

中图分类号: R932; R284.1; R286.0 文献标志码: A 文章编号: 1006-4931(2026)13-0071-06
doi:10.3969/j.issn.1006-4931.2026.13.013



陕西省黄芪和杜仲叶外源性污染物健康风险评价*

赵斌¹, 周泓成¹, 胡佳薇², 田丽^{2Δ}

(1. 陕西省肿瘤医院, 陕西 西安 710061; 2. 陕西省疾病预防控制中心, 陕西 西安 710054)

摘要:目的 分析陕西省黄芪和杜仲叶中外源性污染物的残留状况,并评价其健康风险。方法 根据陕西省中药材主要种植地分布情况,按监测布点的种植面积,对陕西省内种植的黄芪和杜仲叶进行采样,各100份,采用气相色谱串联质谱法、液相色谱串联质谱法等方法对黄芪和杜仲叶中68种农药残留、4种黄曲霉毒素、二氧化硫、6种重金属及有害元素污染物残留进行检测。采用风险商(HQ)与风险指数(HI)进行评估。若某农药对应HQ或HI>1,则表明存在摄入风险,应予以重视。结果 200份样品中,检出农药13种,分别为克百威、3-羟基克百威、氯唑磷、涕灭威砒、狄氏剂、α-硫丹、甲基对硫磷、对硫磷、氟戊菊酯、氯氟菊酯、氧乐果、硫环磷、水胺硫磷,农药总检出率为7.50%;超标农药5种,分别为对硫磷、氯氟菊酯、硫环磷、水胺硫磷、氧乐果,超标率为2.50%;二氧化硫检出率为100.00%;黄曲霉毒素均未检出;铅(Pb)、镉(Cd)、总汞(Hg)、总砷(As)、铜(Cu)、总铬(Cr)均有不同程度检出,杜仲叶中Pb、Cd、总Hg、总As、总Cr的残留量均值均高于黄芪。其中,Pb检出率为100.00%,超标率为8.50%;总Hg检出率为91.50%,超标率为2.50%;总As检出率为100.00%,超标率为2.00%。黄芪和杜仲叶检出农药的慢性风险商(HQ_c)和急性风险商(HQ_a)及整体的慢性风险指数(HI_c)和急性风险指数(HI_a)均小于1。结论 陕西省黄芪和杜仲叶的污染物虽有检出,但短期和长期摄入风险均在可接受范围内。

关键词: 黄芪;杜仲叶;污染物;残留;健康风险评估

Health Risk Assessment of Exogenous Pollutants in Astragali Radix and Eucommiae Folium in Shaanxi Province

Zhao Bin¹, Zhou Hongcheng¹, Hu Jiawei², Tian Li^{2Δ}

(1. Shaanxi Cancer Hospital, Xi'an, Shaanxi 710061, China; 2. Shaanxi Provincial Center for Disease Control and Prevention, Xi'an, Shaanxi 710054, China)

Abstract: Objective To analyze the residual status of exogenous pollutants in Astragali Radix and Eucommiae Folium in Shaanxi Province, and to evaluate their health risks. **Methods** Based on the distribution of major medicinal herb cultivation areas in Shaanxi Province, 100 samples of Astragali Radix and 100 samples of Eucommiae Folium were collected according to the planting area of monitoring sites. Gas chromatography - tandem mass spectrometry (GC - MS / MS), liquid chromatography - tandem mass spectrometry (LC - MS / MS), and other methods were used to detect sixty - eight pesticide residues, four aflatoxins (AF), sulfur dioxide, six heavy metals, and harmful element pollutants in Astragali Radix and Eucommiae Folium. The risk quotient (HQ) and hazard index (HI) were used to assess pesticide residues. An HQ or HI value of a pesticide > 1 indicates potential intake risk and warrants attention. **Results** Among the 200 samples, 13 kinds of pesticides were detected, including carbofuran, 3 - hydroxycarbofuran, chlorpromazine, imidacloprid, dieldrin, α - endosulfan, methyl parathion, parathion, cypermethrin, cypermethrin, oxytetracycline, thiophanate, and azithromycin, with a total detection rate of 7.50%; five pesticides exceeded the standard, including parathion, cypermethrin, thiophanate, azithromycin, and oxytetracycline, with an over - limit rate of 2.50%; the detection rate of sulfur dioxide was 100.00%, and no AF was detected; the lead (Pb), cadmium (Cd), total mercury (Hg), total arsenic (As), copper (Cu), and total chromium (Cr) were detected to varying degrees, and the average residual levels of Pb, Cd, total Hg, total As, and total Cr in Eucommiae Folium were higher than those in Astragali Radix. Among them, the detection rate of Pb was 100.00%, and the exceedance rate was 8.50%; the total detection rate of Hg was 91.50%, and the exceedance rate was 2.50%; the total As detection rate was 100.00%, and the exceedance rate was 2.00%. The chronic HQ (HQ_c) and acute HQ (HQ_a) of pesticides detected in Astragali Radix and Eucommiae Folium, as well as the overall chronic HI (HI_c) and acute HI (HI_a) were all lower than 1. **Conclusion** Although pollutants from Astragali Radix and Eucommiae Folium in Shaanxi Province have been detected, the short - term and long - term intake risks are within an acceptable range.

Key words: Astragali Radix; Eucommiae Folium; pollutants; residual; health risk assessment

我国素来有“药食同源,药食同理”的文化。相对于 常见,使用频率更高,与人类健康关系更密切。2019年,只作为药用的药材,药食同源类中药材在日常生活中更 国家卫生健康委员会将黄芪等9种中药材按食药物质

* 基金项目:陕西省中医药管理局科研课题项目[2021-ZZ-JC032];陕西省肿瘤医院院内国家自然科学基金繁育项目[SC221702]。

第一作者:赵斌,男,硕士,副主任医师,研究方向为流行病学、生物学、纳米药物,(电子信箱)279760400@qq.com。

Δ通信作者:田丽,女,硕士,副主任技师,研究方向为食品检验,(电子信箱)641875285@qq.com。

管理,并列入国家食药物质目录^[1]。随着国家对中医药传承创新的重视,中药的应用已扩展至多个国家和地区。世界卫生组织(WHO)调查显示,世界75%的人口正在使用中草药,以满足基本的医疗保健需求^[2-3]。为满足中药产量不断增长的需求,中药种植品种和面积随之增大,其在种植、收购、流通、生产加工等环节可能引起的外源性危害也日益受到关注^[4-6]。本研究中通过测定陕西省主要中药种植地区的黄芪、杜仲叶2种食药物质中的农药、黄曲霉毒素、二氧化硫、重金属及有害元素等主要外源性有害残留物,了解陕西省本地种植的这2种食药物质中污染物及有害因素的污染水平,分析其外源性危害风险,确定危害因素的分布和可能来源,为开展本地食药物质的风险评估、监管和标准制修订提供数据支持。现报道如下。

1 仪器与试剂

1.1 仪器

TQ8040型三重四极杆气相色谱质谱联用仪(日本Shimadzu公司);8800型电感耦合等离子体质谱(ICP-MS)仪(美国Agilent公司);5500+型液相色谱质谱联用(LC-MS/MS)仪(美国AB公司);KS520型二氧化硫测定仪(济南阿尔瓦科技有限公司);Acquity I-class型超高效液相色谱仪(美国Waters公司);DMA-80型全自动测汞仪(意大利Milestone公司)。

1.2 试剂

样本采集与处理:由于化学污染物监测的目标是掌握基础数据,并发现系统性的食品安全风险,故食品中污染物检出率(或超标率)比平均值更有监管意义,按如下公式计算样本量(N)。 $N = Z^2 \times [P \times (1 - P)] / E^2$,式中, Z 为统计值,置信度(CI)为95%时 $Z = 1.96$, CI 为90%时 $Z = 1.64$; E 为容许误差,一般要求为目标总体率的10%~15%; P 为目标总体预期的相关率值。经计算,在认为均匀的目标总体中需抽取96.04个样品作为最小采样量,为便于计算,实际按100个样品采样^[7]。根据陕西省中药材主要种植地分布,按监测布点的种植面积,从陕西省的榆林市子洲县、宝鸡市陈仓区、咸阳市旬邑县分别采样78份、11份、11份黄芪样本,从陕西省的汉中市佛坪县、汉中市略阳县、汉中市城固县、汉中市宁强县、汉中市西乡县、安康市紫阳县、安康市岚皋县、安康市平利县、安康市宁陕县分别采样3份、63份、4份、4份、4份、5份、8份、6份、3份杜仲叶样本。本研究中的采样时间选择秋季。黄芪去须根与根头后晒干,杜仲叶晒干。采集样品均为药材成品,样品置聚四氟乙烯采样瓶中常温保存。

农药标准品:1)农药标准溶液I,包括氟虫腈及其代谢产物(氟虫腈、氟甲腈、氟虫腈亚砷、氟虫腈砷),甲

胺磷,苯线磷及其代谢产物(苯线磷、苯线磷砷、苯线磷亚砷),克百威及其代谢物(克百威、3-羟基克百威),胺苯磺隆,甲磺隆,氯磺隆,硫线磷,氯唑磷,甲拌磷及其氧类似物(甲拌磷、甲拌磷砷、甲拌磷亚砷),磷胺,涕灭威及其代谢物(涕灭威、涕灭威砷、涕灭威亚砷),特丁硫磷砷,特丁硫磷亚砷,乙酰甲胺磷,阿维菌素,灭蝇胺,质量浓度均为100 $\mu\text{g}/\text{mL}$,购自天津阿尔塔科技有限公司。2)农药标准溶液II,包括 α -六六六, β -六六六, γ -六六六, δ -六六六,艾氏剂,狄氏剂,硫丹及其代谢物(α -硫丹, β -硫丹、硫丹硫酸酯), P,P' -DDE, P,P' -DDD, O,P' -DDT, P,P' -DDT,特丁硫磷,甲基对硫磷,对硫磷,三氯杀螨醇,甲基硫环磷,除草醚,氯氟氰菊酯,联苯菊酯,甲氰菊酯,氟氯氰菊酯,溴氰菊酯,氰戊菊酯,三唑酮,氯氰菊酯,氧乐果,毒死蜱,三唑磷,乐果,地虫硫磷,硫环磷,基异柳磷,灭线磷,杀虫脒,内吸磷,久效磷,水胺硫磷,蝇毒磷,治螟磷,质量浓度均为1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$,均购自北京曼哈格生物科技有限公司。3)铅(Pb)、镉(Cd)、砷(As)、汞(Hg)标准溶液(质量浓度为100 $\mu\text{g}/\text{mL}$),铜(Cu)、铬(Cr)标准溶液(质量浓度为1000 $\mu\text{g}/\text{mL}$),均购自中国计量科学研究院。4)黄曲霉毒素 B_1 (AFB₁)标准品(纯度为99.8%),黄曲霉毒素 B_2 (AFB₂)标准品(纯度为99.0%),黄曲霉毒素 G_1 (AFG₁)标准品(纯度为99.5%),黄曲霉毒素 G_2 (AFG₂)标准品(纯度为98.5%),均购自北京曼哈格生物科技有限公司。

2 方法与结果

2.1 试验条件

2.1.1 气相色谱串联质谱(GC-MS/MS)法

色谱柱:DB-5MS UI柱(30 m \times 0.25 mm,0.25 μm);柱温:程序升温,初始温度40 $^\circ\text{C}$,保持4 min,以25 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率升至125 $^\circ\text{C}$,再以10 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率升至300 $^\circ\text{C}$,保持8 min;程序升温气化(PTV)进样口温度:初始温度65 $^\circ\text{C}$,保持1 min,以200 $^\circ\text{C}/\text{min}$ 的速率升至300 $^\circ\text{C}$,保持15 min;不分流进样;进样时间:1 min;进样量:1 μL 。

流量控制方式:线速度;压力:49.7 kPa;总流量:26.0 mL/min;柱流量:1 mL/min;线流速:36.1 cm/s;吹扫流量:5.0 mL/min;溶剂延迟:13 min;接口温度:280 $^\circ\text{C}$;离子源温度:230 $^\circ\text{C}$;监测模式:多反应监测(MRM);检测器电压:0.5 kV。

2.1.2 液相色谱串联质谱(LC-MS/MS)法

色谱柱:Acquity UPLC BEH C₁₈柱(100 mm \times 2.1 mm,1.7 μm);流动相:流动相A为甲醇-乙腈(1:1, V/V),流动相B为5 mmol/L甲酸铵-0.1%甲酸水溶液,梯度洗脱(0~0.5 min时20% A,0.5~2.0 min时20% A \rightarrow 80% A,2.0~10.0 min时80% A,10.0~10.5 min时80% A \rightarrow 20% A,10.5~14.5 min时20% A);流速:

0.3 mL/min;柱温:40 °C;进样量:5 μL。

离子化方式:电喷雾电离(ESI);监测模式:MRM, 负离子或正离子扫描方式;电喷雾电压:5 500 V;气帘气压力:30 psi;雾化气压力:50 psi;辅助气压力:60 psi;离子源温度:500 °C。

2.1.3 ICP-MS法

选择各元素质量数;射频功率:1 550 W;进样速率:0.1 mL/min;载气流量:1.1 L/min;辅助气流量:1.0 L/min;冷却气流量:15 L/min。使用调谐液调节仪器参数,使仪器达到最佳工作条件,在三通管进样状态下,一路进样管持续进混合内标溶液,另一路进样管依次进空白溶液和系列标准溶液。

2.2 溶液制备

根据待测物的质量浓度配制标准曲线溶液,同时做空白试验。GC-MS/MS法测定的农药标准溶液Ⅱ配制质量浓度范围为0.01~1.00 μg/mL,LC-MS/MS法测定的农药标准溶液Ⅰ配制质量浓度范围为0.50~100.00 μg/L,ICP-MS法测定的元素标准品溶液配制质量浓度范围为0.50~200.00 μg/L。

2.3 方法学考察^[7]

在前期试验基础上,以定量离子信噪比(S/N) ≥ 3 的质量浓度为样品的检测限(LOD),以 $S/N \geq 10$ 的质量浓度为样品的定量限(LOQ);分别以待测物的响应信号(Y)为纵坐标、质量浓度(X , μg/L)为横坐标绘制标准曲线,相关系数(r)为0.996 4~0.999 9;平均回收率为72.51%~109.37%, RSD 为1.25%~6.07%($n=6$),表明方法准确度良好。

2.4 污染物残留情况

2.4.1 农药残留

根据《食品安全国家标准 植物源性食品中331种农药及其代谢物残留量的测定 液相色谱-质谱联用法》(GB 23200.121-2021)^[8]测定农药标准溶液Ⅰ中27种农药的残留量,根据《食品安全国家标准 植物源性食品中208种农药及其代谢物残留量的测定 气相色谱-质谱联用法》(GB 23200.113-2018)^[9]测定农药标准溶液Ⅱ中41种农药的残留量。通过对检测100份黄芪、100份杜仲叶样品中68种农药的残留量,共获得检测数据13 600条。检出以大于LOD计,数据统计时未检出数据按LOD的1/2计。100份黄芪样品中,有10份样品检出农药残留;100份杜仲叶样品中,有5份样品检出农药残留。200份样品中共15份检出农药残留,总检出率为7.50%(15/200)。共检出农药13种,分别为克百威、3-羟基克百威、氯唑磷、涕灭威砒、狄氏剂、 α -硫丹、甲基对硫磷、对硫磷、氰戊菊酯、氯氰菊酯、氧乐果、硫环磷、水胺硫磷;有5份样品存在农药残留超

标,超标率为2.50%(5/200),分别为对硫磷、氯氰菊酯、硫环磷、水胺硫磷、氧乐果。本研究中的农药残留超标率(2.50%)低于曾静等^[10]报道的我国蔬菜中农药残留总超标率(5.09%)。

黄芪农药残留:100份黄芪样品中共检出8种农药,分别为克百威、氯唑磷、 α -硫丹、甲基对硫磷、对硫磷、氰戊菊酯、氯氰菊酯、硫环磷,检出率分别为2.00%,2.00%,1.00%,1.00%,1.00%,1.00%,1.00%。其中,1份对硫磷超标,最大检测值为0.018 mg/kg,限值为0.01 mg/kg;1份氯氰菊酯超标,最大检测值为0.403 mg/kg,限值为0.01 mg/kg;1份硫环磷超标,最大检测值为0.060 mg/kg,限值为0.03 mg/kg。详见表1。

杜仲叶农药残留:100份杜仲叶样品中共检出5种农药,分别为3-羟基克百威、涕灭威砒、狄氏剂、氧乐果、水胺硫磷,检出率均为1.00%。其中,1份水胺硫磷超标,检测值为0.08 mg/kg,限值为0.05 mg/kg;1份氧乐果超标,检测值为0.090 mg/kg,限值为0.02 mg/kg。详见表1。

2.4.2 二氧化硫残留

根据《食品安全国家标准 食品中二氧化硫的测定》(GB 5009.34-2016)^[11]测定100份黄芪和100份杜仲叶样品中二氧化硫的残留量,检出以大于LOD计,数据统计时未检出数据按LOD的1/2计。二氧化硫检出率为100.00%,平均检测值为8.785 mg/kg,黄芪、杜仲叶中残留量最大检测值分别为15.38 mg/kg,均未超标。详见表1。

2.4.3 黄曲霉毒素残留

根据《食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素B族和G族的测定》(GB 5009.22-2016)^[12]测定100份黄芪和100份杜仲叶样品中AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂的残留量,结果均未检出。

2.4.4 重金属及有害元素残留

根据《食品安全国家标准 食品中多元素的测定》(GB 5009.268-2016)^[13]测定Pb、Cd、As、Cu、Cr 5种重金属及有害元素的含量,根据《食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定》(GB 5009.17-2014)^[14]测定Hg元素的含量。根据《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》限值要求,黄芪中Pb \leq 5.0 mg/kg、Cd \leq 1.0 mg/kg、As \leq 2.0 mg/kg、Hg \leq 0.2 mg/kg、Cu \leq 20 mg/kg,杜仲中Hg \leq 0.1 mg/kg,农药限量应符合农业农村部的相关规定^[15]。限量值基于干品确定,鲜品根据干品按水分进行折算。黄芪食用部分为根部,参考块根和块茎类蔬菜标准;杜仲鲜叶参考叶菜类蔬菜标准,杜仲茶参考茶叶标准。通过检测100份黄芪和100份杜仲叶样品中6种重金属及有害元

表1 黄芪和杜仲叶中农药、二氧化硫、重金属及有害元素残留检测结果

Tab. 1 Detection results of pesticide, sulfur dioxide, heavy metal, and harmful element residues in Astragali Radix and Eucommiae Folium

检测项目	检出率(%)		超标率(%)		残留量均值(mg/kg)		残留量最大值(mg/kg)		最大残留限量(mg/kg)		
	黄芪	杜仲叶	黄芪	杜仲叶	黄芪	杜仲叶	黄芪	杜仲叶	黄芪	杜仲叶	
农药	克百威	2.00	0	0	0	0.000 158	<0.001	0.010 9	<0.001	0.02	0.02
	3-羟基克百威	0	1.00	0	0	<0.001	0.000 093	<0.001	0.009 3	0.02	0.02
	氯唑磷	2.00	0	0	0	0.000 031	<0.001	0.001 7	<0.001	0.01	0.01
	涕灭威砒	0	1.00	0	0	<0.001	0.000 021	<0.001	0.002 1	0.03	*
	狄氏剂	0	1.00	0	0	<0.010	0.001	<0.010	0.100	0.05	*
	α-硫丹	1.00	0	0	0	0.000 14	<0.010	0.014	<0.010	0.05	10.00
	甲基对硫磷	1.00	0	0	0	0.000 16	<0.010	0.016	<0.010	0.02	0.02
	对硫磷	1.00	0	1.00	0	0.000 18	<0.010	0.018 [#]	<0.010	0.01	*
	氟戊菊酯	1.00	0	0	0	0.000 15	<0.010	0.015	<0.010	0.05	20.00
	氟氰菊酯	1.00	0	1.00	0	0.004 03	<0.050	0.403 [#]	<0.050	0.01	20.00
	氧乐果	0	1.00	0	1.00	<0.050	0.000 9	0.017	0.090 [#]	0.02	0.05
	硫环磷	1.00	0	1.00	0	0.000 6	<0.010	0.060 [#]	<0.010	0.03	0.03
	水胺硫磷	0	1.00	0	1.00	<0.050	0.000 8	<0.050	0.080 [#]	0.05	0.05
二氧化硫	100.00	100.00	0	0	8.54	9.03	15	38	150	150	
重金属及有害元素	铅	100.00	100.00	1.00	16.00	0.209	1.368	1.228	5.050	5.0	
	镉	100.00	100.00	0	0	0.013 5	0.118	0.061 6	0.222	1.0	
	总汞	83.00	100.00	0	5.00	0.004	0.060 7	0.099	0.169	0.2	0.1
	总砷	100.00	100.00	3.00	1.00	0.211	0.270	0.843	1.502	2.0	
	铜	100.00	100.00	0	0	5.116	3.880	9.310	6.910	20	
	总铬	100.00	100.00	0	0	4.753	6.391	13.240	24.850		

注:*为未查询到最大残留限量,#为超标。

Note:* indicates no maximum residue limit found, while # indicates exceeding the standard.

素的残留量,共获得检测数据1 200条。检出以大于LOD计,数据统计时未检出数据按LOD的1/2计。结果黄芪和杜仲叶中Pb的检出率为100.00%,超标率为8.50%,最大检测值为5.050 mg/kg;Cd的检出率为100.00%,最大检测值为0.222 mg/kg;总Hg的检出率为91.50%,超标率为2.50%,最大检测值为0.169 mg/kg;总As的检出率为100.00%,超标率为2.00%,最大检测值为1.502 mg/kg;Cu的检出率为100.00%,最大检测值为9.310 mg/kg;总Cr的检出率为100.00%,最大检测值为24.850 mg/kg。按残留量均值排序为总Cr>Cu>Pb>总As>Cd>总Hg。2种食药物质中各重金属及有害元素含量高低不同,Cd、Pb、总Hg、总As、总Cr的残留量均值均为杜仲叶>黄芪,Cu为黄芪>杜仲叶。详见表1。

2.5 健康风险评估

污染物暴露风险:采用风险商(HQ)评估。根据国家相关标准^[8-9,11-14]评价样品中各项检测结果的检测水平,同时评价外源性有害残留的健康风险。按公式(1)计算慢性风险商(HQ_c),按公式(2)计算急性风险商(HQ_a),分别评估长期与短期暴露风险^[16-21]。

$$HQ_c = \frac{Ef \times Ed \times C_m \times I_m}{AT \times BW \times ADI} \quad (1)$$

式中, Ef为暴露频率,取90天/年; Ed为中药的一生暴露年限,取20年^[17-18,20]; C_m为样品污染物残留平均水平(mg/kg); I_m为样品日均摄入量(kg),根据2020年版《中国药典(一部)》,黄芪、杜仲叶的取样量分别为9~30 g^{[20]316}、10~15 g^{[20]173},本研究中分别取0.019 5, 0.012 5 kg; AT为平均寿命天数,取70×365 d^[17-18]; BW为体质量,取60 kg^[17-18,21]; ADI为每日摄取容许量(mg/kg BW)^[22-24]。若HQ_c ≤ 1,则样品对应污染物健康风险较低;若HQ_c > 1,则存在风险,应予以重视。

$$HQ_a = \frac{C_{max} \times I_{max}}{ARfD \times BW} \quad (2)$$

式中, C_{max}为样品污染物残留最高水平(mg/kg); I_{max}为样品日最大摄入量(kg),根据2020年版《中国药典(一部)》,黄芪、杜仲叶的取样量分别为9~30 g^{[20]316}、10~15 g^{[20]173},本研究中分别取0.030, 0.015 kg(参考块根和块茎类蔬菜标准与茶叶标准); BW为体质量,取60 kg; ARfD为急性参考剂量(mg/kg BW)^[24]。若HQ_a ≤ 1,

则样品对应污染物健康风险较低;若 $HQ_a > 1$,则存在风险,应予以重视。

污染物食源性摄入的累计风险:采用风险指数(HI)评估。按公式(3)计算慢性风险指数(HI_c),按公式(4)计算急性风险指数(HI_a),分别评估长期与短期累计暴露风险^[16-21]。

$$HI_c = \sum HQ_c \quad (3)$$

$$HI_a = \sum HQ_a \quad (4)$$

若 $HI_c \leq 1$,则样品长期摄入的健康风险较低;若 $HI_c > 1$,则存在风险,应予以重视。若 $HI_a \leq 1$,则样品短期摄入的健康风险较低;若 $HI_a > 1$,则存在风险,应予以重视。

黄芪样品中检出8种农药的 HQ_c 和 HQ_a 与整体的 HI_c 和 HI_a 均小于1,表明其短期和长期摄入风险均在可接受范围内。杜仲叶样品中检出5种农药的检出率均为1.00%;单个样本中氧乐果检出量最大(0.090 mg/kg)。黄芪和杜仲叶的 HI_c 分别为 1.12×10^{-5} 和 4.55×10^{-5} , HI_a 分别为0.012 0和0.013 8,其 HQ_c 和 HQ_a 与整体的 HI_c 和 HI_a 均小于1,提示其外源性有害物质残留较低。详见表2。

表2 黄芪和杜仲叶污染物残留的健康风险评估结果

Tab. 2 Results of the health risk assessment of pollution residues in Astragali Radix and Eucommiae Folium

污染物	每日摄取容许量 (mg/kg BW)	急性参考计量 (mg/kg BW)	慢性风险商(HQ_c)		急性风险商(HQ_a)	
			黄芪	杜仲叶	黄芪	杜仲叶
克百威	0.001	0.001	3.62×10^{-6}	N	5.45×10^{-3}	N
3-羧基克百威	0.001	0.001	N	1.36×10^{-6}	N	2.32×10^{-3}
氯唑磷	0.000 05	*	N	N	N	N
涕灭威砒	0.003	0.003	N	1.03×10^{-7}	N	1.75×10^{-4}
狄氏剂	0.000 1	*	N	N	N	N
α -硫丹	0.006	0.020	5.34×10^{-7}	N	3.50×10^{-4}	N
甲基对硫磷	0.003	0.030	1.22×10^{-6}	N	2.70×10^{-4}	N
对硫磷	0.004	0.010	1.03×10^{-6}	N	9.00×10^{-4}	N
氰戊菊酯	0.020	0.200	1.72×10^{-7}	N	3.75×10^{-5}	N
氯氰菊酯	0.020	0.040	4.65×10^{-6}	N	5.03×10^{-3}	N
氧乐果	0.000 3	0.002	N	4.40×10^{-5}	N	11.25×10^{-3}
硫环磷	0.005	*	N	N	N	N
水胺硫磷	0.003	*	N	N	N	N

注:*为未查询到急性参考计量值;N为未计算。

Note: * indicates that no acute reference measurement value was found; N indicates that the corresponding pollution residue has not been calculated.

3 讨论

本研究中采用GC-MS/MS法、LC-MS/MS法等方法对陕西省主要中药种植地区的黄芪、杜仲叶中68种农药残留、4种黄曲霉毒素、二氧化硫、6种重金属及有害元素等外源性污染物进行检测,并采用风险商和

风险指数评价其潜在健康风险。结果显示,黄芪与杜仲叶中农药残留、二氧化硫、重金属及有害元素均有不同程度检出,但多数检测值未超过相应限量要求;黄曲霉毒素均未检出;检出农药的 HQ_c 和 HQ_a 与整体 HI_c 和 HI_a 均小于1,提示在本研究中设定的暴露参数下,黄芪和杜仲叶的农药残留导致的短期和长期摄入风险均处于可接受范围。总体来看,陕西省的黄芪和杜仲叶外源性污染物健康风险可控,但个别农药超标、部分重金属及有害元素超标、二氧化硫普遍检出等问题仍需关注。

农药登记制对规范农药使用、保障农产品和生态环境安全具有重要作用。根据中国农药信息网的数据,黄芪登记使用农药共3种,杜仲叶登记使用农药为0种^[25]。但本研究中在200份样品中共检出农药13种,农药总检出率为7.50%,超标率为2.50%。其中,黄芪中检出8种农药,对硫磷、氯氰菊酯、硫环磷超标;杜仲叶中检出5种农药,水胺硫磷、氧乐果超标。表明食药物质种植过程中仍可能存在不规范用药、交叉污染、环境残留迁移等问题。已有研究指出,中药材农药残留问题与种植管理、标准体系、农药登记及全过程质量控制密切相关,需进一步完善中药材农药残留限量标准和监管体系^[26]。因此,在制定食药物质监测和限量指标时,不仅应考虑农药的有效成分,还应关注其在植物体内转化形成的代谢产物及次生产物,并结合风险评估方法评价其潜在健康风险。

黄芪与杜仲叶中的AFB和二氧化硫检测结果显示,AFB₁、AFB₂、AFG₁、AFG₂均未检出,提示本次采集的样品中黄曲霉毒素的污染风险较低;二氧化硫检出率为100.00%,平均检测值为8.785 mg/kg,最大检测值为38 mg/kg,均未超过限量要求。表明样品中虽普遍存在二氧化硫残留,但总体处于标准允许范围内。考虑到食药物质在采收、加工、储存、流通过程中均可能受到霉菌或含硫化合物的影响,二氧化硫普遍检出仍提示应关注硫熏或相关加工处理情况。后续应规范加工工艺,加强抽查监管,减少不规范硫熏处理,并加强对易霉变品种及加工储存环节的监测。

黄芪与杜仲叶中的重金属及有害元素检测结果显示,2种食药物质中Pb、Cd、总Hg、总As、Cu、总Cr均有不同程度检出,其中Pb检出率为100.00%,超标率为8.50%;总Hg检出率为91.50%,超标率为2.50%;总As检出率为100.00%,超标率为2.00%。从样品类型看,杜仲叶中Pb、Cd、总Hg、总As、总Cr的残留量均值总体高于黄芪,提示叶类食药物质可能更易受到土壤、灌溉水、大气沉降、采收后处理环境的影响。黄芪为根类药材,其污染来源可能更多与土壤背景值和根部富集特征有关;杜仲叶为叶类样本,除种植环境外,还可能受到叶面附着、空气沉降、加工储存条件的影响。因此,重

金属及有害元素污染也应作为食药物物质外源性污染物监测的重要内容。

综上所述,本研究中通过对陕西省内中药主要种植地区的黄芪与杜仲叶的外源性污染物风险进行调查与分析发现,大部分样品中外源性污染物的含量均在安全范围内,但仍存在部分超标现象,提示在食药物物质的种植、加工、运输、储存等环节仍存在外源性有害物质污染的风险。应建立科学、精准的评价标准,结合不同药材类别(根茎类、花叶类、果实类等)特点,细化重金属及有害元素、农药残留、微生物及环境污染物限量指标,并在参考国际标准的同时兼顾我国主产区土壤与水源实际,确保标准既具安全性又具有可行性;同时还应健全全链条监管机制,厘清农业、市场监管、药品监管等部门的职责,推行种植基地备案与可追溯制度,落实进货查验与检测报告的要求,并通过信息公开和失信惩戒强化社会监督;此外,还需加强风险评估与意识提升,覆盖“种植-加工-储存-运输”全过程,建立年度风险评估与高风险品种/区域预警制度,并分层开展种植户、企业与监管人员培训,推动风险防控常态化;最后,加大监测与研究力度,构建国家与区域监测网络,推广快速、低成本检测技术,支持重金属修复、霉菌毒素降解等关键技术攻关,实现从源头到终端的综合防控。通过上述措施,以逐步形成标准明确、监管有力、风险可控、技术支撑的治理体系,为保障食药材质量安全和中医药产业的健康发展提供坚实基础。

参考文献

- [1] 食品安全标准与监测评估司. 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[A/OL]. 2020-01-06. <https://www.nhc.gov.cn/sps/c100088/202001/6fd1c3554a10477cb5381023236b51b8.shtml>.
- [2] 王莹,刘芑汐,刘丽娜,等. 中药中外源性有害残留物标准现状与监管建议[J]. 中国现代中药,2023,25(5):943-950.
- [3] 王莹,金红宇,魏锋,等. 《中国药典》2025年版中药中农药标准前瞻研究专栏[J]. 中国药学杂志,2024,59(16):1453.
- [4] 张明旭,陈元,席琳图雅,等. 中药资源大数据的应用与展望[J]. 农业大数据学报,2021,3(1):14-24.
- [5] 张珂,赵荣,王枫,等. 大食物观理念下森林食物供给现状与对策研究[J]. 林产工业,2024,61(7):89.
- [6] 魏锋,程显隆,荆文光,等. 中药材及饮片质量标准研究有关问题思考[J]. 中国药学杂志,2022,57(18):1493-1503.
- [7] 田丽,胡佳薇,尹丹阳,等. 气相色谱-三重四极杆质谱法测定黄芪中42种农药残留[J]. 食品安全质量检测学报,2024,15(7):225-233.
- [8] GB 23200.121—2021 食品安全国家标准 植物源性食品中331种农药及其代谢物残留量的测定 液相色谱-质谱联用法[S].
- [9] GB 23200.113—2018 食品安全国家标准 植物源性食品中208种农药及其代谢物残留量的测定 气相色谱-质谱联用法[S].
- [10] 曾静,乔雄梧. 我国近年蔬菜水果中农药残留超标状况浅析[J]. 农药学报,2023,25(6):1206-1221.
- [11] GB 5009.34—2016 食品安全国家标准 食品中二氧化硫的测定[S].
- [12] GB 5009.22—2016 食品安全国家标准 食品中黄曲霉毒素B族和G族的测定[S].
- [13] GB 5009.268—2016 食品安全国家标准 食品中多元素的测定[S].
- [14] GB 5009.17—2014 食品安全国家标准 食品中总汞及有机汞的测定[S].
- [15] 中国政府网. 食品安全标准与监测评估司: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:2023年第9号[A/OL]. 2023-11-17. <https://www.nhc.gov.cn/sps/c100088/202311/5b062dd13fe646198b56c7d76a99aab4.shtml>.
- [16] Khan S, Cao Q, Zheng Y M, et al. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China[J]. Environmental Pollution, 2008, 152(3): 686-692.
- [17] Mahdavi V, Eslami Z, Molaee - Aghae E, et al. Evaluation of pesticide residues and risk assessment in apple and grape from western Azerbaijan Province of Iran [J]. Environmental Research, 2022, 203: 111882.
- [18] Zhang D L, Gou Y, Yu X Y, et al. Detection and risk assessments of multi - pesticides in traditional Chinese medicine Chuanxiong Rhizoma by LC / MS - MS and GC / MS - MS [J]. Molecules, 2022, 27(3): 622.
- [19] Xiao J J, Duan J S, Xu X, et al. Behavior of pesticides and their metabolites in traditional Chinese medicine Paeoniae Radix Alba during processing and associated health risk [J]. Pharm Biomed Anal, 2018, 161: 20-27.
- [20] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典:一部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
- [21] 左甜甜,刘芑汐,王莹,等. 益心酮片中农药残留风险评估[J]. 药物分析杂志, 2024, 44(12): 2072-2077.
- [22] GB 2763—2021 食品国家安全标准 食品中农药最大残留限量标准[S].
- [23] World Health Organization. WHO(2023): Inventory of Evaluations Performed by the Joint Meeting on Pesticide Residues (JMPR) [EB/OL]. (2023)[2025-04-26]. <https://apps.who.int/pesticide-residues-jmpr-database/>.
- [24] Oliva J, Cermeño S, Cámara M A, et al. Disappearance of six pesticides in fresh and processed zucchini, bioavailability and health risk assessment [J]. Food Chem, 2017, 229: 172-177.
- [25] 中国农药信息网. 农药登记数据 [DB/OL]. (2020)[2025-04-26]. <http://www.icama.org.cn/zwb/dataCenter>.
- [26] 肖欧丽,李敏敏,李瑞理,等. 中药材中农药残留现状及标准体系建设研究进展 [J]. 植物保护, 2022, 48(5): 1-14.

(收稿日期:2025-05-14;修回日期:2026-05-20)