分析

包汇慧^{1,2}, 纪晓宁^{1,2}, 吴难¹, 唐语¹, 李明璐¹, 李琦¹, 曹佩¹, 张磊¹, 李建文¹(1. 国家食品安全风险评估中心, 国家卫生健康委员会食品安全风险评估重点实验室, 中国医学科学院
食品安全创新单元, 北京 100022; 2. 中国中医科学院, 北京 100700)

摘要:目的 对杜仲叶、党参、肉苁蓉、铁皮石斛、黄芪、西洋参、天麻、灵芝及山茱萸9种试点药食同源物质重金属及农药污染水平和现状进行 Meta 分析。方法 检索 PubMed、中国知网、维普及万方数据库, 获取 2000—2022 年发表的 9 种药食同源物质中重金属、农药、环境污染物研究文献, 根据文献纳入排除标准进行筛选, 对纳入的文献采用 Meta 法进行分析。结果 本研究共纳入 106 篇文献, 涉及来自 23 个省(市)9 种药食同源物质中铅(Pb)、镉(Cd)、汞(Hg)、砷(As)、铬(Cr)、铜(Cu)及镍(Ni)7 类重金属, 有机氯类、拟除虫菊酯类和有机磷类等 42 种农药。9 种药食同源物质重金属污染合计均值为 0.22 mg/kg(95%CI:0.13~0.39), 其中杜仲叶重金属污染合计均值最高, 为 2.80 mg/kg(95%CI:0.75~10.37), 其次为铁皮石斛, 合计均值为 0.30 mg/kg(95%CI:0.18~0.49), 其余 7 种药食同源物质中重金属合计均值均低于 0.30 mg/kg; 7 类重金属中铜污染水平最高, 其次为镉和铅, 亚组分析表明不同产地的药食同源物质中 7 类重金属污染水平具有较高的异质性($P < 0.05$)。42 种农药污染水平平均值存在异质性($P < 0.05$), 铁皮石斛、西洋参、肉苁蓉、黄芪及天麻 5 种药食同源物质中五氯硝基苯、六六六、滴滴涕残留量合计均值位列前 3。结论 不同药食同源物质重金属及农药污染类别及污染水平存在差异, 重金属污染与产地和药食同源物质种类有关, 部分药食同源物质中可检出禁用农药, 应进一步加强药食同源物质污染物溯源分析, 同时加大对药食同源物质生产加工监管和监测力度。

关键词:药食同源物质; 重金属; 农药; Meta 分析

中图分类号: R155 文献标识码: A 文章编号: 1004-8456(2023)12-1695-09

DOI: 10.13590/j.cjfh.2023.12.001

Meta analysis of heavy metal and pesticide pollution status of nine medicinal and edible substancesBAO Huihui^{1,2}, JI Xiaoning^{1,2}, WU Nan¹, TANG Yu¹, LI Minglu¹, LI Qi¹, CAO Pei¹,
ZHANG Lei¹, LI Jianwen¹

(1. China National Center for Food Safety Risk Assessment, Research Unit of Food Safety, Chinese Academy of Medical Sciences, NHC Key Laboratory of Food Safety Risk Assessment, Beijing 100022, China; 2. China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China)

Abstract: Objective To evaluate the heavy metal and pesticide pollution status of nine medicinal and edible substances, including *Eucommia ulmoides* leaves, *Codonopsis pilosula*, *Cistanche deserticola*, *Dendrobium candidum*, *Astragalus membranaceus*, *Panax quinquefolium*, *Gastrodia elata*, *Ganoderma lucidum*, and Corni Fructus. **Methods** PubMed, China National Knowledge Network (CNKI), VIP, and Wanfang databases were searched to obtain research literature published from 2000 to 2022 on heavy metals, pesticides, and environmental pollutants in nine medicinal and edible substances. The literature was screened according to the inclusion and exclusion criteria, and the included studies were analyzed and pooled into estimates using meta-analysis. **Results** A total of 106 studies encompassing seven heavy metals, including lead (Pb), cadmium (Cd), mercury (Hg), arsenic (As), chromium (Cr), copper (Cu), and nickel

收稿日期: 2023-03-16

基金项目: 国家重点研发计划(2020YFF0305000); 国家食品安全风险评估中心高层次人才队伍建设项目

作者简介: 包汇慧 女 研究员 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: baohuihui@cfsa.net.cn

纪晓宁 女 在读研究生 研究方向为药食同源物质营养及安全性评价 E-mail: jixiaoningyx@163.com

包汇慧和纪晓宁为并列第一作者

通信作者: 张磊 男 研究员 研究方向为食品安全风险评估 E-mail: zhanglei@cfsa.net.cn

李建文 男 研究员 研究方向为食品营养及调查 E-mail: lijianwen@cfsa.net.cn

张磊和李建文为共同通信作者

(Ni), and 42 pesticides, including organochlorine, pyrethroid, and organophosphorus, of nine types of medicinal and edible substances used as food collected from 23 provinces (municipalities) were comprehensively analyzed. The average heavy metal content in the medicinal and edible substances used as food was 0.22 mg/kg (95%CI: 0.13~0.39), and the average heavy metal content of *Eucommia ulmoides* leaves was the highest (2.80 mg/kg, 95%CI: 0.75~10.37), followed by *Dendrobium candidum* with an average value of 0.30 mg/kg (95%CI: 0.18~0.49). The average value of heavy metals in the other medicinal and edible substances was lower than 0.30 mg/kg. Among the seven heavy metals analyzed, the Cu exhibited the highest content, followed by Cd and Pb. Subgroup analysis showed that the contents of the seven heavy metals in medicinal and edible substances collected from different locations had high heterogeneity ($P<0.05$). The meta-analysis showed that heterogeneity existed in the mean values of 42 pesticides ($P<0.05$), and the total mean values of pentachloronitrobenzene, BHC and DDT in *Dendrobium candidum*, *Panax quinquefolium*, *Cistanche deserticola*, *Astragalus membranaceus*, and *Gastrodia elata* were the highest. **Conclusion** There are differences in the categories and contamination levels of heavy metals and pesticides in medicinal and edible substances. Heavy metal pollution is related to the origin and type of medicinal and edible substances. Prohibited pesticides can be detected in certain medicinal and edible substances, and further traceability analyses of pollutants in medicinal and edible substances should be conducted. The supervision and monitoring of the production and processing of medicinal and edible substances should be strengthened.

Key words: Medicinal and edible substances; heavy metals; pesticides; meta-analysis

我国药食同源的历史源远流长,古代本草著作中记载了大量药食两用物质,将食物的保健及治疗作用以中药形式表现出来。新中国成立后,我国政府对药食同源物质的应用十分重视,在历次立法中都明确了按照传统既是食品又是中药材的物质(以下简称药食同源物质)的法定地位。早在1987年,我国公布了30种药食同源物质清单,2002年在卫生部发布的51号文件《卫生部关于进一步规范保健食品原料管理的通知》中列出了87种按照传统既是食品又是中药材的物质名单,此名单一直沿用至今。随着社会的发展和人民群众对健康需求的增长,对扩增名单的呼声也越来越高。2019年国家卫生健康委员会根据评估结果发布了将党参等9种物质作为药食同源物质试生产的公告,并于2021年正式启动。同年国家卫生健康委员会发布了《按照传统既是食品又是中药材的物质目录管理规定》,标志着药食同源物质发展和管理迈入新时代。药食同源物质兼具食品“营养”与中药“扶正”作用,作为食品长期食用充分体现了中医“治未病”的思想^[1]。近年来我国慢性病如肥胖、高血压、糖尿病发病率呈上升和年轻化发展趋势^[2]。为提高健康水平、预防慢性疾病,人们对药食同源物质的关注不断提高^[3]。随着人们健康意识的增强,药食同源物质生产和消费连年增长,食用人群逐渐扩大,食用形式更加多样化,从而使药食同源物质的食品安全问题受到特别关注^[4-5]。药食同源物质在种植、加工和贮存过程中可能会受到重金属、农药及其他环境污染物的污染。为避免因食用药食同源物质引起食品安全问题,降低由药食同源物质中外源污染物暴露引起的健康损害,有必要了解我国药食同源

物质外源污染物污染水平和现状。本研究利用Meta分析法对党参、肉苁蓉、铁皮石斛、黄芪、西洋参、天麻、杜仲叶、灵芝及山茱萸9种物质中重金属、农药等外源污染物的污染水平和现状进行分析,以期药食同源物质食用安全性评价及风险管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 检索策略

以“党参”“肉苁蓉”“铁皮石斛”“黄芪”“西洋参”“天麻”“灵芝”“山茱萸”“药食同源”“药食同源物质”“药食两用”“重金属”“农药”“外源污染物”及英文“Chinese medicine”“heavy metals”“pesticides”“contaminations”等为主题词,在中国知网、维普数据库、万方数据库及PubMed进行全文检索,检索时间为2000年1月至2022年6月,根据文献节点再对重点相关参考文献进行检索,参照Cochrane协作手册开展文献质量评价^[6]。

1.2 文献纳入排除标准

1.2.1 纳入标准

文献内容为9种药食同源物质的重金属、农药等外源污染物污染情况;纳入文献内容可以提取药食同源物质样本量、产地信息、外源污染物(重金属、农药、环境污染物)检测方法、含量均值、标准差等数据信息。

1.2.2 剔除标准

排除9种药食同源物质非原形状态的检测数据;排除2000年以前的检测数据;排除重复、与本研究不相关、无法检索全文、无可用数据及不能提取均值、标准差、样本量数据信息的文献。

1.3 文献中数据的提取

对符合纳入标准的文献,采用 Excel 对文献的基本特征进行提取,基本字段包括标题、杂志名称、第一作者、发表年份、药食同源物质名称、产地、样本量、重金属、农药、环境污染物种类、污染水平均值或中位数、标准差、检测方法、国家/地区等信息。

1.4 统计学分析

采用 R 软件 4.1.1 版本进行 Meta 分析。首先对数据进行正态性检验,选择接近正态分布的 Freeman-Tukey 双重反正弦转换方法对数据进行转换。为使不同研究的重金属、农药等外源污染物含量检测结果可比,使用 Cohen's d 法计算单个研究效应指标分数的标准化均数差(Standardized mean difference, SMD)。污染物含量以 SMD、95% 可信区间(Confidence interval, CI)表示。使用 Meta 分析中的 metamean 程序函数计算污染物含量,forestplot 绘制森林图,通过 Homogeneity test 进行异质性检验,异质性指数(I^2)和 P 用于异质性检验。 I^2 值为 25%、50% 和 75% 分别表示异质性的低、中、高^[7],显著性水平设为 0.05。 $I^2 \geq 50\%$ 或 $P < 0.05$ 表示有显著异质性,数据用随机效应模型进行分析; $I^2 <$

50% 并且 $P \geq 0.05$,则用固定效应模型进行数据分析^[8-11]。对纳入的文献数据进行分析并得到合计均值及其 95% CI,同时使用 Egger's 检验分析发表偏倚,以 $\alpha = 0.05$ 为检验标准,若 $P < 0.05$ 提示存在发表偏倚,使用文献逐一剔除法对纳入的文献进行敏感性分析,以确保纳入文献数据的稳定性。依上述方法对不同种类、不同产地的药食同源物质及外源污染物类别进行分层分析。

2 结果

2.1 文献检索流程及纳入文献情况

根据检索策略,本研究在中国知网、维普数据库、万方数据库及 PubMed 共检索到 6 055 篇文献,去除重复后剩余 4 111 篇文献。根据排除标准剔除 3 799 篇文献,对剩余的 312 篇文献阅读全文。根据纳入标准,最终将 106 篇文献数据纳入 Meta 分析(图 1)。纳入的文献报道了自 2000 年至 2022 年 23 个省、自治区、直辖市 9 种药食同源物质铅(Pb)、镉(Cr)、汞(Hg)、砷(As)、铬(Cd)、铜(Cu)及镍(Ni)7 类重金属,有机氯类、拟除虫菊酯类和有机磷类等 42 种农药、二氧化硫(SO₂)污染水平情况。

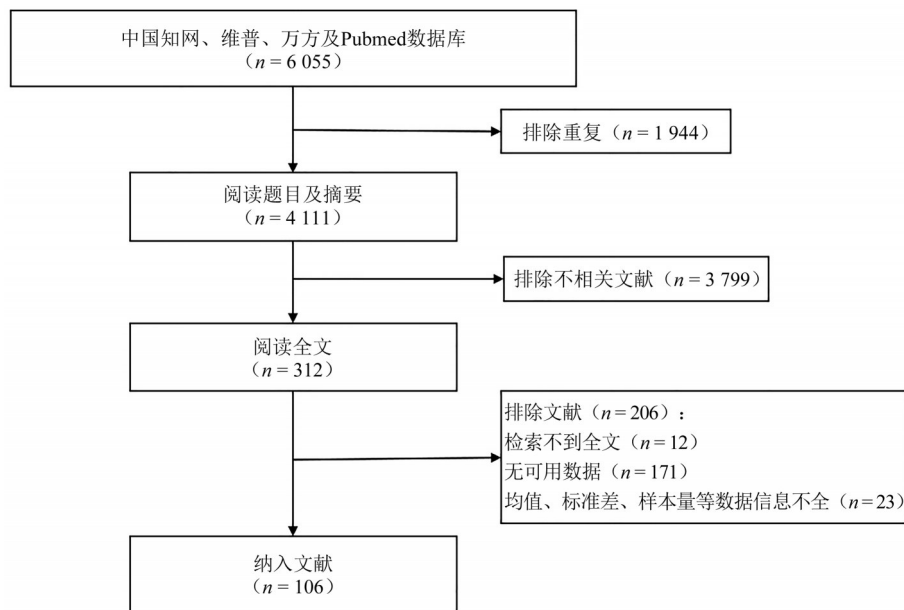


图1 文献筛选流程图

Figure 1 Flow diagram of article selection process

2.2 9种药食同源物质污染物检出情况分析

对最终纳入的 106 篇文献进行数据提取(表 1)。按污染物类型可分为 9 种药食同源物质的重金属、农药及二氧化硫污染文献报道。有 83 篇文献报道了铅、镉、汞、砷、铜、铬及镍在 9 种药食同源物质中的污染水平。铅、镉、汞、砷、铜 5 类重金属在 9 种药食同源物质中均可检出,平均污染水平在 0.007~101.22 mg/kg;铬在山茱萸、党参、铁皮石斛、黄芪、

天麻、灵芝 6 种药食同源物质中可检出,平均污染水平在 0.44~1.76 mg/kg;镍仅在铁皮石斛中检出,平均污染水平为 0.65 mg/kg。有 18 篇文献报道了铁皮石斛、西洋参、黄芪、肉苁蓉、天麻 5 种药食同源物质中 42 种农药污染水平,其中包括六六六、滴滴涕、艾氏剂、狄氏剂、甲胺磷、硫线磷等 13 种禁用农药。有 6 篇文献报道了二氧化硫(SO₂)在党参和天麻中的污染水平。

表1 2000—2022年9种药食同源物质污染物检出情况
Table 1 Exogenous pollution of 9 medicinal and edible substances from 2000 to 2022

名称 (食用部位)	产地	污染物类别					
		重金属		农药	其他		
		文献数目 (样本量)	含量范围/ (mg/kg)	文献数目 (样本量)	文献数目 (样本量)	其他	
杜仲叶 (叶)	贵州、四川、重庆、新疆、陕西、湖北、湖南、云南、甘肃、内蒙古	5(63)	Pb	0.13~5.00	0	—	
			Cd	0.04~1.96			
			Hg	0.00~0.04			
			As	0.13~5.00			
			Cu	5.14~406.58			
山茱萸 (果实)	河南、陕西、湖南、湖北、四川、山东、甘肃、安徽、浙江、陕西	6(101)	Pb	0.40~5.21	0	—	
			Cd	0.01~0.45			
			Hg	—~0.04			
			As	0.04~6.66			
			Cu	1.75~22.80			
党参 (根)	湖北、甘肃、山西、四川、辽宁、陕西、湖南、吉林、河南、重庆、江西、宁夏、贵州、安徽、云南	17(154)	Pb	0.04~1.69	0	—	3(63) SO ₂
			Cd	0.02~0.57			
			Hg	—~0.15			
			As	0.00~0.16			
			Cu	4.32~20.00			
铁皮石斛 (茎)	浙江、安徽、云南、贵州、广东、广西、四川、重庆、江苏、江西、福建、湖南、海南	8(97)	Pb	0.03~1.13	3(95)	甲胺磷、杀虫脒、涕灭威、克百威、灭线磷、硫环磷、内吸磷、硫线磷、磷胺、苯线磷、水胺硫磷、甲拌磷、苯线磷亚砷、苯线磷砷、氯磺隆、甲磺隆、胺苯磺隆、五氯硝基苯、百菌灵、七氯、o,p'-DDT、三氯杀螨醇、多菌灵	
			Cd	0.03~0.27			
			Hg	—~0.06			
			As	0.10~0.23			
			Cu	0.69~5.31			
肉苁蓉 (肉质茎)	新疆、甘肃、内蒙古、江西、安徽	3(99)	Pb	0.15~1.20	2(18)	α-BHC、β-BHC、γ-BHC、δ-BHC、p,p'-DDE、p,p'-DDD、o,p'-DDT、p,p'-DDT、五氯硝基苯、艾氏剂	
			Cd	0.06~0.28			
			Hg	—~0.07			
			As	0.03~0.16			
			Cu	0.63~2.38			
西洋参 (根)	辽宁、山西、加拿大、美国、陕西、吉林、山东、北京、河北、黑龙江、广东	10(139)	Pb	0.04~0.22	7(76)	PCL、七氯、MPCPS、环氧七氯、狄氏剂、杀线威、杀线威、敌百虫、多菌灵、六氯苯、α-BHC、β-BHC、γ-BHC、δ-BHC、p,p'-DDE、p,p'-DDD、o,p'-DDT、p,p'-DDT、五氯硝基苯、艾氏剂	
			Cd	0.06~0.28			
			Hg	0.00~0.06			
			As	0.04~0.22			
			Cu	5.23~10.24			
黄芪 (根)	甘肃、云南、山西、内蒙古、陕西、宁夏、安徽、河南、辽宁、四川、黑龙江	20(317)	Pb	—~17.52	8(58)	α-BHC、β-BHC、γ-BHC、δ-BHC、p,p'-DDE、p,p'-DDD、o,p'-DDT、p,p'-DDT、五氯硝基苯、艾氏剂、环氧七氯异构体-B、狄氏剂、p,p'-DDT、甲氧菊酯、氯菊酯、氰戊菊酯、PCL、环氧七氯、MPCPS、杀虫脒	
			Cd	—~0.34			
			Hg	—~0.11			
			As	—~11.12			
			Cu	3.14~20.10			
天麻 (块茎)	河北、湖南、云南、湖北、浙江、贵州、福建、安徽、广西、重庆、河南、甘肃、陕西、海南、四川、山西、西藏	12(155)	Pb	0.01~0.47	1(4)	α-BHC、β-BHC、γ-BHC、δ-BHC、p,p'-DDE、p,p'-DDD、o,p'-DDE、p,p'-DDT	3(44) SO ₂
			Cd	0.02~2.90			
			Hg	—~0.062			
			As	0.01~0.47			
			Cu	0.92~13.76			
灵芝 (子实体)	贵州、四川、湖北、山东、浙江、云南、安徽、吉林、海南、西藏、广西、河南、杭州、福建、广东	22(456)	Pb	—~3.45	—		
			Cd	0.01~0.57			
			Hg	—~19.99			
			As	0.01~3.46			
			Cu	0.01~37.27			
			Cr	0.20~36.82			

注：—表示低于检出限；BHC：六六六，包括α-BHC、β-BHC、γ-BHC、δ-BHC；DDT：滴滴涕，包括p,p'-DDD、o,p'-DDT、p,p'-DDT；p,p'-DDE：滴滴伊；MPCPS：甲基五氯苯基硫醚；PCL：三氯化磷

2.3 9种药食同源物质重金属污染情况分析

纳入文献的9种药食同源物质中重金属污染水平经检验存在异质性。采用随机模型对数据进行合并分析。合并后的各类重金属在9种药食同源物质中的污染水平均值 Meta 分析,结果如图2所示。结果显示,9种药食同源物质重金属污染合计均值为0.22 mg/kg(95%CI:0.13~0.39),杜仲叶、铁皮石斛、山茱萸7类重金属污染水平相对较高,合计均值分别为2.80、0.30、0.29 mg/kg。9种

药食同源物质中铜的污染水平相对最高,杜仲叶中铜污染水平最高,合计均值为101.22 mg/kg(95%CI:30.11~340.19),其次为灵芝和肉苁蓉,合计均值分别为9.96、9.71 mg/kg。物质种类及重金属类别匹配分析结果显示,天麻、灵芝及山茱萸中铬污染水平相对较高,合计均值分别为2.93、1.76、1.16 mg/kg,杜仲叶及山茱萸中铅污染水平与其他7种物质相比较,合计均值分别为2.31、1.39 mg/kg。

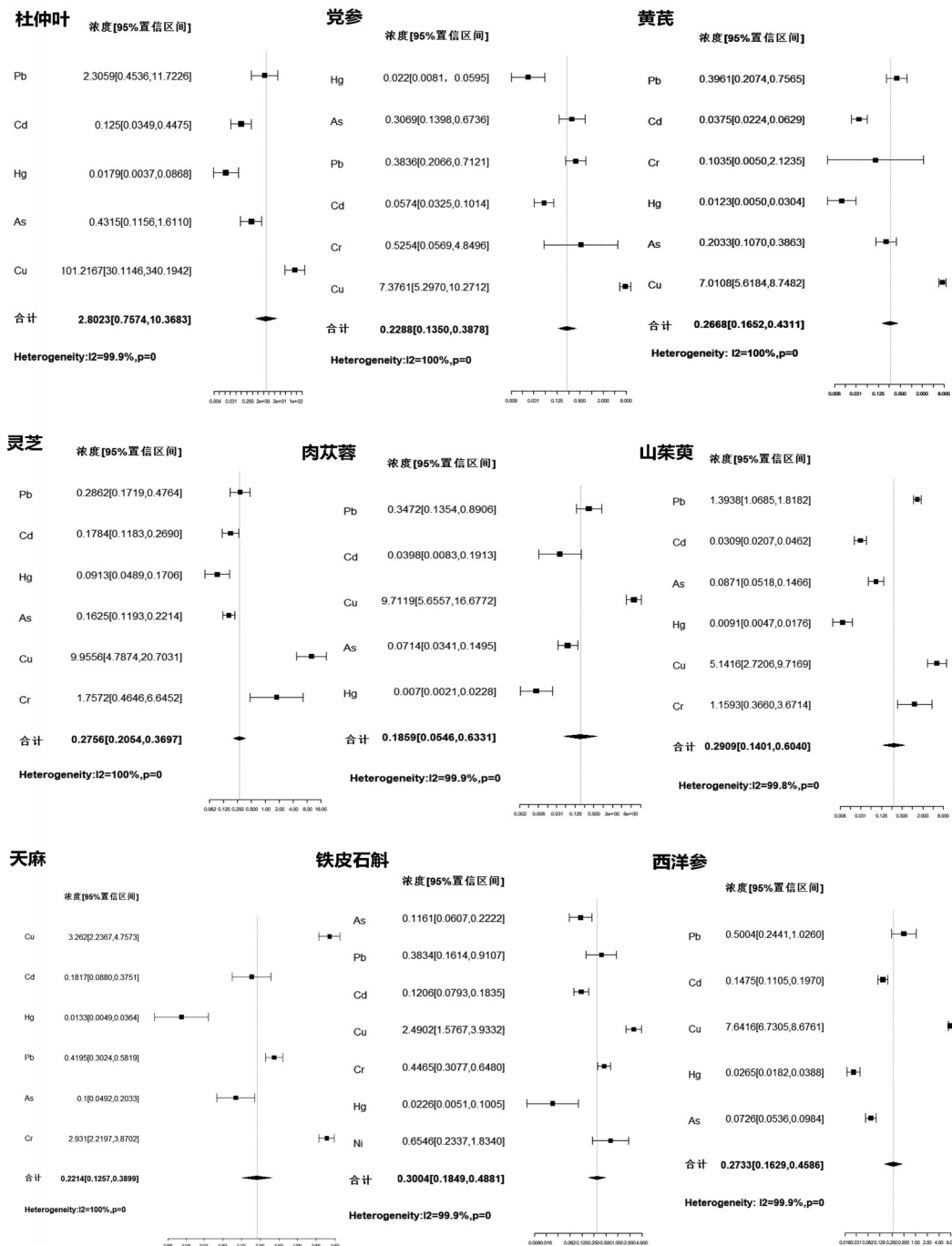


图2 9种药食同源物质重金属污染 Meta 分析森林图

Figure 2 Forest plot for meta analysis of heavy metal pollution in 9 kinds of medicinal and edible substances

2.4 9种药食同源物质重金属污染亚组分析

按照药食同源物质样品产地对9种药食同源物质中重金属进行亚组分析,如图3所示。结果表明产地为9种药食同源物质7类重金属污染水平的敏感因素。浙江产铁皮石斛与云南产铁皮石斛相比较存在铬和镍的污染,合计均值分别为0.41、0.39 mg/kg,但云南产铁皮石斛中铅、镉、砷及铜的污染水平均高于浙江样品。陕西和吉林产西洋参重金属污染特征及污染水平相似,陕西样品中铅及铜污染水平略高于吉林样品。湖北产山茱萸中铅及砷(合计均值分别为5.21、6.66 mg/kg)污染水平高于其他产地,浙江产山茱萸中铬(合计均值为2.95 mg/kg)明显高于河南、陕西产山茱萸中铬污染水平(合计均值分别为0.96、0.97 mg/kg)。四川产天麻中铅、镉合计均值分别为0.58、2.90 mg/kg,远高于贵州及安徽样品。文献仅报道了安徽及四川产天麻中铬污染水平,合计均值分别为3.96、2.54 mg/kg。

新疆产肉苁蓉中铅(合计均值1.20 mg/kg)和铜(合计均值12.81 mg/kg)的污染水平远高于内蒙古、甘肃产肉苁蓉。宁夏产黄芪铅、砷及铬合计均值分别为3.42、1.79、2.28 mg/kg,污染水平远高于其他5省。甘肃产党参中铜污染水平远高于山西、湖北样品,四川产党参中铅、镉、汞、砷污染水平均高于其他产地党参,而湖北产党参铬污染水平(合计均值为3.27 mg/kg)远高于其他产地。陕西、云南、新疆、湖北及重庆产杜仲叶中铜污染水平远高于四川产杜仲叶,贵州、四川、重庆3省产杜仲叶中贵州样品铅的污染水平最高(合计均值为20.20 mg/kg)。11个产地的灵芝样品中,贵州样品中铅和砷、云南样品中镉、浙江样品中汞、湖北和四川样品中铜的污染水平最高,已有文献仅报道了浙江和福建灵芝中铬污染水平,合计均值分别为1.54、0.19 mg/kg,西藏产灵芝中汞污染水平较为突出(合计均值为0.32 mg/kg)。

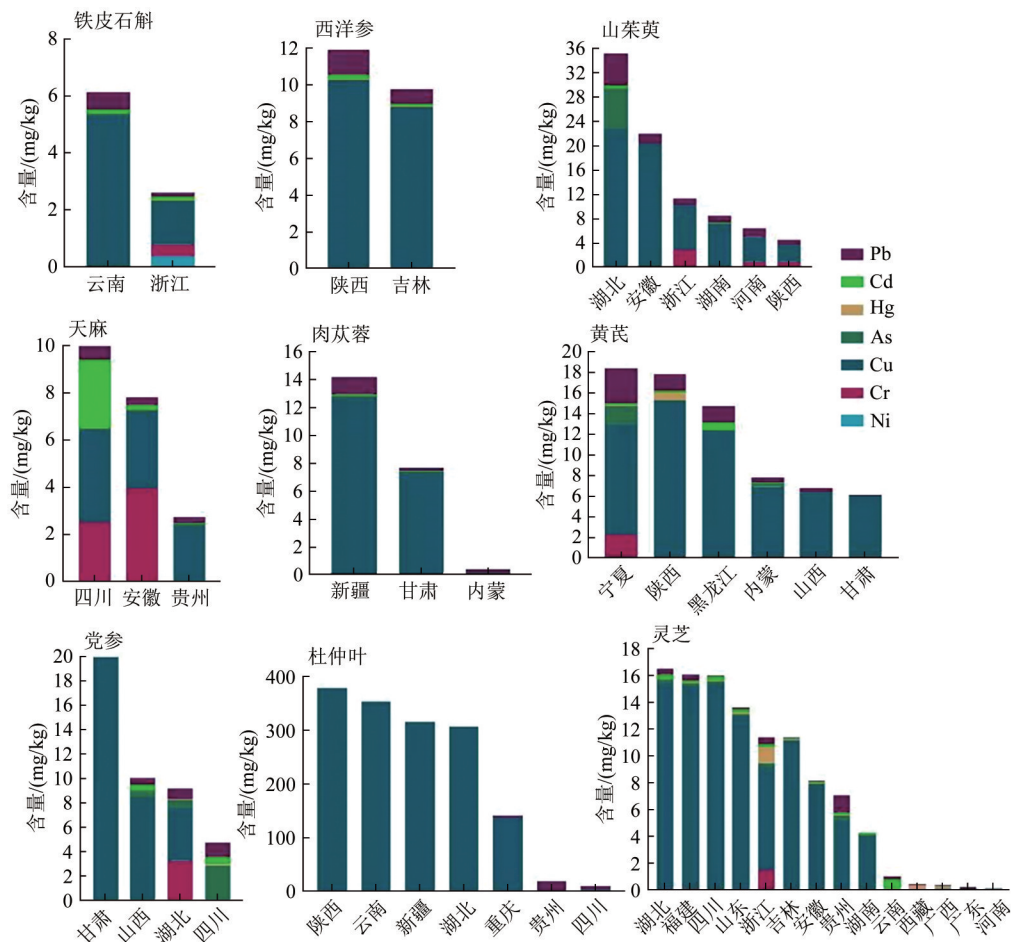


图3 不同产地药食同源物质重金属含量

Figure 3 Concentration of heavy metals in 9 kinds of medicinal and edible substances from different origin

2.5 9种药食同源物质农药污染情况分析

共有18篇文献报道了黄芪、肉苁蓉、天麻、西洋参及铁皮石斛5种药食同源物质中农药污染水平,样品数量分别为8、30、4、71、95份。共检出农

药42种,黄芪、肉苁蓉、天麻、西洋参及铁皮石斛中检出农药种类分别为20、10、8、19、23种,主要包括有机氯类、拟除虫菊酯类和有机磷类等,还包括六六六、滴滴涕、杀虫脒、艾氏剂、狄氏剂、硫线磷

等 13 种禁用农药。42 种农药污染水平均值存在异质性 ($P < 0.05$), 采用随机模型对数据进行合并分析, 结果见图 4。黄芪中 β -BHC、甲氰菊酯、PCL 为污染水平最高的 3 种农药, 合计均值分别为 58.51、27.32、8.61 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 五氯硝基苯合计均值为 3.59 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 肉苁蓉中主要的农药污染为六六六、滴滴涕、滴滴伊、艾氏剂, 另外五氯硝基苯污染水平合计均值为 0.77 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 天麻中仅报道了禁用农药

滴滴涕及六六六污染水平, 其中 p, p'-DDT 污染水平最高, 合计均值为 25.51 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 西洋参中农药污染种类较多, PCL、七氯、MPCPS 污染水平位列前 3, 合计均值分别为 161.84、70.97、64.20 $\mu\text{g}/\text{kg}$, 五氯硝基苯合计均值为 3.50 $\mu\text{g}/\text{kg}$; 铁皮石斛中检出农药种类最多, 前 3 位均为有机磷农药, 甲胺磷、水胺硫磷、苯线磷合计均值分别为 2.55、0.73、0.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。

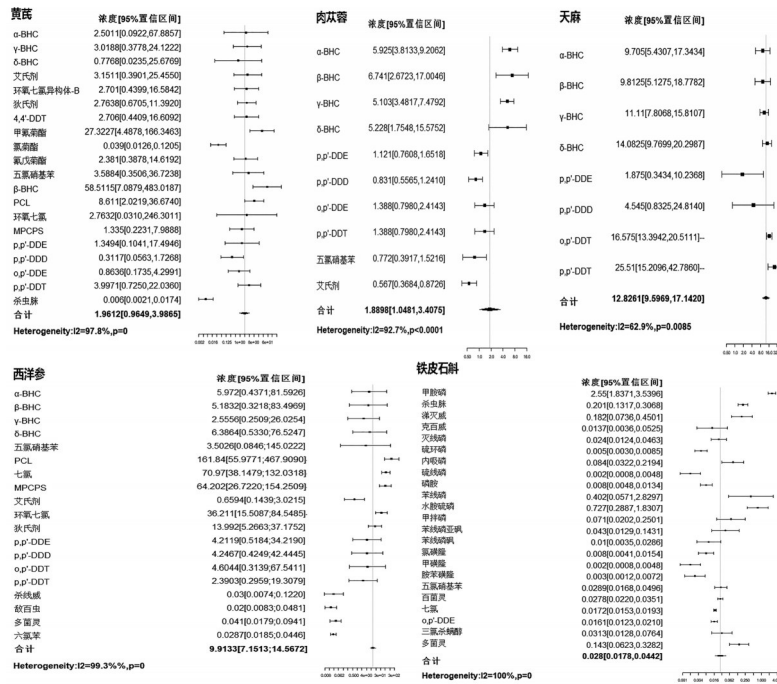


图 4 药食同源物质中农药污染水平 Meta 分析森林图

Figure 4 Forest plot for meta analysis of pesticide pollution level in 9 kinds of medicinal and edible substances

3 讨论

药食同源物质一直以来多作为中药材被开发及研究, 更多关注其中的功效成分及生理活性。近些年由于国家政策扶持等因素, 大部分中药材采取了人工种植养殖的方式, 导致部分药食同源物质中出现重金属及农药污染问题, 并引起了更多关注^[12-13]。本研究以 9 种药食同源物质为研究对象, 通过对纳入的 106 篇文献进行数据提取、分析, 初步了解 9 种药食同源物质外源污染物的种类及污染水平。

研究发现, 杜仲叶重金属含量相对党参、天麻等根茎类中药材含量较高, 这可能是与叶类植物长时间、大面积暴露于空气中易于被污染以及对重金属的富集能力有关^[14], 有研究表明叶类中药材重金属含量普遍高于根茎类中药材^[15]。药食同源物质对不同类别重金属的吸收具有选择性, 铜是植物生长必需的元素之一, 为满足自身生长需求, 植物对铜的积累效应强, 另外由于近年来含铜(离子)农药使用的普遍性和广泛性, 环境中铜浓度不断提

高^[16-17], 本研究显示 9 种药食同源物质中铜含量最高, 污染水平远高于其他重金属。另外其他中药材重金属污染研究也表明在其他中药材中也存在相似的结果^[18]。另外值得注意的是大部分药食同源物质中存在铬污染, 目前在《中国药典》和国家食品安全标准中铬的限量标准相对缺少。本研究结果表明产地是影响 9 种药食同源物质重金属污染水平的敏感因素。产地分析表明, 药食同源物质不同产地重金属类别和污染水平存在差异。这可能与产地环境和(或)土壤中重金属污染特征有关, 同时也与药食同源物质种属特征密切相关^[19-21]。研究结果显示四川产天麻、党参、灵芝镉污染水平高于其他产地同种药食同源物质, 这可能与四川地区土壤和环境中的高镉污染有一定的关系。镉的重要来源之一是工业废物的排放以及土壤, 四川矿产资源丰富, 开发利用较多, 煤矿中含有大量的镉可能对周围的土壤及空气造成污染, 进而在植物体内蓄积, 造成植物体内镉含量升高, 已有研究表明四川盆地

土壤镉质量分数和生态风险偏高^[22]。云南、湖北、新疆和陕西产药食同源物质铜的含量较高,特别是杜仲叶中铜含量最高,这可能与这些地区土壤中铜含量较高,导致药食同源物质在生长过程中吸收了较多的铜;另外,这些地区可能在过去的工业和农业生产活动中使用了铜肥和铜农药,也可能是造成铜含量较高的原因之一^[23-24]。值得注意的是,本研究纳入文献中报道的不同产地的药食同源物质样本量差异较大,所检测的重金属类别并不一致,部分不同产地药食同源物质不同类别重金属污染数据代表性不足,分析结果仅初步提示各产地药食同源物质重金属污染情况,不能用于评价各地药食同源物质质量的优劣。

本研究对9种药食同源物质中农药污染开展了Meta分析。从近20年来的报道来看,未见关于杜仲叶、山茱萸、灵芝和党参中农药残留的报道。黄芪、肉苁蓉、天麻、西洋参及铁皮石斛5种药食同源物质农药污染以有机氯类、拟除虫菊酯类和有机磷类农药为主,其中包括13种禁用农药。研究结果显示,肉苁蓉和天麻以禁用农药污染为主,西洋参和天麻相比于其他3种药食同源物质,有机氯农药问题相对严重,与产地土壤或环境中农药含量有关,此外也可能由于有机氯具有脂溶性,而西洋参和天麻挥发油类含量较高,对脂溶性农药更易吸收富集^[25-27]。值得注意的是,西洋参中七氯污染水平高达103.00 μg/kg,长期食用西洋参引起的七氯暴露导致的健康问题应予以关注。在5种药食同源物质中均存在禁用农药的污染,应引起重视。

目前,9种药食同源物质仅以试生产方式在个别地区开展了作为食品开发食用的试点,开展试点生产的大部分省份也提出了食品安全地方标准。但考虑到9种药食同源物质作为食品使用时,相比于作为中药材药用时的消费量更大,消费人群范围更广,对其食用安全性要求也更高,应同时考虑药食同源物质食用时的形态、食用方式等特点,结合食品安全相关标准及《管理规定》要求进行管理。药食同源物质作为一类特殊的食品,需要综合考虑食品和药品的双重属性,制定更加合理的限量标准,在保证食品安全的基础上,促进我国药食同源物质的发展。要充分考虑物种差异和地域差异,关注重点地区、重点物种、重点污染物,制定更加细化、科学、方便实施和易于市场流通的管理措施。

参考文献

[1] 杨光,苏芳芳,陈敏.药食同源起源与展望[J].中国现代中药,2021,23(11):1851-1856.

YANG G, SU F F, CHEN M. Origin and prospect of homology medicine and food [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2021, 23(11): 1851-1856.

[2] FARDET A, AUBRUN K, ROCK E. Nutrition transition and chronic diseases in China (1990—2019): Industrially processed and animal calories rather than nutrients and total calories as potential determinants of the health impact [J]. *Public Health Nutrition*, 2021, 24(16): 5561-5575.

[3] 肖伟,刘勇,肖培根,等.药食互渗透健康新趋向[J].中国现代中药,2014,16(6):486-492.

XIAO W, LIU Y, XIAO P G, et al. The integration of food and medicine: A new trend of health [J]. *Modern Chinese Medicine*, 2014, 16(6): 486-492.

[4] 于卓男,林树鹏,张红磊.药食同源产品产业发展现状与思考[J].中国保健营养,2016,26(11):547-548.

YU Z N, LIN S P, ZHANG H L. Present situation and thinking of the development of medicine and food homologous products industry [J]. *China Health Care & Nutrition*, 2016, 26(11): 547-548.

[5] 胡思,王超,孙贵香,等.大健康产业背景下药食同源资源开发的现状与对策研究[J].湖南中医药大学学报,2021,41(5):815-820.

HU S, WANG C, SUN G X, et al. Research on the development status and countermeasures of medicine and food homologous resources under the background of big health industry [J]. *Journal of Traditional Chinese Medicine University of Hunan*, 2021, 41(5): 815-820.

[6] HIGGINS J P T, THOMAS J, CHANDLER J, et al. *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions version 6.2* [M]. New York: John Wiley & Sons, 2021.

[7] HIGGINS J P T, THOMPSON S G, DEEKS J J, et al. Measuring inconsistency in meta-analyses [J]. *BMJ*, 2003, 327(7414): 557-560.

[8] JAIN S, SHARMA S K, JAIN K. Meta-analysis of fixed, random and mixed effects models [J]. *International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences*, 2019, 4(1): 199-218.

[9] BOWDEN J, TIERNEY J F, COPAS A J, et al. Quantifying, displaying and accounting for heterogeneity in the meta-analysis of RCTs using standard and generalised Q statistics [J]. *BMC Medical Research Methodology*, 2011, 11: 41.

[10] SPINELLI L M, PANDIS N. Meta-analysis: Random-effects model [J]. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 2020, 157(2): 280-282.

[11] SCHABO D C, ALVARENGA V O, SCHAFFNER D W, et al. A worldwide systematic review, meta-analysis, and health risk assessment study of mycotoxins in beers [J]. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2021, 20(6): 5742-5764.

[12] 刘继畅.中药材中重金属污染及其研究综述[J].黑龙江科技信息,2017(12):96.

LIU J Y. Heavy metal pollution in traditional Chinese medicine and its research review [J]. *Scientific and Technological Innovation*, 2017(12): 96.

[13] 韩小丽,张小波,郭兰萍等.中药材重金属污染现状的统计

- 分析[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(18): 2041-2048.
- HAN X L, ZHANG X B, GUO L P, et al. Statistical analysis of residues of heavy metals in Chinese crude drugs [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2008, 33(18): 2041-2048.
- [14] 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.
- 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.
- [15] 赵连华, 杨银慧, 胡一晨, 等. 我国中药材中重金属污染现状分析及对策研究[J]. 中草药, 2014, 45(9): 1199-1206.
- ZHAO L H, YANG Y H, HU Y C, et al. Current situation analysis and countermeasures on contamination of heavy metal in traditional Chinese medicinal materials in China[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2014, 45(9): 1199-1206.
- [16] BRUN L A, MAILLET J, HINSINGER P, et al. Evaluation of copper availability to plants in copper-contaminated vineyard soils[J]. Environmental Pollution, 2001, 111(2): 293-302.
- [17] 王子诚, 陈梦霞, 杨毓贤, 等. 铜胁迫对植物生长发育影响与植物耐铜机制的研究进展[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(10): 1849-1863.
- WANG Z C, CHEN M X, YANG Y X, et al. Effects of copper stress on plant growth and advances in the mechanisms of plant tolerance research[J]. Journal of Plant Nutrition and Fertilizers, 2021, 27(10): 1849-1863.
- [18] 朱晓东. 6种常用中药中重金属含量、形态分析与风险评价研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆医科大学, 2020.
- ZHU X D. Study on content, speciation analysis and risk assessment of heavy metals in six commonly used Chinese medicines [D]. Urumqi: Xinjiang Medical University, 2020.
- [19] 龚小见, 赵超, 栾庆祥, 等. 不同产地杜仲药材中重金属含量测定[J]. 山东化工, 2020, 49(17): 96-97.
- GONG X J, ZHAO C, LUAN Q X, et al. Determination of heavy metal content in *Eucommia ulmoides* from different habitats [J]. Shandong Chemical Industry, 2020, 49(17): 96-97.
- [20] 魏春雁, 刘笑笑, 宋志峰, 等. 不同产地中药材及其栽培土壤中重金属含量比较研究[J]. 东北农业科学, 2017, 42(4): 39-43.
- WEI C Y, LIU X X, SONG Z F, et al. Comparative study on the contents of heavy metals in Chinese herbal medicines from different habitats and their cultivated soils [J]. Journal of Northeast Agricultural Sciences, 2017, 42(4): 39-43.
- [21] 吴诗惠, 杨军, 朱宁, 等. 不同产地六种药食同源药材中重金属及农药残留的测定[J]. 四川中医, 2020, 38(1): 66-69.
- WU S H, YANG J, ZHU N, et al. Determination of heavy metals and pesticide residues in six medicinal and edible herbs from different cultivation regions [J]. China Industrial Economics, 2020, 38(1): 66-69.
- [22] 杜婷, 郭军, 徐宗泽, 等. 四川盆西平原区裸土扬尘中Pb、Cd化学形态的生物有效性[J]. 化工矿物与加工, 2021, 50(3): 43-47.
- DU T, GUO J, XU Z Z, et al. Bio-availability of chemical species with Pb and Cd contained in flying soil dust in west Plains of Sichuan [J]. Industrial Minerals & Processing, 2021, 50(3): 43-47.
- [23] BRUN L A, MAILLET J, HINSINGER P, et al. Evaluation of copper availability to plants in copper-contaminated vineyard soils [J]. Environmental Pollution, 2001, 111(2): 293-302.
- [24] 王娜. 土壤重金属铜污染现状分析[J]. 土壤科学, 2019, 7(3): 181-185.
- WANG N. Status of Heavy Metal Copper Pollution in Soil [J]. Hans Journal of Soil Science, 2019, 7(3): 181-185.
- [25] 窦亚洁, 刘慧, 李晓萌, 等. 中药中外源性有害物的残留现状及风险评估的研究进展[J]. 中草药, 2023, 54(2): 396-407.
- DOU Y J, LIU H, LI X M, et al. Research progress on residual status and risk assessment of exogenous hazardous substances in traditional Chinese medicine [J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2023, 54(2): 396-407.
- [26] 卢恒, 焦焕然, 周冰谦, 等. 西洋参农药残留研究进展[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(6): 1433-1437.
- LU H, JIAO H R, ZHOU B Q, et al. Research progress on pesticide residues of *Panax quinquefolii Radix* [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2022, 47(6): 1433-1437.
- [27] 胡欣悦, 刘春艳, 李开斌等. 黔产5种中药材有机氯农药残留安全限量研究[J]. 贵州科学, 2019, 37(4): 23-28.
- HU X Y, LIU C Y, LI K B, et al. Safety limits of organochlorine pesticide residues in five kinds of Chinese herbal medicines from Guizhou [J]. Guizhou Science, 2019, 37(4): 23-28.