

山西省黄芩、远志重金属污染与安全性评价

赵永胜^{1,2}, 石文鑫^{1,2}, 郝变青^{1,2}

(1. 山西农业大学 山西功能农产品检验检测中心, 山西 太原 030031;
2. 农业农村部农产品质量安全风险评估实验室(太原), 山西 太原 030031)

摘要: 在中药材产业发展实践中, 其安全问题受到越来越多的关注, 特别是中药材种植生产中重金属污染问题已对中药材的质量安全构成隐患。以山西省中药材主产区多年生根类药材黄芩(*Scutellaria baicalensis*)、远志(*Polygalae radix*)为研究对象, 对其铅、镉、汞、砷等重金属残留量进行检测分析, 并对黄芩、远志及种植土壤的安全性进行评价。结果表明, 黄芩、远志样品中铅、镉、汞、砷残留均未超过其限量标准; 土壤样品中铅、镉、汞、砷等4种重金属的检测平均值、最大值均低于相应的污染风险筛选值及污染风险管制值; 测试中药材样品及土壤样品中铅、镉、汞、砷的单因子污染指数均小于1, 内梅罗综合污染指数均小于0.7。黄芩、远志样品及土壤样品中铅、镉、汞、砷污染程度等级为安全。山西省黄芩、远志产区土壤重金属的主要潜在污染物为砷, 其种植过程中使用农药和磷肥是土壤砷的一个重要来源, 应加强土壤中砷污染的防控。

关键词: 黄芩; 远志; 重金属; 污染; 安全性

中图分类号: S567 文献标识码: A 文章编号: 1002-2481(2024)06-0086-09

Pollution and Safety Assessment of Heavy Metals in *Scutellaria baicalensis* and *Polygalae radix* in Shanxi Province

ZHAO Yongsheng^{1,2}, SHI Wenxin^{1,2}, HAO Bianqing^{1,2}

(1. Shanxi Center for Testing of Functional Agro-Products, Shanxi Agricultural University, Taiyuan 030031, China; 2. Laboratory of Agro-Product Quality and Safety Risk Evaluation(Taiyuan), Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Taiyuan 030031, China)

Abstract: In the development practice of traditional Chinese medicine industry, the safety issue of traditional Chinese medicine has received increasing attention, especially the problem of heavy metal pollution in traditional Chinese medicine, which has posed a hidden danger to the quality and safety of traditional Chinese medicine. In this project, perennial root based medicinal herbs, *Scutellaria baicalensis* and *Polygalae radix*, in the main production areas of traditional Chinese medicine in Shanxi province were taken as the research object, through detection and analysis of the residues of heavy metals (mainly including lead, cadmium, mercury, and arsenic), the safety of *Scutellaria baicalensis*, *Polygalae radix*, and planting soil was evaluated. The results showed that the residues of lead, cadmium, mercury, and arsenic in *Scutellaria baicalensis* and *Polygalae radix* did not exceed their limit standards. The detected average and maximum values of the four heavy metals of lead, cadmium, mercury, and arsenic in soil samples were lower than the corresponding pollution risk screening values and pollution risk control values. The single-factor pollution index (Pi) of lead, cadmium, mercury, and arsenic was less than 1, and the Nemero comprehensive pollution index (P synthesis) was less than 0.7. The pollution levels of lead, cadmium, mercury, and arsenic in *Scutellaria baicalensis*, *Polygalae radix*, and soil samples were safe. The main potential pollutant of heavy metals in the soil in Shanxi was arsenic. The use of pesticides and phosphate fertiliser in agricultural production was an important source of soil arsenic, and the prevention and control of arsenic pollution in soil should be strengthened.

Key words: *Scutellaria baicalensis*; *Polygalae radix*; heavy metals; pollution; safety

山西省素有“北药”之称, 有着丰富的中药材资源。据第4次中药资源普查初步统计, 山西省现有1 788种中药材, 其中, 道地中药材达30多种^[1]。

2020年, 山西省遴选出“十大晋药”中药材(黄芪、党参、连翘、远志、黄芩、柴胡、苦参、山楂、酸枣仁、桃仁), 作为山西省道地中药材的代表重点发展。尤其

收稿日期: 2024-05-23

基金项目: 山西农业大学学术恢复科研专项(2020xshf63); 山西省农业科学院农业科技创新研究课题(YCX2020303)

作者简介: 赵永胜(1965-), 男, 山西平遥人, 副研究员, 主要从事农产品质量安全研究工作。

连翘、黄芩、远志、党参等优势品种市场占有率高,其中黄芩、远志市场销售量分别占到全国的40%、70%^[2]。通过调查统计,2021年山西省有108个县种植中药材,占全省县域数的92.3%;共种植中药材61种,中药材种植总面积约23.2万hm²,中药材年产量约50.5万t,总产值约82.8亿元。中药材产业已成为山西省具有潜力的特色产业和富民产业。

中药材种植产业是保障中医药事业健康发展的源头产业,是中医药事业传承和发展的物质基础,是关系国计民生的战略性资源^[3]。在中药材产业发展实践中,中药材安全问题受到越来越多的关注。特别是中药材中重金属污染问题已对中药材的质量安全构成隐患。重金属超标问题仍是目前遏制中药材走向世界的一大隐患^[4]。重金属污染的控制是中药材质量安全亟待解决的问题^[5],而土壤中重金属污染是影响中药材重金属含量最主要的因素^[6]。

有研究表明,重金属通过对药材生理系统的功能性破坏使得药材产量降低、品质和药效受损;中药材中重金属元素包括铅、镉、汞、砷等,毒性作用可导致中毒、肾病、骨质疏松及变形、神经系统损害甚至突变、产生癌症等^[7]。中药材药用部位重金属浓度大体趋势为根际部位大于地上部位^[8],因此,多年生根茎类药材应成为重金属污染风险与人体健康风险评价的重点管控对象。

笔者以2021年山西省中药材黄芩、远志作为研究对象,对其重金属(主要包括Pb、Cd、Hg、As)进行质量安全风险评价,提出中药材安全生产与重金属风险管控措施,从根本上减轻和消除中药材重金属残留的安全隐患,为中药材产业健康持续发展提供参考。

1 材料和方法

1.1 试验材料

1.1.1 黄芩样品 共采集3年生黄芩样品22份,涉

及黄芩主产区晋南峨眉岭一带的新绛县、闻喜县、绛县、稷山县、襄汾县的11个乡镇21个村(基地)。每份样品采集不少于5株,质量1kg左右。参考张爱琛等^[9]对黄芩样品的处理方法,首先撞去黄芩样品表面泥土和粗皮,用陶瓷刀(避免引入重金属)将黄芩根部与茎部分离,再用毛刷将黄芩根表面刷干净。将植株根部自然风干至恒质量,并用高速中药粉碎机将其粉碎30s,粉末过0.426mm的筛子后,装入自封袋编号保存待测。

1.1.2 远志样品 本项目共采集3年生远志样品32份,涉及远志主产区晋南峨眉岭一带的新绛县、闻喜县、稷山县、襄汾县的11个乡镇24个村(基地)。每份样品质量1kg左右。其中,远志全根样品11份、远志筒样品21份、与远志筒样品编号相对应的未抽梗样品10份。首先除去远志样品表面泥土,将不同处理的样品自然风干至恒质量,并用高速中药粉碎机将其粉碎30s,粉末过0.426mm的筛子后,装入自封袋编号保存待测。

1.1.3 土壤样品 为探究中药材种植土壤重金属污染状况,相对应采集了29份土壤样品。其中种植黄芩土壤样品17份、种植远志土壤样品12份。土壤样品的采集遵循多点、随机原则,土样放入编好号的塑料袋后混匀。土样带回实验室后,将土样袋口敞开进行风干。取出风干土样,剔出土壤以外的侵入体,充分混匀,用四分法将其分为2份,将保留样品倒在塑料布上,用干净玻璃瓶子或硬木质碾压工具将土块捻碎,使其全部通过0.149mm的筛子,一份样品装入自封袋编号保存待测,另一份作为备份样品保存。

1.2 试验方法

1.2.1 黄芩、远志样品中重金属检测方法、检出限及限量标准 黄芩、远志样品及土壤样品中重金属含量委托山西农业大学资源环境学院进行检测。黄芩、远志样品重金属检测方法依据与检出限如表1所示。

表1 中药材样品重金属检测方法依据与检出限
Tab.1 Basis and detection limit of heavy metals in Chinese herbal medicine samples

检测样品 Test sample	检测项目 Testing item	检测方法依据 Testing method basis	方法检出限(LOD)/(mg/kg) Detection limit	限量标准/(mg/kg) MRLs
黄芩 <i>Scutellaria baicalensis</i>	铅	GB 5009.12—2017	0.025	5.0
远志 <i>Polygalae radix</i>	镉	GB 5009.15—2014	0.001	1.0
	汞	GB 5009.17—2021	0.002	0.2
	砷	GB 5009.17—2021	0.010	2.0

表1中限量标准的依据是《中国药典》。在《中国药典》2020年版四部“9302中药有害残留物制定指导原则”中,指出了“重金属及有害元素主要是指铅、汞、镉、铜、银、铋、锑、锡、砷等”,并在新增的“第五条:重金属及有害元素一致性指导值”里,指出药材及饮片(植物类)铅不得超过5 mg/kg,镉不得超过1 mg/kg,汞不得超过0.2 mg/kg,砷不得超过2 mg/kg^[10]。

1.2.2 土壤样品重金属检测方法依据、检出限及判定标准 土壤样品重金属检测方法依据与检出限

表2 土壤样品重金属检测方法依据与检出限
Tab.2 Basis and detection limit of heavy metal detection methods in soil samples

检测样品 Test sample	检测项目 Testing item	检测方法依据 Testing method basis	方法检出限(LOD)/(mg/kg) Detection limit	污染风险筛选值/(mg/kg) Pollution risk screening value	污染风险管制值/(mg/kg) Pollution risk control value
土壤 Soil	铅	GB/T 17141—1997	0.125	170	1 000
	镉	GB/T 17141—1997	0.013	0.6	4.0
	汞	GB/T 22105.1—2008	0.002	3.4	6.0
	砷	GB/T 22105.1—2008	0.010	25	100

1.2.3 检测结果实测值分析低于方法检出限(LOD)处理的依据 参照2010年11月由国家食品安全风险评估专家委员会制定的《食品安全风险评估数据需求及采集要求》第23条,对化学污染物、农药、兽药、营养素、食品添加剂等化学物检测结果进行处理时,如果有≤60%的检测结果实测值低于方法的检出限(LOD),那么所有低于检出限的实测值均赋予其1/2 LOD值后方可用于评估;如果检测结果中有≥60%实测值低于LOD时,对所有低于LOD的结果,得出2个估计值,0和LOD值。

本研究汞的检测结果显示60%以上实测值低于LOD,实测值低于方法的检出限均赋予其LOD值,即0.002 mg/kg。

1.3 评价方法

目前,有关重金属风险评价的方法较多,其中,评价体系最为成熟、应用最为广泛的评价方法是指数评价法^[11]。

1.3.1 单因子污染指数法 单因子污染指数可评价重金属污染程度。目前,众多研究选用此法来反映中药材、土壤中重金属的超标倍数。

$$P_i = C_i / S_i \quad (1)$$

式中, C_i 为第*i*个污染物的测量值, S_i 为第*i*个污染物的评价标准。 P_i 为第*i*个单因子污染指数, $P_i > 1$ 表明受到污染, P_i 越大表明污染程度越高。

1.3.2 内梅罗综合污染指数法 由于中药材、土壤

见表2。土壤重金属污染判定标准依据《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)。该标准规定了农用地土壤污染风险筛选值和管制值。中药材规范化生产(GAP)基地的土壤环境质量标准主要执行GB 15618—2018二级标准。土壤中污染物含量超过农用地土壤污染风险筛选值,对农产品质量安全、农作物生长或土壤生态环境可能存在风险;土壤中污染物含量超过农用地土壤污染风险管控值,农用地土壤污染风险高,原则上应当采取严格的管控措施。

重金属污染是一个复杂的体系,单因子污染指数只能反映各个金属元素的污染程度,不能全面反映其污染状况。内梅罗综合污染指数在单因子污染指数评价基础上兼顾极值,反映出各污染物的综合影响。

$$P_{\text{综合}} = \sqrt{\frac{P_{\text{max}}^2 + P_{\text{ave}}^2}{2}} \quad (2)$$

式中, P_{max} 为各单因子污染指数中的最大值; P_{ave} 为所有单因子污染指数的平均值。 $P_{\text{综合}}$ 为综合污染指数,共划分成5个等级: $P_{\text{综合}} \leq 0.7$ 为安全级, $0.7 < P_{\text{综合}} \leq 1$ 为警戒级, $1 < P_{\text{综合}} \leq 2$ 为轻度污染, $2 < P_{\text{综合}} \leq 3$ 为中度污染, $P_{\text{综合}} > 3$ 为重度污染。

2 结果与分析

2.1 黄芩、远志样品重金属检测结果与安全性评价

2.1.1 黄芩样品 对22个黄芩样品铅、镉、汞、砷等4种重金属进行了检测,根据单因子污染指数法,计算出各个单因子污染指数P(表3),检测结果分析表明(表4),铅、镉、砷的检出率为100%,但测定值均未超过限量标准,超标率均为0;测试黄芩样品中铅、镉、汞、砷的 P_i 均小于1,表明黄芩样品未受到铅、镉、汞、砷污染;在各单因子污染指数中的最大值 P_{max} 为0.200,所有单因子污染指数的平均值 P_{ave} 为0.050 6,黄芩样品中重金属铅、镉、汞、砷的综合污染指数 $P_{\text{综合}}$ 为0.145 9 < 0.7,污染程度为安全。

表3 黄芩样品重金属含量及污染指数
Tab.3 Heavy metal content and pollution index of *Scutellaria baicalensis* samples

样品编号 Sample number	测定值/(mg/kg) Measured value				单因子污染指数 Single pollution index			
	Pb	Cd	Hg	As	Pb	Cd	Hg	As
HQ-01	0.31	0.013	0.002	0.109	0.062	0.013	0.01	0.054 5
HQ-02	0.59	0.016	0.002	0.108	0.118	0.016	0.01	0.054 0
HQ-03	0.23	0.010	0.002	0.082	0.046	0.010	0.01	0.041 0
HQ-04	0.41	0.011	0.002	0.232	0.082	0.011	0.01	0.116 0
HQ-05	0.31	0.013	0.002	0.137	0.062	0.013	0.01	0.068 5
HQ-06	0.25	0.013	0.002	0.048	0.050	0.013	0.01	0.024 0
HQ-07	0.31	0.013	0.002	0.264	0.062	0.013	0.01	0.132 0
HQ-08	0.49	0.014	0.002	0.237	0.098	0.014	0.01	0.118 5
HQ-09	0.25	0.010	0.002	0.120	0.050	0.010	0.01	0.060 0
HQ-10	0.29	0.012	0.002	0.083	0.058	0.012	0.01	0.041 5
HQ-11	0.93	0.017	0.002	0.308	0.186	0.017	0.01	0.154 0
HQ-12	0.34	0.014	0.002	0.147	0.068	0.014	0.01	0.073 5
HQ-13	0.33	0.015	0.002	0.190	0.066	0.015	0.01	0.095 0
HQ-14	0.42	0.016	0.002	0.177	0.084	0.016	0.01	0.088 5
HQ-15	0.41	0.015	0.002	0.195	0.082	0.015	0.01	0.097 5
HQ-16	0.28	0.008	0.002	0.145	0.056	0.008	0.01	0.072 5
HQ-17	0.29	0.013	0.002	0.177	0.058	0.013	0.01	0.088 5
HQ-18	0.77	0.021	0.002	0.161	0.154	0.021	0.01	0.080 5
HQ-19	0.47	0.023	0.002	0.190	0.094	0.023	0.01	0.095 0
HQ-20	0.49	0.015	0.002	0.325	0.098	0.015	0.01	0.162 5
HQ-21	1.00	0.021	0.002	0.245	0.200	0.021	0.01	0.122 5
HQ-22	0.85	0.014	0.001	0.136	0.170	0.014	0.01	0.068 0

表4 黄芩样品重金属检测结果分析
Tab.4 Analysis of heavy metal detection results of *Scutellaria baicalensis* samples

指标 Index	Pb	Cd	Hg	As	指标 Index	Pb	Cd	Hg	As
检出样品数/个 The number of samples detected	22	22	0	22	最大值/(mg/kg) Maximum value	1.000	0.023	0	0.325
检出率/% Detection rate	100	100	0	100	限量标准/(mg/kg) Limit standard	5.0	1.0	0.2	2.0
平均值/(mg/kg) Average value	0.455 0	0.014 4	0	0.173 0	超标率/% Over-standard rate	0	0	0	0

2.1.2 远志筒(根皮)样品 对21个黄芩样品铅、镉、汞、砷等4种重金属进行检测,根据单因子污染指数法,计算出各个单因子污染指数P(表5),检测结果分析表明(表6),铅、镉、砷的检出率为100%,但测定值均未超过限量标准,超标率均为0;测试黄芩样品

中铅、镉、汞、砷的 P_i 均小于1,表明黄芩样品未受到铅、镉、汞、砷污染;在各单因子污染指数中的最大值 P_{max} 为0.200,所有单因子污染指数的平均值 P_{ave} 为0.050 6,黄芩样品中重金属铅、镉、汞、砷的综合污染指数 $P_{综合}$ 为0.145 9<0.7,污染程度为安全。

表5 远志筒样品重金属含量及其污染指数
Tab.5 Heavy metal content and pollution index of *Polygalae radix* tube samples

样品编号 Sample number	测定值/(mg/kg) Measured value				单因子污染指数 Single pollution index			
	Pb	Cd	Hg	As	Pb	Cd	Hg	As
YZ-01	0.89	0.061	0.002	0.638	0.178	0.061	0.01	0.319 0
YZ-02	0.99	0.073	0.002	0.671	0.198	0.073	0.01	0.335 5
YZ-03	0.69	0.054	0.002	0.493	0.138	0.054	0.01	0.246 5
YZ-04	1.04	0.076	0.0031	0.623	0.208	0.076	0.0155	0.311 5

续表 5 远志筒样品重金属含量及其污染指数
Tab.5(Continued) Heavy metal content and pollution index of *Polygalae radix* tube sample

样品编号 Sample number	测定值/(mg/kg) Measured value				单因子污染指数 Single pollution index			
	Pb	Cd	Hg	As	Pb	Cd	Hg	As
YZ-05	0.73	0.058	0.002	0.342	0.146	0.058	0.01	0.171 0
YZ-06	1.04	0.065	0.002	0.662	0.208	0.065	0.01	0.331 0
YZ-07	1.18	0.062	0.0033	0.891	0.236	0.062	0.0165	0.445 5
YZ-08	0.99	0.055	0.002	0.593	0.198	0.055	0.01	0.296 5
YZ-09	0.93	0.073	0.002	0.660	0.186	0.073	0.01	0.330 0
YZ-10	0.96	0.063	0.002	0.619	0.192	0.063	0.01	0.309 5
YZ-11	1.00	0.062	0.002	0.679	0.200	0.062	0.01	0.339 5
YZ-12	0.96	0.056	0.002	0.702	0.192	0.056	0.01	0.351 0
YZ-13	0.29	0.037	0.002	0.151	0.058	0.037	0.01	0.075 5
YZ-14	0.84	0.045	0.002	0.596	0.168	0.045	0.01	0.298 0
YZ-15	1.18	0.070	0.0066	0.708	0.236	0.070	0.0330	0.354 0
YZ-16	1.35	0.099	0.002	0.895	0.270	0.099	0.01	0.447 5
YZ-17	0.86	0.087	0.002	0.586	0.172	0.087	0.01	0.293 0
YZ-18	1.44	0.116	0.002	0.775	0.288	0.116	0.01	0.387 5
YZ-19	1.14	0.069	0.002	0.756	0.228	0.069	0.01	0.378 0
YZ-20	0.73	0.066	0.002	0.453	0.146	0.066	0.01	0.226 5
YZ-21	0.82	0.063	0.002	0.513	0.164	0.063	0.01	0.256 5

表 6 远志筒(根皮)样品重金属检测结果分析
Tab.6 Analysis of heavy metal detection results of *Polygalae radix* tube(root skin) samples

指标 Index	Pb	Cd	Hg	As	指标 Index	Pb	Cd	Hg	As
检出样品数/个 The number of samples detected	21	21	3	22	最大值/(mg/kg) Maximum value	1.440 0	0.116 0	0.006 6	0.895 0
检出率/% Detection rate	100	100	14.29	100	限量标准/(mg/kg) Limit standard	5.0	1.0	0.2	2.0
平均值/(mg/kg) Average value	0.954 3	0.067 1	0.004 3	0.619 0	超标率/% Over-standard rate	0	0	0	0

2.1.3 远志未抽梗(干燥根)样品 对与远志筒(根皮)样品相对应的未抽梗 10 份样品中铅、镉、汞、砷等 4 种重金属进行了检测,结果表明(表 7),虽然铅、镉、砷的检出率为 100%,但超标率为 0。铅、镉、砷的平均值分别为限量标准的 19.53%、7.11%、31.92%,铅、镉、砷的最大值分别为限量标准的 23.8%、9.0%、39.4%;汞的检出率为 10%,超标率为 0,平均值、最大值均为限量标准的 1%。

2.1.4 远志未抽梗样品与远志筒(根皮)样品重金属含量比较分析 通过对远志未抽梗样品与远志筒(根皮)样品重金属含量比较分析(表 8),远志筒(根皮)样品与远志未抽梗样品中重金属铅、镉、汞、砷含量平均值的百分数分别为 92.56%、87.62%、70%、91.69%,由此可见,远志中重金属铅、镉、汞、砷主要分布在远志筒(根皮)中。

表 7 远志未抽梗(干燥根)样品重金属检测结果分析
Tab.7 Analysis of detection results of heavy metals in the samples of *Polygalae radix*(dry root)

指标 Index	Pb	Cd	Hg	As	指标 Index	Pb	Cd	Hg	As
检出样品数/个 The number of samples detected	10	10	1	10	最大值/(mg/kg) Maximum value	1.190	0.090	0.002	0.788
检出率/% Detection rate	100	100	10	100	限量标准/(mg/kg) Limit standard	5.0	1.0	0.2	2.0
平均值/(mg/kg) Average value	0.976 7	0.071 1	0.002 0	0.638 3	超标率/% Over-standard rate	0	0	0	0

表8 远志未抽梗样品与远志筒(根皮)样品重金属含量比较
 Tab.8 Comparison of heavy metal content between the samples of *Polygalae radix* (dry root) and the samples of *Polygalae radix* tube (root skin)

样品编号 Sample number	远志未抽梗样品 Samples of <i>Polygalae radix</i> (dry root)				相对应远志筒(根皮)样品 Samples of <i>Polygalae radix</i> tube (root skin)			
	Pb	Cd	Hg	As	Pb	Cd	Hg	As
YZ-1	0.97	0.062	0.002	0.788	0.89	0.061	0.002	0.638
YZ-2	1.04	0.072	0.002	0.735	0.99	0.073	0.002	0.671
YZ-4	1.19	0.080	0.002	0.727	1.04	0.076	0.002	0.623
YZ-5	0.92	0.079	0.002	0.590	0.73	0.058	0.002	0.342
YZ-6	1.03	0.074	0.002	0.774	1.04	0.065	0.002	0.662
YZ-7	1.01	0.072	0.002	0.766	1.18	0.062	0.0033	0.891
YZ-8	1.08	0.058	0.002	0.646	0.99	0.055	0.002	0.593
YZ-9	1.06	0.090	0.002	0.553	0.93	0.073	0.002	0.660
YZ-10	0.99	0.086	0.002	0.627	0.96	0.063	0.002	0.619
YZ-13	0.46	0.038	0.002	0.176	0.29	0.037	0.002	0.151
平均值 Mean	0.976 7	0.071 1	0.002	0.638 3	0.904	0.062 3	0.003 3	0.585

2.1.5 黄芩、远志样品重金属污染差异显著性分析 利用Excel对黄芩、远志样品铅、镉、汞、砷等4种重金属污染进行差异显著性分析。将黄芩、远志样品相对应的铅、镉、汞、砷等4种重金属检测数据(表3、5)输入Excel软件,经计算得出4种重金属相应的显著性P。若 $P < 0.01$,为差异极显著;若 $0.01 < P < 0.05$,则是差异显著;若 $P > 0.05$,则是差异不显著。结果表明(表9),黄芩、远志样品铅、镉、

汞、砷等4种重金属P值均大于0.05,为差异不显著。这可能与黄芩、远志均为多年生根类药材以及样品采自同一种植区域(晋南峨眉岭一带)有关。

2.2 土壤样品重金属检测结果与安全性评价

对29份种植黄芩和远志土壤样品中铅、镉、汞、砷等4种重金属进行了检测,结果表明(表9),铅、镉、汞、砷的检出率均为100%。

表9 土壤样品各重金属含量及其污染指数
 Tab.9 The content of heavy metals in soil samples and their pollution index

样品编号 Sample number	测定值/(mg/kg) Measured value				单因子污染指数 Single pollution index			
	Pb	Cd	Hg	As	Pb	Cd	Hg	As
YZ-01-t	22.2	0.166	0.092	13.5	0.041 9	0.000 437	0.009 2	0.245 5
YZ-02-t	22.6	0.169	0.076	13.6	0.042 6	0.000 445	0.007 6	0.247 3
YZ-03-t	21.4	0.137	0.030	14.2	0.040 4	0.000 361	0.003 0	0.258 2
YZ-04-t	28.4	0.226	0.078	14.3	0.053 6	0.000 595	0.007 8	0.260 0
YZ-05-t	25.2	0.167	0.093	14.2	0.047 5	0.000 439	0.009 3	0.258 2
YZ-06-t	24.5	0.174	0.096	13.6	0.046 2	0.000 458	0.009 6	0.247 3
YZ-07-t	23.9	0.185	0.068	13.4	0.045 1	0.000 487	0.006 8	0.243 6
YZ-08-t	23.1	0.146	0.056	13.4	0.043 6	0.000 384	0.005 6	0.243 6
YZ-09-t	22.2	0.168	0.054	12.9	0.041 9	0.000 442	0.005 4	0.234 5
YZ-13-t	25.2	0.170	0.086	15.0	0.047 5	0.000 447	0.008 6	0.272 7
YZ-14-t	24.1	0.185	0.055	13.3	0.045 5	0.000 487	0.005 5	0.241 8
YZ-17-t	21.9	0.174	0.032	11.3	0.041 3	0.000 458	0.003 2	0.205 5
HQ-01-t	21.5	0.150	0.083	13.5	0.040 6	0.000 395	0.008 3	0.245 5
HQ-02-t	20.4	0.138	0.115	13.5	0.038 5	0.000 363	0.011 5	0.245 5
HQ-03-t	22.4	0.148	0.097	14.3	0.042 3	0.000 389	0.009 7	0.260 0
HQ-04-t	27.6	0.183	0.138	14.7	0.052 1	0.000 482	0.013 8	0.267 3

续表 9 土壤样品各重金属含量及其污染指数
Tab.9(Continued) The content of heavy metals in soil samples and their pollution index

样品编号 Sample number	测定值/(mg/kg) Measured value				单因子污染指数 Single pollution index			
	Pb	Cd	Hg	As	Pb	Cd	Hg	As
HQ—05—t	26.8	0.140	0.069	14.5	0.050 6	0.000 368	0.006 9	0.263 6
HQ—06—t	23.1	0.139	0.168	13.4	0.043 6	0.000 366	0.016 8	0.243 6
HQ—07—t	22.9	0.135	0.060	13.5	0.043 2	0.000 355	0.006 0	0.245 5
HQ—08—t	23.8	0.142	0.077	13.6	0.045 0	0.000 374	0.007 7	0.247 3
HQ—09—t	24.6	0.134	0.073	14.4	0.046 4	0.000 353	0.007 3	0.261 8
HQ—10—t	24.2	0.140	0.046	12.6	0.045 7	0.000 368	0.004 6	0.229 1
HQ—11—t	24.2	0.142	0.082	14.9	0.045 7	0.000 374	0.008 2	0.270 9
HQ—12—t	24.1	0.185	0.055	13.3	0.045 5	0.000 487	0.005 5	0.241 8
HQ—13—t	25.7	0.139	0.110	13.7	0.048 5	0.000 366	0.011 0	0.249 1
HQ—15—t	25.3	0.130	0.097	15.0	0.047 7	0.000 342	0.009 7	0.272 7
HQ—16—t	22.1	0.163	0.058	13.1	0.041 7	0.000 429	0.005 8	0.238 2
HQ—20—t	26.8	0.165	0.075	14.2	0.050 6	0.000 434	0.007 5	0.258 2
HQ—22—t	24.5	0.164	0.096	13.4	0.046 2	0.000 432	0.0096	0.243 6

依据污染指数法评价土壤中重金属污染的风险程度。评价标准采用《全国土壤污染状况评价技术规范》中重点区域土壤污染评价参考值(除蔬菜地外)中Pb、Cd、Hg、As的参考值作为评价标准值。其中,Pb参考值为530 mg/kg,Cd参考值为380 mg/kg,Hg参考值为10 mg/kg,As参考值为55 mg/kg。

测试土样中铅、镉、汞、砷的 P_i 均小于1,表明黄芩样品未受到铅、镉、汞、砷污染; P_{max} 为0.272 7, P_{ave} 为0.075 8, $P_{综合}=0.200 1$,小于0.7,污染程度为安全。

依据《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(试行)》(GB 15618—2018)评价土壤中重金属污染的风险程度。土壤重金属污染程度与土壤pH值有密切关系。经对土壤样品pH值的测定,平均pH值为8.34,最大pH值为8.58,所有样品的pH值均大于7.5,风险筛选值和管制值均取pH值大于7.5的数据,铅、镉、汞、砷等4种重金属的检测平均值、最大值均低于相应的污染风险筛选值及污染风险管制值(表10)。项目区土壤重金属污染总体处于安全水平。

表 10 土壤各重金属含量及污染风险分析
Tab.10 Analysis of soil heavy metal content and pollution risk

指标 Index	Pb	Cd	Hg	As
检出样品数/个 The number of samples detected	22	22	22	22
检出率/% Detection rate	100	100	100	100
平均值/(mg/kg) Average value	25.988 4	0.172 4	0.079 7	13.761 4
最大值/(mg/kg) Maximum value	37.2	0.404	0.168	15.0
污染风险筛选值/(mg/kg) Pollution risk screening value	170	0.6	3.4	25
污染风险管制值/(mg/kg) Pollution risk control value	1000	4.0	6.0	100
土壤污染风险 Soil pollution risk	较低	较低	较低	低

2.3 土壤中潜在的主要重金属污染分析

根据综合污染指数贡献率(土壤中某重金属污染物的单项污染指数除以全部重金属的单项污染指数总和)判断。综合污染指数贡献率越高,表明该污染物在土壤环境综合污染评价中越占主导作

用。从表 11 可以看出,测试土样铅、镉、汞、砷的平均综合污染指数贡献率分别为14.910%、0.138%、2.606%、82.316%。表明研究区土壤重金属的主要潜在污染物为砷,其次为铅,镉的平均污染贡献率最小。

表 11 土壤重各金属的综合污染指数贡献率
 Tab. 11 Comprehensive pollution index contribution rate of soil heavy metals

%

样品编号 Sample number	综合污染指数贡献率 Contribution rate of comprehensive pollution index				样品编号 Sample number	综合污染指数贡献率 Contribution rate of comprehensive pollution index			
	Pb	Cd	Hg	As		Pb	Cd	Hg	As
YZ-01-t	14.106	0.147	3.097	82.650	HQ-04-t	15.614	0.144	4.136	80.106
YZ-02-t	14.298	0.149	2.551	83.002	HQ-05-t	15.741	0.114	2.146	81.999
YZ-03-t	13.380	0.120	0.994	85.506	HQ-06-t	14.325	0.120	5.520	80.035
YZ-04-t	16.646	0.185	2.422	80.747	HQ-07-t	14.641	0.120	2.034	83.205
YZ-05-t	15.058	0.139	2.948	81.855	HQ-08-t	14.981	0.125	2.563	82.331
YZ-06-t	15.219	0.151	3.162	81.468	HQ-09-t	14.690	0.112	2.311	82.887
YZ-07-t	15.237	0.165	2.297	82.301	HQ-10-t	16.335	0.132	1.644	81.889
YZ-08-t	14.871	0.131	1.910	83.088	HQ-11-t	14.054	0.114	2.522	83.310
YZ-09-t	14.845	0.157	1.913	83.085	HQ-12-t	15.514	0.166	1.875	82.445
YZ-13-t	14.427	0.136	2.612	82.825	HQ-13-t	15.689	0.118	3.560	80.624
YZ-14-t	15.514	0.166	1.875	82.445	HQ-15-t	14.435	0.104	2.935	82.526
YZ-17-t	16.490	0.183	1.278	82.049	HQ-16-t	14.574	0.150	2.027	83.249
HQ-01-t	13.772	0.134	2.816	83.278	HQ-20-t	15.976	0.137	2.236	81.519
HQ-02-t	13.013	0.123	3.887	82.278	HQ-22-t	15.409	0.144	3.202	81.245
HQ-03-t	13.541	0.125	3.105	83.229	平均值 Mean	14.910	0.138	2.606	82.316

3 结论与讨论

本研究表明,项目区土壤重金属污染总体处于安全水平,黄芩、远志等中药材重金属污染程度为安全,生态环境保持良好,是比较理想的中药材种植基地。

本研究检测分析了山西主产区黄芩、远志中重金属的实际污染情况,限量标准采用《中国药典》2020年版四部中的具体数据作为参照。结果表明,所有被检测的黄芩、远志样品中重金属含量均未超过其限量标准。虽然2种中药材样品中所测Pb、Cd、Hg、As的浓度均小于《中国药典》规定的中药材限量标准值,但其潜在的致癌风险不仅仅与中药材所含浓度有关,还与日摄入量、摄入年限、暴露频率等多因素共同作用^[12]。对中药材重金属污染的评价,本研究仅从实际测量的现时角度进行了分析,长期摄入的潜在风险还有待进一步研究。

控制种植土壤重金属的含量是有效防控中药材重金属污染的关键。韩旭等^[13]研究了产地土壤中及药用植物中重金属含量之间的关系,发现土壤中重金属及有害物质的含量越高,药用植物中重金属有害物质超标越严重。田伟等^[14]研究表明,黄芩药材中重金属含量与其在土壤中含量呈较强的正相关性。可见,控制种植土壤重金属的含量是有效防控中药材重金属污染的关键。在选择中药材生产基地时,土壤中重金属含量必须小于污染限值才

能确保生产的药材不受重金属污染。

加强种植中药材土壤中潜在的重金属污染物砷的管控。项目区种植黄芩、远志土壤样品中砷的检测平均值、最大值已分别达到其污染风险筛选值的55.05%、60%,砷的平均综合污染指数贡献率达到82.3%,具有潜在的污染风险。砷为全国土壤重金属污染物中的首要污染物^[15],农业生产过程中使用农药和磷肥是土壤砷的一个重要来源,长期施用磷肥会使土壤中富集砷。另外,牲畜养殖中常用多种含砷化合物,如洛克沙肿等作为饲料添加剂,该类添加剂经动物代谢后产生含砷化合物及粪便经农用释放进入土壤^[16]。

中药材重金属污染易受到生产过程中环境的影响,种植过程中应管理外界环境和合理使用投入品^[17]。中药材生产管理规范是中药质量安全控制的第一步^[18],而栽培中药材品质与栽培模式相关^[19],其中中药材生态种植具有提高中药材质量和安全性的显著优势^[20]。

因此,在中药材生产中,一是要强化中药材生产投入品管理,严禁滥用农药、化肥、生长调节剂等,规范生产过程并实时监控,科学合理施用农药,推广病虫害生物防治技术,倡导种植模式生态化;二是要加强中药材专用肥的研制及推广应用,控制因施肥造成砷的富集;三是加强对药农的科技培训,将中药材生产技术及管理培训纳入新型职业农民培训范围,提升中药材生产专业化水平。

参考文献:

- [1] 李晓霞. 山西省几种道地药材野生抚育技术研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2012.
LI X X. Study on wild tending of genuine Chinese herbs in Shanxi province[D]. Yangling: Northwest A & F University, 2012.
- [2] 冀宪武, 刘枫, 何燕. 山西省中药材产业发展现状及对策研究[J]. 山西科技, 2019, 34(1): 1-3, 8.
JI X W, LIU F, HE Y. Research on development status and countermeasures of traditional Chinese medicine production in Shanxi province[J]. Shanxi Science and Technology, 2019, 34(1): 1-3, 8.
- [3] 王福, 陈士林, 刘友平, 等. 我国中药材种植产业进展与展望[J]. 中国现代中药, 2023, 25(6): 1163-1171.
WANG F, CHEN S L, LIU Y P, et al. Advances and prospects of Chinese herbal medicine planting industry in China[J]. Modern Chinese Medicine, 2023, 25(6): 1163-1171.
- [4] 何畅. 从英国禁令分析中药出口欧盟的重金属超标问题及对策[J]. 中草药, 2016, 47(10): 1820-1824.
HE C. Analysis on excessive heavy metal problem of Chinese materia Medica exports to EU from perspective of UK ban[J]. Chinese Traditional and Herbal Drugs, 2016, 47(10): 1820-1824.
- [5] 鄢星, 魏惠珍, 朱益雷, 等. 中药重金属研究概述[J]. 江西中医药大学学报, 2017, 29(5): 116-120.
YAN X, WEI H Z, ZHU Y L, et al. Summary of research on heavy metals in traditional Chinese medicine[J]. Journal of Jiangxi University of Traditional Chinese Medicine, 2017, 29(5): 116-120.
- [6] 舒茜, 邹俊怡, 孙辉. 中药材重金属风险与产地环境质量控制[J]. 四川环境, 2019, 38(6): 169-174.
SHU X, ZOU J Y, SUN H. Risks of heavy metals in traditional Chinese medicine materials and environment quality control of production location[J]. Sichuan Environment, 2019, 38(6): 169-174.
- [7] 王书林. 中药材GAP概论[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
WANG S L. Introduction to GAP of Chinese herbal medicine [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 2004.
- [8] 王爱霞, 方炎明. 空气重金属元素在悬铃木叶中的亚细胞分布及其区隔化效应[J]. 西北植物学报, 2011, 31(3): 479-485.
WANG A X, FANG Y M. Subcellular distribution and compartmentalization effects of heavy metal elements from atmosphere in *Platanus hispanica*[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2011, 31(3): 479-485.
- [9] 张爱琛, 杨月, 刘建伟, 等. 基于健康风险评价的种植黄芩中重金属的安全限值研究[J]. 生态环境学报, 2019, 28(3): 587-594.
ZHANG A C, YANG Y, LIU J W, et al. Study on safety limits of heavy metals in planted *Scutellaria baicalensis* Georgi based on health risk assessment[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2019, 28(3): 587-594.
- [10] 国家药典委员会. 中华人民共和国药典-四部[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 2020.
National Pharmacopoeia Commission. Pharmacopoeia of the People's Republic of China-part IV[M]. Beijing: The press of China Medical Science and Technology, 2020.
- [11] 刘德成, 李玉倩, 郑纯静, 等. 土壤重金属污染风险评价方法对比研究[J]. 河北农业科学, 2020, 24(4): 89-95.
LIU D C, LI Y Q, ZHENG C J, et al. Comparative study on risk assessment methods of heavy metal pollution in soil[J]. Journal of Hebei Agricultural Sciences, 2020, 24(4): 89-95.
- [12] 张松, 刘晓媛, 吴迪. 6种药食同源中药材重金属及健康风险评估[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版), 2020, 38(6): 33-38.
ZHANG S, LIU X Y, WU D. Heavy metal and health risk assessment of six edible traditional Chinese Herbal medicine[J]. Journal of Guizhou Normal University(Natural Sciences), 2020, 38(6): 33-38.
- [13] 韩旭, 骆骄阳, 杨美华, 等. 中药饮片重金属与有害元素残留现状及防控措施[J]. 世界中医药, 2015, 10(8): 1152-1156, 1162.
HAN X, LUO J Y, YANG M H, et al. The present situation of Chinese herbal pieces with heavy metals and harmful elements and the control measures[J]. World Chinese Medicine, 2015, 10(8): 1152-1156, 1162.
- [14] 田伟, 谢晓亮, 温春秀, 等. 黄芩对土壤中重金属吸收规律的研究[J]. 河北林果研究, 2007, 22(1): 15-18.
TIAN W, XIE X L, WEN C X, et al. Study on the absorption of heavy metals by *Scutellaria baicalensis* in soils[J]. Hebei Journal of Forestry and Orchard Research, 2007, 22(1): 15-18.
- [15] 刘秉志, 郑晓玉. 砷与人体健康[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2007, 22(4): 436-438.
LIU B Z, ZHENG X Y. Arsenic and human health[J]. Journal of Inner Mongolia University for Nationalities, 2007, 22(4): 436-438.
- [16] 曾希柏, 苏世鸣, 吴翠霞, 等. 农田土壤中砷的来源及调控研究与展望[J]. 中国农业科技导报, 2014, 16(2): 85-91.
ZENG X B, SU S M, WU C X, et al. Research and prospect of arsenic source and its regulation in arable land soil[J]. Journal of Agricultural Science and Technology, 2014, 16(2): 85-91.
- [17] 沈燕, 仲建锋, 黄亚威, 等. 植物类中药材生产过程中质量安全研究进展[J]. 江苏农业学报, 2022, 38(1): 268-277.
SHEN Y, ZHONG J F, HUANG Y W, et al. Advances in the quality and safety of Chinese herbal medicines in the producing process[J]. Jiangsu Journal of Agricultural Sciences, 2022, 38(1): 268-277.
- [18] 张文晋, 曹也, 张燕, 等. 中药材GAP基地建设现状及发展策略[J]. 中国中药杂志, 2021, 46(21): 5555-5559.
ZHANG W J, CAO Y, ZHANG Y, et al. Construction status and development strategy of GAP bases for Chinese herbal medicine[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2021, 46(21): 5555-5559.
- [19] 王亚鹏, 袁长胜, 钱锦秀, 等. 野生与栽培中药材品质对比的研究进展与相关建议[J]. 中国实验方剂学杂志, 2024, 30(1): 1-20.
WANG Y P, YUAN C S, QIAN J X, et al. Reviews and recommendations in comparative studies on quality of wild and cultivated Chinese crude drugs[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2024, 30(1): 1-20.
- [20] 万修福, 杨野, 康传志, 等. 林草中药材生态种植现状分析及展望[J]. 中国现代中药, 2021, 23(8): 1311-1318.
WAN X F, YANG Y, KANG C Z, et al. Current situation and future perspectives of ecological planting of Chinese medicinal plants in forests and grasslands[J]. Modern Chinese Medicine, 2021, 23(8): 1311-1318.