

引用:匡创富,张年,梁雪娟,龚年春,王艾琳,刘小丽,彭艳梅.杜仲叶中重金属污染分析[J].中医药导报,2025,31(3):89-94.

# 杜仲叶中重金属污染分析\*

匡创富<sup>1,2</sup>,张 年<sup>3</sup>,梁雪娟<sup>2</sup>,龚年春<sup>2</sup>,王艾琳<sup>1</sup>,刘小丽<sup>1</sup>,彭艳梅<sup>2</sup>

(1.湖南中医药大学第二附属医院,湖南 长沙 410005;

2.湖南省中医药研究院,湖南 长沙 410006;

3.湖南中医药大学第一附属医院,湖南 长沙 410007)

**[摘要]** 目的:测定湖南省内不同地区杜仲叶中重金属含量,并对其进行健康风险评估,为杜仲叶的质量控制提供参考。方法:参考2020年版《中华人民共和国药典》方法测定杜仲叶样品中重金属含量,利用每日最大可耐受摄入量(EDI)、靶标危害系数(THQ)和致癌风险(CR)评估模型进行健康风险评估,同时考察杜仲叶中重金属与产地土壤中重金属之间的关系。结果:30批杜仲叶中有1批样品的铅含量不符合《中华人民共和国药典》的限量标准。杜仲叶中镉和铅元素的富集与土壤中镉和铅元素有一定的相关性。EDI和CR的结果未发现明显健康风险,THQ结果显示有10批杜仲叶存在潜在健康风险。结论:杜仲叶基本上符合限量标准,但个别产地杜仲叶重金属存在污染情况,应针对性进行重金属污染治理,以保证杜仲叶的用药安全。

**[关键词]** 杜仲叶;食药物物质;重金属;健康风险评估

**[中图分类号]** R284.1 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1672-951X(2025)03-0089-06

DOI:10.13862/j.cn43-1446/r.2025.03.015

Analysis of Heavy Metal Pollution in Duzhong (*Eucommia Ulmoides*) Leaves

KUANG Chuangfu<sup>1,2</sup>, ZHANG Nian<sup>3</sup>, LIANG Xuejuan<sup>2</sup>, GONG Nianchun<sup>2</sup>, WANG Ailin<sup>1</sup>,

LIU Xiaoli<sup>1</sup>, PENG Yanmei<sup>2</sup>

(1.The Second Affiliated Hospital of Hunan University of Chinese Medicine, Changsha Hunan 410005, China;

2.Hunan Academy of Chinese Medicine, Changsha Hunan 410006, China; 3.The First Hospital of Hunan University of Chinese Medicine, Changsha Hunan 410007, China)

**[Abstract]** Objective: To determine the heavy metal content in Duzhong (*Eucommia ulmoides*) leaves from different regions in Hunan Province and conduct a health risk assessment, providing a reference for the quality control of Duzhong (*Eucommia ulmoides*) leaves. Methods: The heavy metal content in Duzhong (*Eucommia ulmoides*) leaf samples were measured according to the 2020 edition of the *Pharmacopoeia of the People's Republic of China*. Health risk assessment was performed using the estimated daily intake (EDI), target hazard quotient (THQ), and carcinogenic risk (CR) models. The relationship between heavy metals in Duzhong (*Eucommia ulmoides*) leaves and those in the soil of their production areas were also investigated. Results: Among 30 batches of Duzhong (*Eucommia ulmoides*) leaves, the lead content in one batch did not meet the limit standards specified in the *Pharmacopoeia of the People's Republic of China*. The enrichment of cadmium and lead in Duzhong (*Eucommia ulmoides*) leaves showed some correlation with the cadmium and lead content in the soil. The EDI and CR results indicated no significant health risks, while the THQ results suggested potential health risks in 10 batches of Duzhong (*Eucommia ulmoides*) leaves. Conclusion: Duzhong (*Eucommia*) ulmoides leaves generally comply with the limit standards, however, certain production areas exhibit contamination with heavy metals. Targeted heavy metal pollution control measures should be implemented to ensure the safety of Duzhong (*Eucommia ulmoides*) leaves for medicinal use.

**[Keywords]** Duzhong (*Eucommia ulmoides*) leaves; edible and medicinal substance; heavy metals; health risk assessment

\*基金项目:国家自然科学基金项目(81903746);湖南省重点研发计划项目(2021SK2007);湖南省中医药科研计划重点项目(A2023005);国家卫生健康委员会食品安全标准与监测评估司食药物物质试点工作转归政策研究项目

通信作者:彭艳梅,女,研究员,研究方向为中药新药研究与保健食品开发

杜仲叶为杜仲科植物杜仲*Eucommia ulmoides* Oliv.的干燥叶,能补肝肾,强筋骨<sup>[1]</sup>。研究表明,杜仲叶主要成分为木脂素、酚类、黄酮类、环烯醚萜、类固醇、多糖、萜烯、脂肪酸和挥发油等,有降血压、抗骨质疏松症、降血糖、降血脂、调节免疫、抗氧化、抗肿瘤、抗菌、预防肥胖等作用。2023年11月,国家卫生健康委员会、市场监管总局联合下发通知,将党参、杜仲叶等9种物质纳入食药物质目录<sup>[2]</sup>。随着大健康产业的发展,食药物质越来越受到重视,外源性有害污染物问题也日益突出<sup>[3]</sup>。重金属是外源性有害污染物的主要监测指标之一<sup>[10-13]</sup>。长期食用含重金属的杜仲叶会影响身体健康,导致身体和肌肉等系统的退化,可能引发硬化症、阿尔茨海默病和肌肉萎缩症,甚至存在致癌风险<sup>[14]</sup>。

近年来,关于杜仲叶的研究多集中于化学成分和药理作用等方面,对杜仲叶中外源性有害残留物进行系统研究的报道较少。本研究检测和分析了杜仲叶中重金属含量,并评估了其健康风险,旨在为杜仲叶的质量控制和安全风险评估提供依据。

## 1 材 料

1.1 主要仪器 ICP-MS Plasma MS 300电感耦合等离子体质谱仪(钢研纳克检测技术股份有限公司);屹尧TOPEX+微波消解仪(上海屹尧仪器科技发展有限公司);QUINTIX224-1CN万分之一电子天平(德国赛多利斯集团);H150石墨消解器(湖南昊德仪器设备有限公司)。

1.2 主要试剂 铅(Pb)、镉(Cd)、砷(As)、汞(Hg)、锗(Ge)、铟(In)、铋(Bi)标准溶液(1 000 mg/L),购自钢研纳克检测技术股份有限公司;纯硝酸为优级纯,购自国药集团化学试剂股份有限公司。

1.3 实验样品 (1)杜仲叶均采集于湖南省各食药物质的主产区,经湖南省中医药研究院刘浩副研究员鉴定均为正品。杜仲叶样品信息见表1。(2)土壤样品(8批)。土壤样品与8批杜仲叶样品(DZY-23~DZY-30)对应采集。采集后,将土壤样品混匀,筛选掉杂质,干燥,过100目筛,备用。土壤样品信息见表2。

表1 杜仲叶样品信息

食药物质	批号	产地	食药物质	批号	产地
杜仲叶	DZY-1	湖南省张家界市慈利县	杜仲叶	DZY-16	湖南省怀化市靖州县
杜仲叶	DZY-2	湖南省张家界市慈利县	杜仲叶	DZY-17	湖南省怀化市沅陵县
杜仲叶	DZY-3	湖南省张家界市慈利县	杜仲叶	DZY-18	湖南省怀化市沅陵县
杜仲叶	DZY-4	湖南省长沙市宁乡市	杜仲叶	DZY-19	湖南省怀化市沅陵县
杜仲叶	DZY-5	湖南省长沙市宁乡市	杜仲叶	DZY-20	湖南省怀化市沅陵县
杜仲叶	DZY-6	湖南省长沙市宁乡市	杜仲叶	DZY-21	湖南省怀化市靖州县
杜仲叶	DZY-7	湖南省长沙市宁乡市	杜仲叶	DZY-22	湖南省郴州市安仁县
杜仲叶	DZY-8	湖南省长沙市宁乡市	杜仲叶	DZY-23	湖南省张家界市慈利县
杜仲叶	DZY-9	湖南省张家界市慈利县	杜仲叶	DZY-24	湖南省郴州市安仁县
杜仲叶	DZY-10	湖南省张家界市慈利县	杜仲叶	DZY-25	湖南省衡阳市珠晖区
杜仲叶	DZY-11	湖南省怀化市沅陵县	杜仲叶	DZY-26	湖南省张家界市慈利县
杜仲叶	DZY-12	湖南省怀化市沅陵县	杜仲叶	DZY-27	湖南省张家界市慈利县
杜仲叶	DZY-13	湖南省怀化市靖州县	杜仲叶	DZY-28	湖南省娄底市新化县
杜仲叶	DZY-14	湖南省怀化市靖州县	杜仲叶	DZY-29	湖南省邵阳市武冈市
杜仲叶	DZY-15	湖南省怀化市靖州县	杜仲叶	DZY-30	湖南省邵阳市武冈市

表2 杜仲叶及其产地土壤样品信息表

样品名	批号	样品	土壤批号	产地	经度/(°)	纬度/(°)
杜仲叶	DZY-23	土壤	DZY-23-土	湖南省张家界市慈利县	111.04	29.55
杜仲叶	DZY-24	土壤	DZY-24-土	湖南省郴州市安仁县	111.17	27.54
杜仲叶	DZY-25	土壤	DZY-25-土	湖南省衡阳市珠晖区	112.62	26.89
杜仲叶	DZY-26	土壤	DZY-26-土	湖南省张家界市慈利县	111.13	29.42
杜仲叶	DZY-27	土壤	DZY-27-土	湖南省张家界市慈利县	111.13	29.42
杜仲叶	DZY-28	土壤	DZY-28-土	湖南省娄底市新化县	111.32	27.72
杜仲叶	DZY-29	土壤	DZY-29-土	湖南省邵阳市武冈市	110.63	26.72
杜仲叶	DZY-30	土壤	DZY-30-土	湖南省邵阳市武冈市	110.63	26.72

## 2 方法与结果

2.1 ICP-MS的工作参数 等离子体射频功率为1 550 W,冷却气流速为14 mL/min,辅助气(氦气)流速为0.776 mL/min,雾化气流速为1.075 mL/min,样品重复3次,雾化室温度为2.5 °C,测量模式为碰撞池模式(KED),进样泵转速为40 r/min,驻留时间为0.1 s。

2.2 标准品溶液的制备 精密量取铅、砷、镉标准品贮备液适量,用10%硝酸溶液稀释制成每1 mL含铅0.0 ng、1.0 ng、5.0 ng、10.0 ng、20.0 ng,含砷0.0 ng、1.0 ng、5.0 ng、10.0 ng、20.0 ng含镉0.0 ng、0.5 ng、2.5 ng、5.0 ng、10.0 ng系列浓度混合溶液。另精密量取汞标准品贮备液适量,用10%硝酸溶液稀释制成每1 mL分别含汞0.0 ng、0.2 ng、0.5 ng、1.0 ng、2.0 ng、5.0 ng的溶液。另精密量取锗、铟、铋单元素标准溶液,用水稀释制成浓度分别为1 μg/mL的混合内标溶液。

2.3 杜仲叶样品溶液的制备 取杜仲叶样品于60 °C干燥2 h,取约0.5 g,精密称定,置耐压耐高温微波消解罐中,加硝酸6 mL,密闭,放入微波消解仪中消解(0~5 min,功率升至800 W;5~10 min,800 W;10~15 min,升至1 400 W;15~35 min,1 400 W)。消解完全后,消解液冷却至60 °C以下,取出消解罐,放冷,转移至50 mL量瓶中,去离子水稀释至刻度即得。同法不加样品做空白对照。

## 2.4 方法

2.4.1 线性关系考察 取“2.3”项下的溶液,在“2.1”项下条件测定,计算标准曲线,取空白溶液,同条件下连续测定10次,以各元素信号相应值标准偏差的3倍所对应的质量浓度作为检出限,结果见表3。各元素在各自的线性范围内线性关系良好( $R^2=0.997\sim0.9999$ ),说明方法准确可靠。

表3 杜仲叶样品各元素线性关系、检测限

元素	回归方程	R <sup>2</sup>	线性范围/(μg/L)	检测限/(μg/L)
As	Y=5 466.66X+596.90	0.9999	0~20	0.0032
Cd	Y=12 685.09X+352.59	0.9998	0~20	0.0016
Hg	Y=6 082.46X+89.09	0.9971	0~5	0.0016
Pb	Y=24 147.84X+25 626.45	0.9985	0~20	0.0148

2.4.2 精密度试验 分别取“2.2”项下Pb、Cd、As、Hg标准溶液连续测定6次,计算各元素浓度的RSD。结果显示Pb、Cd、As、Hg浓度测定值RSD为1.24%~1.95%,表明仪器精密度良好。

2.4.3 重复性试验 取DZY-1杜仲叶样品约0.5 g,精密称定,共6份,按照“2.3”项下方法处理,计算供试品中待测元素含量及RSD。结果显示Pb、Cd、As、Hg四种元素的RSD为1.71%~3.85%,表明方法重复性良好。

2.4.4 稳定性试验 取DZY-1杜仲叶样品,分别于0、3、6、9、12、24 h进样,计算供试品中待测元素的含量及 $RS\%_{DZY}$ 。Pb、Cd、As、Hg这4种元素的 $RS\%$ 为2.4%~4.8%。表明杜仲叶供试品溶液在24 h内比较稳定。

2.5 杜仲叶中重金属含量检测 30批杜仲叶中砷、镉、汞、铅的检出率均为100%。(见表4、图1)。依据2020年版《中华人民共和国药典》中药材中重金属的限量规定,“砷应不得超过2.0 mg/kg,汞应不得超过0.2 mg/kg,铅应不得超过5.0 mg/kg,镉应不得超过1.0 mg/kg”。30批杜仲叶中砷、镉、汞的含量均符合限量标准,铅元素有1批不合格,不合格率为3.33%,其中湖南省衡阳市的杜仲叶DZY-25中铅元素含量最高,为5.657 mg/kg,超过限量标准13.14%。

杜仲叶重金属元素含量系统聚类分析谱系图见图2。30批杜仲叶可以分为3类,湖南省衡阳市杜仲叶DZY-25可作为第一类,湖南省长沙市杜仲叶DZY-4、DZY-5、DZY-6、DZY-7、DZY-8和湖南省张家界市DZY-26、DZY-27可作为第二类,其余的22批作为第三类,表明不同产地不同批次间杜仲叶存在差异。

表4 杜仲叶中重金属含量测定结果

批号	砷/(mg/kg)	镉/(mg/kg)	汞/(mg/kg)	铅/(mg/kg)
DZY-1	0.120	0.144	0.020	1.100
DZY-2	0.113	0.139	0.025	1.042
DZY-3	0.116	0.336	0.031	1.324
DZY-4	0.124	0.202	0.027	1.868
DZY-5	0.116	0.210	0.029	1.773
DZY-6	0.119	0.259	0.032	1.888
DZY-7	0.130	0.225	0.031	2.095
DZY-8	0.117	0.174	0.031	1.850
DZY-9	0.058	0.077	0.019	0.438
DZY-10	0.103	0.149	0.016	1.256
DZY-11	0.087	0.150	0.011	0.621
DZY-12	0.103	0.199	0.010	0.761
DZY-13	0.076	0.345	0.009	0.229
DZY-14	0.090	0.413	0.008	0.271
DZY-15	0.060	0.280	0.005	0.181
DZY-16	0.090	0.371	0.010	0.268
DZY-17	0.073	0.586	0.003	0.771
DZY-18	0.072	0.606	0.003	0.759
DZY-19	0.044	0.265	0.003	0.515
DZY-20	0.065	0.411	0.003	0.790
DZY-21	0.073	0.147	0.003	0.540
DZY-22	0.107	0.125	0.044	0.819
DZY-23	0.189	0.082	0.093	0.546
DZY-24	0.186	0.071	0.045	0.313
DZY-25	1.240	0.416	0.064	5.657
DZY-26	0.435	0.078	0.027	2.877
DZY-27	0.321	0.283	0.028	1.607
DZY-28	0.442	0.082	0.068	0.918
DZY-29	0.114	0.036	0.011	0.358
DZY-30	0.830	0.079	0.090	0.253

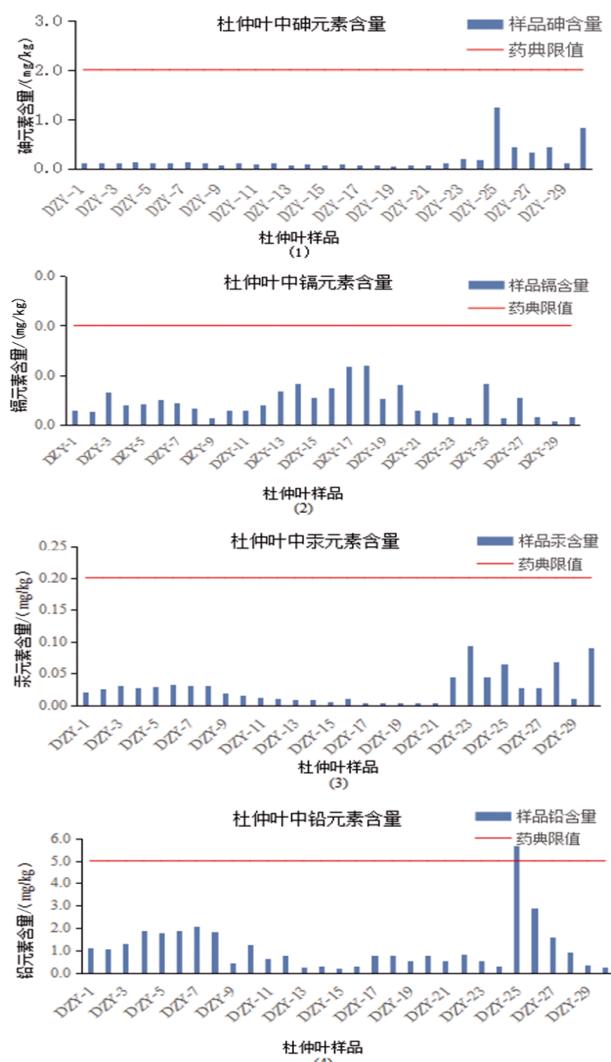


图1 杜仲叶中砷、镉、汞、铅含量与标准限值比较图

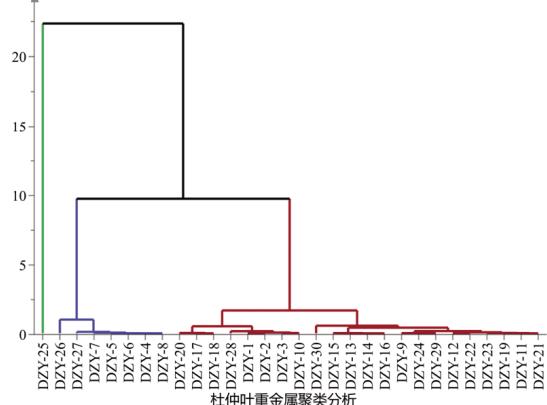


图2 杜仲叶中砷、镉、汞、铅含量聚类分析图

2.6 杜仲叶中重金属的健康风险评估 可耐受摄入量(tolerable intake, TI)是指在几乎没有健康危险性下对一种物质摄入的容许量,是对某一物质摄入的安全限值<sup>[15~16]</sup>。该评估方法主要计算公式如下:  $EDI = (C \times IRD) / BW$ 。其中EDI为污染物的每日最大可耐受摄入量(estimated daily intake); C为污染物的浓度(concentration); IRD为每日摄入产品剂量(daily ingestion rate)<sup>[17]</sup>; BW为平均体质量(body weight),国际通用标准体质量成人

为55.9 kg, 儿童为32.7 kg<sup>[18]</sup>。本研究采用2020年版《中华人民共和国药典》中的最大剂量作为IRD, 杜仲叶用药量分别为10~15 g。本研究杜仲叶每日摄入量取15 g<sup>[11]</sup>。通过比较EDI与每日暂定可耐受摄入量(PTDI)理论值, 来判定风险是否可被接受<sup>[19]</sup>。通过查询文献可知, As、Hg、Pb和Cd的PTDI分别为0.002 140、0.000 573、0.003 570和0.000 830 mg/(kg·d)<sup>[20]</sup>。当EDI值大于PTDI值, 则表明污染物的量对人体有健康危害, 反之则表明无明显健康危害。

靶标危害系数(THQ)和致癌风险(CR)计算公式如下<sup>[13, 17, 21]</sup>: THQ=(C×IRD×EF×ED)/(BW×AT×RFD), CR=(C×IRD×EF×ED×CSF)/(BA×AT)。其中AT为平均暴露时间, 设定平均暴露年限为70年, 每年暴露时间为365 d; RFD为口服参考剂量, 根据USEPA提供的数值, 其中Pb为0.001 5 μg/g, As为0.000 3 μg/g, Cd为0.001 μg/g, Hg为0.000 3 μg/g<sup>[21]</sup>; EF为暴露次数, 每年30 d; ED为暴露时间, 为30年。结合标准限量及建议摄入量等

参数, 即可获得标准THQ值, 而结合实际含量与实际摄入量等参数, 即得出实际THQ值。实际THQ值大于其标准THQ值, 则表示其风险不可接受, 反之则表示风险可接受。若THQ<0.01, 则杜仲叶未对人健康造成明显影响, 反之, 则杜仲叶存在潜在健康风险<sup>[23]</sup>。CSF为致癌斜率因子, 根据USEPA提供的数值, 其中As为1.500 0 mg/(kg·d), Pb为0.008 5 mg/(kg·d), Cd为6.100 0 mg/(kg·d)。若CR<1×10<sup>-6</sup>, 表示癌症风险可以忽略不计; 若1×10<sup>-6</sup><CR<1×10<sup>-4</sup>, 表示可以接受的范围; 若CR>1×10<sup>-4</sup>, 表示其重金属的致癌性风险在大多数国家是不可接受的<sup>[24-25]</sup>。本研究将计算的EDI值与PTDI进行了比较, 同时运用THQ法和CR法评价其非致癌性风险与致癌性风险, EDI、THQ和CR值的结果见表5。

研究结果显示EDI值均小于PTDI值(As、Hg、Pb和Cd的PTDI分别为0.002 140、0.000 573、0.003 570和0.000 830 mg/kg/d), 表明本研究杜仲叶中重金属对人体无明显健康危害。THQ法

表5 杜仲叶中重金属健康风险评估 EDI、THQ 和 CR 值

批号	EDI/[mg/(kg·d)·10 <sup>-4</sup> ]				THQ/10 <sup>-4</sup>				CR/10 <sup>-7</sup>		
	砷	镉	汞	铅	砷	镉	汞	铅	砷	镉	铅
DZY-1	0.322	0.386	0.054	2.952	37.809	13.611	6.301	69.316	1.70	8.30	0.09
DZY-2	0.303	0.373	0.067	2.796	35.603	13.139	7.877	65.661	1.60	8.01	0.08
DZY-3	0.311	0.902	0.083	3.553	36.548	31.759	9.767	83.431	1.64	19.37	0.11
DZY-4	0.333	0.542	0.072	5.013	39.069	19.093	8.507	117.711	1.76	11.65	0.15
DZY-5	0.311	0.564	0.078	4.758	36.548	19.850	9.137	111.725	1.64	12.11	0.14
DZY-6	0.319	0.695	0.086	5.066	37.494	24.481	10.082	118.971	1.69	14.93	0.15
DZY-7	0.349	0.604	0.083	5.622	40.959	21.267	9.767	132.015	1.84	12.97	0.17
DZY-8	0.314	0.467	0.083	4.964	36.863	16.447	9.767	116.577	1.66	10.03	0.15
DZY-9	0.156	0.207	0.051	1.175	18.274	7.278	5.986	27.600	0.82	4.44	0.04
DZY-10	0.276	0.400	0.043	3.370	32.452	14.084	5.041	79.146	1.46	8.59	0.10
DZY-11	0.234	0.402	0.031	1.666	27.449	14.159	3.616	39.126	1.24	8.64	0.05
DZY-12	0.276	0.535	0.027	2.042	32.356	18.832	3.169	47.950	1.46	11.49	0.06
DZY-13	0.204	0.927	0.023	0.614	23.948	32.655	2.687	14.419	1.08	19.92	0.02
DZY-14	0.241	1.109	0.022	0.728	28.314	39.061	2.637	17.093	1.27	23.83	0.02
DZY-15	0.160	0.750	0.014	0.487	18.839	26.422	1.641	11.430	0.85	16.12	0.01
DZY-16	0.240	0.994	0.027	0.719	28.217	35.028	3.140	16.880	1.27	21.37	0.02
DZY-17	0.196	1.573	0.008	2.070	23.062	55.409	0.945	48.612	1.04	33.80	0.06
DZY-18	0.194	1.625	0.008	2.036	22.724	57.235	0.945	47.823	1.02	34.91	0.06
DZY-19	0.119	0.711	0.008	1.382	13.929	25.042	0.945	32.443	0.63	15.28	0.04
DZY-20	0.176	1.102	0.008	2.119	20.616	38.806	0.945	49.766	0.93	23.67	0.06
DZY-21	0.196	0.395	0.008	1.448	22.983	13.916	0.945	34.006	1.03	8.49	0.04
DZY-22	0.288	0.335	0.117	2.198	33.790	11.791	13.744	51.619	1.52	7.19	0.07
DZY-23	0.507	0.220	0.250	1.465	59.549	7.751	29.302	34.406	2.68	4.73	0.04
DZY-24	0.499	0.191	0.121	0.840	58.603	6.711	14.178	19.724	2.64	4.09	0.03
DZY-25	3.327	1.116	0.172	15.180	390.689	39.321	20.165	356.472	17.58	23.99	0.45
DZY-26	1.167	0.209	0.072	7.720	137.056	7.373	8.507	181.292	6.17	4.50	0.23
DZY-27	0.861	0.759	0.075	4.312	101.138	26.750	8.822	101.264	4.55	16.32	0.13
DZY-28	1.186	0.220	0.182	2.463	139.262	7.751	21.425	57.847	6.27	4.73	0.07
DZY-29	0.306	0.097	0.030	0.961	35.918	3.403	3.466	22.559	1.62	2.08	0.03
DZY-30	2.227	0.212	0.242	0.679	261.510	7.467	28.356	15.943	11.77	4.55	0.02

结果显示镉、汞的THQ均小于0.01,表明30批杜仲叶中这2种元素对人健康未造成明显影响,但有5批杜仲叶中砷元素的THQ大于0.01,8批杜仲叶铅元素的THQ大于0.01,表明10批杜仲叶(DZY-4,DZY-5,DZY-6,DZY-7,DZY-8,DZY-25,DZY-26、DZY-27、DZY-28、DZY-30)中重金属存在潜在非致癌健康风险。CR法结果见表5。杜仲叶中CR值均小于 $1\times10^{-4}$ ,即表明这30批杜仲叶不存在潜在的致癌影响。综上所述,这30批杜仲叶中有10批重金属存在潜在健康风险。

**2.7 杜仲叶与其产地土壤中重金属的比较相关性分析** 土壤中砷、镉、铅3种重金属元素的含量明显高于杜仲叶中3种重金属元素的含量,土壤中重金属铅的含量最高,汞含量最低。(见表6、图3)杜仲叶中砷和汞元素的含量与土壤中砷和汞元素的含量无明显规律,可能杜仲叶中砷和汞元素的富集还受到其他因素的影响,具体富集机制有待进一步研究。杜仲叶中重金属镉和铅与土壤中的镉和铅元素分布规律基本类似,说明杜仲叶中镉和铅元素的富集与土壤中镉和铅元素有一定的相关性。

杜仲叶与其产地土壤中砷、镉、汞、铅含量之间皮尔逊相关系数分别为-0.085、0.692、-0.264、0.485,说明杜仲叶中砷和汞元素的含量与土壤中砷和汞元素无显著相关性,杜仲叶与其产地土壤中镉和铅元素有显著相关性,即杜仲叶中砷和汞元素的含量与土壤中砷和汞元素的含量无明显规律,而杜仲叶中镉和铅元素的富集与土壤中镉和铅元素有一定的相关性。

表 6 杜仲叶产地土壤中重金属含量测定结果

批号	砷/(mg/kg)	镉/(mg/kg)	汞/(mg/kg)	铅/(mg/kg)
DZY-23-土	6.646	0.151	0.096	25.405
DZY-24-土	18.839	0.115	0.100	31.181
DZY-25-土	13.329	0.444	0.094	50.318
DZY-26-土	10.143	0.307	0.037	31.078
DZY-27-土	9.491	0.549	0.052	37.740
DZY-28-土	28.599	0.319	0.035	51.480
DZY-29-土	16.471	0.074	0.124	33.252
DZY-30-土	10.390	0.420	0.025	38.309
平均值	14.239	0.291	0.070	37.345

### 3 讨论

本研究系统检测了湖南省内不同地区30批杜仲叶的重金属,考虑到杜仲叶药食两用的使用特色,分别采用《中华人民共和国药典》标准和相关食品安全国家标准对杜仲叶样品中重金属含量进行综合分析,并对其进行健康风险评估。该研究表明杜仲叶中重金属污染存在安全风险,按照《中华人民共和国药典》的限量标准,30批中有1批不合格,不合格的是湖南省衡阳市杜仲叶DZY-25中铅元素超过限量标准13.14%;每日最大可耐受量(EDI)结果和致癌风险(CR)的结果未发现明显健康风险;而靶标危害系数法(THQ)结果显示有湖南省衡阳市杜仲叶DZY-25,长沙市杜仲叶DZY-4、DZY-5、DZY-6、DZY-7、DZY-8,张家界市杜仲叶DZY-26、DZY-27,娄底市杜仲叶DZY-28,以及邵阳市杜仲叶DZY-30这10批杜

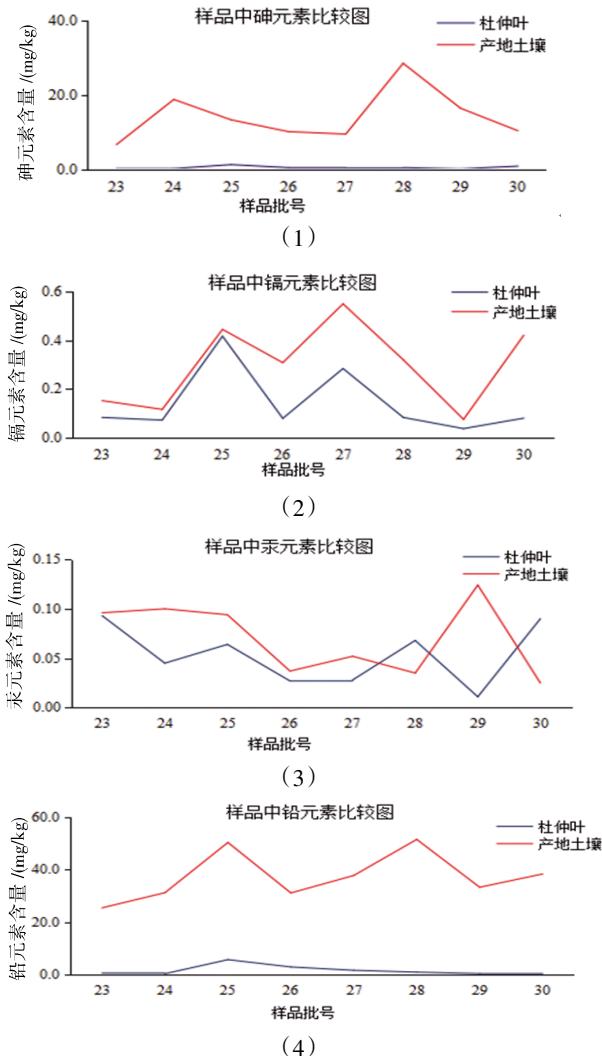


图 3 杜仲叶与其产地土壤中砷、镉、汞、铅量比较

仲叶存在潜在健康风险。这个结果包括了杜仲叶含量聚类分析中的第一、第二类。综上,湖南省衡阳市杜仲叶中重金属需要重点监测,同时湖南省长沙市、张家界市、娄底市和邵阳市杜仲叶中重金属也需要监测。

《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)中规定了其安全限量值“砷应不得超过1.0 mg/kg,镉应不得超过0.5 mg/kg,汞应不得超过0.1 mg/kg,铅应不得超过2.0 mg/kg”。按此标准对本研究中样品进行统计分析可知,湖南省的杜仲叶总体符合限量标准。30批杜仲叶砷元素合格率为96.67%,其中湖南省衡阳市的杜仲叶DZY-25超过限量标准;镉元素合格率为93.33%,其中湖南省怀化市的杜仲叶DZY-17、DZY-18超过限量标准;汞元素合格率为100.00%,铅元素合格率为90.00%,其中湖南省长沙市的杜仲叶DZY-7、衡阳市的杜仲叶DZY-25和张家界市的杜仲叶DZY-26超过限量标准。衡阳市的杜仲叶DZY-25、长沙市的杜仲叶DZY-7和张家界市的杜仲叶DZY-26与健康风险评估结果一致,因此衡阳市、长沙市和张家界市的杜仲叶应该加强监管力度。

此外,现杜仲叶中镉和铅元素的富集与土壤中镉和铅元

素有一定的相关性。因此,种植过程中需要进一步加强生产监管,有针对性采取相应措施降低土壤中镉和铅元素的含量,有效控制杜仲叶中镉和铅元素的富集,保障杜仲叶作为食药物质的质量管理及市场应用推广。

## 参考文献

- [1] 国家药典委员会.中华人民共和国药典(一部)[S].北京:中国医药科技出版社,2020:176.
- [2] GONG M, SU C F, FAN M Z, et al. Mechanism by which Eucommia ulmoides leaves regulate nonalcoholic fatty liver disease based on system pharmacology [J]. J Ethnopharmacol, 2022, 282:114603.
- [3] 胡凤成,韩锐,郭聪,等.杜仲叶化学成分及其神经保护活性研究[J].林产化学与工业,2023,43(3):9-15.
- [4] CHEN Y S, PAN R Y, ZHANG J J, et al. Pinoresinol diglucoside (PDG) attenuates cardiac hypertrophy via AKT/mTOR/NF- $\kappa$ B signaling in pressure overload -induced rats[J]. J Ethnopharmacol, 2021, 272:113920.
- [5] LI M, ZHENG Y, DENG S, et al. Potential therapeutic effects and applications of Eucommiae Folium in secondary hypertension[J]. J Pharm Anal, 2022, 12(5): 711-718.
- [6] 杜丹凤,丁艳霞,李钦.杜仲叶颗粒抗骨质疏松作用及其机制[J].河南大学学报(医学版),2023,42(3):177-181.
- [7] 匡创富,张年,龚年春,等.9种试点食药物质的安全性评价及试点风险监测现况[J].世界中医药,2023,18(4):548-555.
- [8] 国家卫生健康委.关于对党参等9种物质开展按照传统既是食品又是中药材的物质管理试点工作的通知[EB/OL].食品安全标准与监测评估司.(2019-11-25)[2022-05-16].  
http://www.nhc.gov.cn/sp/s7885/202001/1ec2cca04146450d9b14acc2499d854f.shtml
- [9] 陆才洋,匡创富,梁雪娟,等.灵芝中外源性污染物分析及风险评估[J].湖南中医杂志,2023,39(10):187-192.
- [10] 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.
- [11] 王高峰.峨参外源性有害物质分析[J].中成药,2022,44(11):3736-3739.
- [12] 左甜甜,刘静,王莹,等.中药外源性有害物质和内源性有毒成分风险评估技术体系研究进展及展望[J].中国现代中药,2023,25(6):1179-1186.
- [13] WU W J, LI Y, SONG P Y, et al. Metal-organic framework (MOF)-based sensors for exogenous contaminants in food: Mechanisms, advances, and prospects[J]. Trends Food Sci Technol, 2023, 138:238-271.
- [14] 卜桐,于晓,张欣芮,等.金银花中重金属污染分析及其健康风险评估[J].中国中药杂志,2022,47(3):643-650.
- [15] 隋鸣,孔丹丹,丁淑敏,等.中药中外源性污染物的健康风险评估研究进展[J].中国中药杂志,2021,46(21):5593-5599.
- [16] 李君翔,王亚飞,倪琳,等.ICP-MS结合化学计量学的地骨皮产地分析及健康风险评估[J].中药材,2022,45(4):898-905.
- [17] 姚姣姣,孔丹丹,骆骄阳,等.膜葵黄芪中重金属污染分析及其健康风险评估[J].中国中药杂志,2019,44(14):3094-3099.
- [18] 赵磊,赵艳,刘丽,等.药食同源品百合、银耳二氧化硫残留量测定及健康风险评估[J].特产研究,2022,44(2):98-101,120.
- [19] 曾雷,王志宏,徐巧林,等.广东竹笋有害物质污染分析及其健康风险评估[J].食品与药品,2023,25(3):204-211.
- [20] 孙岚萍,马转霞,吕鑫,等.锁阳中重金属、有害元素污染分析及健康风险评估[J].中成药,2021,43(6):1538-1542.
- [21] 李歆悦,孔丹丹,王蓉,等.小柴胡复方制剂中重金属残留污染分析及其健康风险评估[J].中国中药杂志,2019,44(23):5058-5064.
- [22] 李道成,王裕成,洪家顺,等.香青兰无机元素指纹图谱建立及健康风险评估[J/OL].甘肃农业大学学报,1-22[2024-08-22].  
http://kns.cnki.net/kcms/detail/62.1055.S.20230629.0841.002.html.
- [23] 吴乾锋,刘友平,何东,等.ICP-MS法结合化学计量学分析杜仲叶无机元素及健康风险评估[J].中药材,2022,45(9):2157-2164.
- [24] 左甜甜,刘佳琳,李依玲,等.中草药重金属及有害元素健康风险评估新视角:概率风险评估,以车前草为例[J].药学学报,2022,57(11):3365-3370.
- [25] 王巧,于永杰,王紫怡,等.基于ICP-MS的不同产地丹参元素差异分析及健康风险评估[J].中药材,2023,46(9):2224-2232.

(收稿日期:2024-07-13 编辑:蒋凯彪)