

金银花中重金属残留的现状和质量控制研究进展

杨 扬^{1,2}, 郭 丹^{1,2}, 张 倩^{1,2}, 孟 娇^{1,2}, 王惠芬^{1,2}, 甘 爽^{1,2}, 马文睿^{1,2}, 孙红彦^{1,2}, 张欣怡^{1,2},
王 珏^{1,2}, 尹云泽^{1,2*}

1. 津药达仁堂集团股份有限公司 中药研究院, 天津 300457

2. 天津市中药质量控制企业重点实验室, 天津 300457

摘要: 随着金银花药用价值和市场需求持续增长, 其安全性问题也日益受到关注, 其中重金属及有害元素残留已成为影响金银花质量安全的核心风险因素和焦点问题。金银花中重金属污染以铅 (Pb)、镉 (Cd)、砷 (As)、汞 (Hg)、铜 (Cu) 5 种元素为主, 其中 Pb、Cd 的超标问题相对突出。梳理了金银花中重金属及有害元素的污染来源和迁移途径、政策和标准体系演进、残留现状情况、检测方法, 并开展针对性的安全风险评估, 全面剖析该领域现存的核心问题和发展趋势, 以期为金银花源头种植管控、生产全过程质量安全管控、相关检测标准的优化升级提供科学参考和实践依据。

关键词: 金银花; 重金属; 污染来源; 残留现状; 检测方法; 风险评估

中图分类号: R286.01 文献标志码: A 文章编号: 1674-5515(2026)05-1523-06

DOI: 10.7501/j.issn.1674-5515.2026.05.049

Research progress on heavy metal residues and quality control in *Lonicerae Japonicae Flos*

YANG Yang^{1,2}, GUO Dan^{1,2}, ZHANG Qian^{1,2}, MENG Jiao^{1,2}, WANG Huifen^{1,2}, GAN Shuang^{1,2}, MA Wenrui^{1,2},
SUN Hongyan^{1,2}, ZHANG Xinyi^{1,2}, WANG Jue^{1,2}, YIN Yunze^{1,2}

1. Tianjin Pharmaceutical DA REN TANG Group Corporation Limited Traditional Chinese Pharmacy Research Institute, Tianjin 300457, China

2. Tianjin Key Laboratory of Quality Control in Traditional Chinese Medicine Research Institute, Tianjin 300457, China

Abstract: With the continuous growth in the medicinal value and market demand of *Lonicerae Japonicae Flos*, its safety concerns have also attracted increasing attention, among which heavy metal and harmful element residues have become core risk factors and focal issues affecting the quality and safety of *Lonicerae Japonicae Flos*. Heavy metal contamination in *Lonicerae Japonicae Flos* primarily involves five elements: lead (Pb), cadmium (Cd), arsenic (As), mercury (Hg), and copper (Cu), with Pb and Cd being the relative prominent in terms of exceeding standards. This paper reviews the pollution sources, migration pathways of heavy metals and harmful elements in *Lonicerae Japonicae Flos*, policy and standard system evolution, residual status, and detection methods, and conducts targeted safety risk assessments. It comprehensively analyzes existing core issues and development trends in this field, aiming to provide scientific references and practical foundations for source-level cultivation control of *Lonicerae Japonicae Flos*, quality and safety management throughout the production process, and the optimization and upgrading of related testing standards.

Key words: *Lonicerae Japonicae Flos*; heavy metal; pollution source; residual status; detection method; risk assessment

金银花作为我国传统中药材的代表品种, 在清热解毒、抗病毒等领域应用广泛。金银花作为大宗药材, 需求量大, 随着其药用价值和市场需求持续增长, 其安全性问题也日益受到关注, 其中重金属及有害元素残留已成为影响金银花质量安全的核

心风险因素和焦点问题, 严重影响着金银花产业的发展。根据近年研究, 金银花中重金属残留呈现出明显的区域性分布规律和污染来源多样性特征。重金属、有害物质残留不仅受产区环境、土壤因子影响, 还与栽培模式、产地加工、贮藏条件等有关。

收稿日期: 2025-11-30

作者简介: 杨 扬 (1988—), 女, 内蒙古赤峰人, 高级工程师, 从事中药质量研究工作。E-mail: xfy8885@126.com

*通信作者: 尹云泽, 高级工程师, 主要从事中药质量研究工作。E-mail: yinyunze@zx-innova.com

金银花中重金属污染以铅 (Pb)、镉 (Cd)、砷 (As)、汞 (Hg)、铜 (Cu) 5 种元素为主, 其中 Pb、Cd 的超标问题相对突出。《中国药典》2025 年版中对中药中外源性有害残留物的检测方法和限量标准进一步完善, 《中国药典》2020 年版一部正文品种项下涉及重金属及有害元素限度检查的植物类中药材和饮片共 18 种, 而《中国药典》2025 年版将其中 13 种药材从一部正文中删除, 列入四部“0212 药材和饮片检定通则”, 根据风险评估情况进行该项目检查。金银花、人参、山茱萸、栀子、葛根共 5 个品种继续保留在中国药典》2025 年版一部正文重金属及有害元素检查项下^[1], 足以说明金银花作为代表性品种, 其中外源性有害残留污染的情况还应持续增加监管和社会关注。重金属及有害元素残留分析作为保证中药质量安全的重要检测项目, 显得尤为重要。重金属及有害元素为公认的环境污染物, 是影响食品药品安全性的主要因素之一^[2]。镉为已知的肯定致癌物, 也是毒性最强的重金属元素之一^[3-4]。随着中国合格评定国家认可委员会对药品分析领域能力验证的持续推进, 2018 年中国食品药品检定研究院组织的金银花中镉元素残留量测定能力验证中, 249 家实验室参与整体满意率为 94.9%^[5], 该结果反映出国内检测机构对中药材镉残留检测的重视程度, 同时也对中药材重金属残留检测的精准性和标准化提出了更高要求。《中药生产监督管理专门规定》于 2026 年 3 月 1 日起施行, 突出强调中药材质量评估, 严格生产监管, 监督企业保证中药质量, 在中药原料源头到全生命周期的各环节质量把控引起足够关注。2026 年 3 月 1 日即将施行的《中药生产监督管理专门规定》对中药材源头质量评估、全生命周期质量管控的严格要求, 中药材重金属和有害元素的污染溯源、检测技术优化、风险评估和标准完善已成为当前中药质量安全领域的研究热点和迫切需求。本文梳理了金银花中重金属及有害元素的污染来源和迁移途径、政策和标准体系演进、残留现状情况、检测方法, 并开展针对性的安全风险评估, 全面剖析该领域现存的核心问题和发展趋势, 以期为金银花源头种植管控、生产全过程质量安全管理、相关检测标准的优化升级提供科学参考和实践依据, 助力中药产业高质量发展。

1 污染来源和迁移途径

重金属及有害元素污染来源复杂, 包括土壤、

水源、空气等环境污染, 以及在中药种植、加工过程中农业投入品、使用的工具、设备等, 包括自然源和人为源两大类。自然源污染中, 高砷或高镉背景土壤区的母质风化释放是重要自然来源。如湖南、广西部分地质富砷区产的金银花普遍检测到砷含量接近限量值。人为源污染包括: (1) 农业投入品, 如含 As 农药 (如乙酰甲胺磷)、含 Cd 磷肥不当使用; (2) 工业排放和矿区周边, 冶金、电子行业排放的含 Pb、Cd、Hg 废气通过大气沉降污染种植区, 金银花光合作用吸入^[6-7]; (3) 加工和储存过程引入, 如硫磺熏蒸工艺可能带入 As 杂质; (4) 劣质金属加工器械可能引入 Pb、Cu、Hg 等^[8]。

2 政策和标准体系演进

全球对中药材重金属残留的监管框架日趋严格, 中国作为金银花的主产国和消费国, 近年来通过法规标准升级和监管模式创新, 构建了覆盖全产业链的安全管控体系。

2.1 国内外限量标准体系发展

金银花中重金属及有害元素限量标准为铅不得超过 5 mg/kg、镉不得过 1 mg/kg、砷不得超过 2 mg/kg、汞不得超过 0.2 mg/kg、铜不得超过 20 mg/kg, 《中国药典》2025 年版仍保留了一部项下的标准要求。国际标准方面, 欧盟对植物药材设定铅不得过 10 mg/kg、镉不得过 1 mg/kg 的通用限量; 日本则针对超过 100 种植物药制定个性化标准。我国虽在限值严格度上与欧美相当, 但在品种覆盖广度上仍有提升空间。全球标准协调存在困境, 中外限量标准差异 (如 Cu 的限值) 是出口壁垒。2025 年 ISO 推进《中医药-中药材重金属限量》国际标准制定是破局契机。《药用植物及制剂外经贸绿色行业标准》(WM/T2-2004): 要求更加严格 (Pb≤5.0 mg/kg、Cd≤0.3 mg/kg、Hg≤0.2 mg/kg、Cu≤20.0 mg/kg、As≤2.0 mg/kg), 但非强制执行。

2.2 《中国药典》2025 年版革新

《中国药典》2025 年版在重金属及有害元素检测方法上实现了重大突破, 通则 2321 铅、镉、砷、汞、铜测定法在原子吸收分光光度法 (AAS) 和电感耦合等离子体质谱法 (ICP-MS) 基础上增加原子荧光光谱测定中药中砷、汞元素的方法^[9]。AAS 法正文对校准曲线制备进行了规范, 使线性范围更好与限量标准相匹配。ICP-MS 法优化标准曲线溶液稀释溶液酸度 (10%硝酸→5%硝酸)、提升标准液浓度、简化汞元素配制流程等改进, 方法革新显著简

化了实验操作,提升了检测效率,使样品分析时间缩短 30%。

3 残留现状情况

3.1 富集能力

花类药材中重金属残留较为普遍,金银花中检出率最高的元素为铅、镉。金银花之所以含镉的残留量显著,是由于金银花对土壤中不同元素的富集能力不同,不同产地金银花对相同元素的富集能力也存在差异,金银花对土壤中各元素富集系数的趋势为 $As < Mn < Pb < Cr < Ni < Zn < Hg < Cu < Cd$ ^[10],土壤-植物迁移模型证实,酸性土壤中镉的生物富集系数较高,与 pH 值呈负相关^[11],所以金银花对镉元素的吸附能力较强,那么检出率就会增大。同时土壤因子相关研究表明,植物体不同部位对重金属的富集能力不同^[12]。倪荣等^[8]研究发现忍冬科的花部位(金银花为忍冬科忍冬属植物)中 Hg、As 的含量显著高于忍冬的其他部位(茎、叶、根),因此相比金银花原药材,经净制处理后的金银花饮片中 Hg、As 的含量随着药用部位比例的提高也相对提高。

3.2 土壤环境影响

在土壤 pH 值由碱性转为酸性过程中,特异性吸附的镉逐渐转为非特异性吸附态,并被释放,随之增加其生物可利用性。研究表明,土壤 pH 值每降低 1 个单位,镉的溶解度增加 4~5 倍^[13]。随着 pH 值的降低,砷酸可转化为亚砷酸 (As^{3+}),这不仅增加了砷的可溶性,还增强了毒性和迁移性^[14]。铬矿开采、电镀、制革等行业排放的含铬废水(主要为 Cr^{6+})是铬污染的主要来源。 Cr^{6+} 易溶于水,迁移性强,且具有致癌性^[13]。因此,对金银花中铬的形态进行分析和监测 Cr^{6+} 的含量能够有效评估其潜在毒性。

3.3 形态和价态

元素形态、价态在近年来的研究不断深入,HPLC-ICP-MS 在形态分析领域展现独特价值。在建立的中药中不同形态砷化合物分离检测方法的研究中,应用此法成功分离测定 10 种中药中不同形态砷,无机砷三价砷 As(III)和五价砷 As(V)的检出限分别为 4.0、5.0 $\mu g/kg$,加样回收率达 88.7%~101%^[15]。这一技术对评估金银花中无机砷的毒性风险尤为重要,因为不同形态砷的毒性差异可达数百倍。砷元素的活性、毒性与其存在形态密切相关,亚砷酸 (As^{3+})比砷酸 (As^{5+})更容易与蛋白质中的

巯基结合,毒性最大,要全面评价中药的砷毒性,考察总砷残留量并不全面,应考察各种形态砷(特别是无机砷)化合物的残留量。研究提示,金银花中可溶性砷含量并不高^[16],该研究方法可用于筛查和数据积累,有助于帮助原料供应端判断某些元素残留偏高是来源于环境污染还是来源于生物的天然富集效应。

3.4 不同产区差异

不同产地金银花中金属元素残留情况也不同,以云南省不同地区之间差异为例,红河地区的砷含量较高,与该地区有色金属冶炼工业有关,含砷农药、燃煤也是主要来源^[17]。镉的污染主要源自镉矿和镉冶炼厂,且镉常与锌共生,冶炼锌是镉进入环境的重要途径。土壤中的镉主要以水溶性 (Cd^{2+})和非水溶性 (CdS 、 $CdCO_3$)两种形态存在。对云南省 5 个地区金银花中重金属及其残留进行分析^[18],其中曲靖产金银花中铅含量较高,与该地区工业生产和煤矿开采过程中大量铅被分离和排放进入空气和水体中,并迁移至植物体内有关;曲靖作为云南的交通枢纽城市,车辆尾气中由抗爆剂烷基铅所产生的铅污染可能在公路沿线土壤中累积,进一步导致金银花中铅含量升高;各地区的金银花中铜元素残留量相较于其他元素普遍偏高。

3.5 药材和饮片差异

金银花药材和饮片中重金属残留情况也存在差异,Pb、Cd 的含量基本一致,但饮片中 Hg、As 的含量显著高于药材,饮片中 Cu 含量显著低于药材含量^[19],以上研究成果对于药材和饮片质量把控的关注点具有一定参考意义。

3.6 其他微量元素

钴、铬是人体的一种必需微量元素,镍是最常见致敏性金属,它们都会产生一定不良反应,国际上对药品中残留的众多金属元素均制定了限量标准^[16],这提示我国应在控制铅、镉、砷、汞、铜的基础上逐步扩充目标元素种类,对保证中药安全有效具有重要意义。采用 ICP-MS 技术对金银花中 20 种重金属和微量元素进行筛查,结果金银花中富含钼、锡等对人体重要的微量元素^[20]。

4 检测方法

金银花基质复杂,其中重金属及有害元素含量极低,且存在形态多样,对检测技术提出严峻挑战。传统分析技术包括原子吸收分光光度法(AAS)、电感耦合等离子体质谱(ICP-MS),高效液相色谱-

ICP-MS 联用技术 (HPLC-ICP-MS)、原子荧光光谱法 (AFS) 等的升级应用, 已成为金银花中重金属检测的主流技术。近年来, 传统方法优化与新型技术开发并举, 推动检测能力向高灵敏、形态特异和原位分析方向迈进, 前沿原位分析和快速检测技术在不断发展。

4.1 同步辐射 μ -XRF 技术

值得关注的是, 同步辐射 μ -XRF 技术作为新兴的原位微区分析工具在解析重金属空间分布上取得突破。污染元素在金银花植株内呈现形态依赖性分布特征。金银花中砷吸收机制研究显示, 该技术可实现在微米尺度上可视化砷在根-茎-花中的转运路径: 无机砷主要滞留于根部表皮层, 形成“根际屏障”, 而有机砷则沿维管束向地上部分迁移, 最终在花蕾中富集^[21]。

4.2 电化学传感技术

电化学传感技术因其操作简便、响应快速、仪器便携、成本低廉、灵敏度高为核心优势成为现场筛查新宠^[22]。杨冉等^[23]采用以镀金玻碳电极为工作电极的计时电位溶出法建立了金银花中 As^{3+} 的定量检测方法, 其线性范围为 2.0~10.0 $\mu g/L$, 检出限低至 1.0 $\mu g/L$ 。在此基础上, 李浩佳等^[24]进一步构建电化学型生物传感检测体系, 将 Pb^{2+} 特异性适配体作为生物识别元件修饰于玻碳电极表面, 依托适配体与 Pb^{2+} 的特异性结合引发电极界面电信号响应变化, 通过采集并解析电流、电位等传感信号, 实现了金银花中 Pb^{2+} 的精准定量分析。电化学传感技术突破了传统药材质量检测依赖大型精密仪器、检测周期长、难以现场部署的局限, 为金银花从药材种植、采收、初加工到流通环节的全链条质量安全提供了高效、可靠的快速检测技术支撑。

4.3 同步辐射微区 X 射线荧光光谱法 (μ -XRF) 技术

周俊彤等^[21]采用水培试验体系, 针对性设置有机砷、无机砷等不同砷形态、多水平浓度梯度的胁迫处理, 以模拟金银花实际生长环境中可能面临的多种砷污染暴露场景。研究将 μ -XRF 原位成像技术与植物抗氧化系统相关生化指标检测相结合, 依托同步辐射光源高亮度、高空间分辨率的优势, 成功实现了砷元素在金银花根、茎不同组织部位的原位微区分布可视化表征和相对含量半定量解析, 清晰揭示了不同形态、不同剂量砷在金银花根系吸收、茎部转运过程中的富集特征和空间分配规律。该研究为阐释砷元素在金银花体内的吸收转运、累积分

布、生理响应机制提供了直观的微区证据, 同时建立了同步辐射 μ -XRF 技术在中药材中有害元素分析的应用范式, 为金银花从种植源头到流通环节的重金属及有害元素精准防控、质量安全评价和全程管控体系构建提供了重要的技术支撑。

4.4 原子荧光光谱法

原子荧光光谱法在检测金银花中痕量 As 和 Hg 方面保持优势。相关研究表明氢化物发生 ICP-AES 法测定 As 和 Hg 的检出限分别为 0.25、0.80 $\mu g/kg$, 而原子荧光光谱法测定 As 和 Hg 的检出限均可达 0.04 $\mu g/kg$ ^[25], 且《中国药典》2025 年版四部通则 2321 项下已正式收录原子荧光光谱法, 该方法为金银花中 As 和 Hg 的测定提供了法定技术支持。

5 安全风险评估

重金属元素能与体内的酶蛋白结合, 使蛋白质结构发生不可逆的改变, 从而透过细胞影响细胞组织功能^[26]。为了了解重金属的污染物在样品中的具体含量, 分析其有害程度, 近年来关于金银花膳食健康安全风险评估的研究成果很多, 安全风险的评估方法也有多种, 通过不同的计算方式可以得到不同的评估结果。传统以总量为基础的风险评估方法正逐步向生物有效性导向和多维度整合方向演进, 更精准地反映金银花中重金属的实际风险。

根据内梅罗综合指数法对金银花、黄芪、甘草、枸杞子、山楂 5 种饮片金属污染情况进行综合评价, 综合指数越高表明重金属污染状况越严重^[27], 其中金银花中 Cu、Hg、As、Pb 和 Cd 的质量分数范围依次为 6.70~10.60、0~0.32、0.07~0.23、0.30~3.70、0~0.34 mg/kg , 高于其他 4 个品种。

通过健康风险评估方法、内梅罗综合污染指数法和单因子污染指数法对 5 种重金属元素 Cu、Hg、As、Pb 和 Cd 的进行测评, 综合污染指数结果显示金银花 (0.57) > 甘草 (0.41) > 白芍 (0.39) > 黄芪 (0.31) > 枸杞 (0.27) > 山楂 (0.23)^[28]。

对常见中药材中重金属健康风险评估的研究表明, 致癌风险结果提示, As、Cu、Pb 单元素的污染指数平均值均低于 0.7, 整体处于安全级水平; 其中 As 元素虽在中药材中存在潜在风险, 但风险程度处于可控范围。在砷的暴露风险评估中, 可选取无机砷致肺癌超额发病 0.5% 对应的基准剂量下限 (BMDL_{0.5}) 作为其健康指导值^[29]。镍 (Ni) 元素方面, 大部分中药材中 Ni 元素污染程度则多处于清洁级、警戒级水平^[30]。

体外胃肠模拟（如 PBET、IVG 法）模型的引入是近年评估理念的重大革新。该模型模拟人体消化环境，通过评估生物可给性结果，能更真实反映实际健康风险，更加客观合理、科学准确。生物可给性是指测定重金属从药材基质或种植土壤中溶出并被吸收的比例。As 在模拟胃肠液中溶出较少，具有较低的生物可给性。相关研究表明，土壤铅在胃阶段的生物可给性为 72.7%~82.6%，各类型土壤间差异极显著，其中红壤较高而黑土较低；进入小肠阶段后，土壤铅的生物可给性极显著降低至 22.8%~27.7%，各类型土壤间无显著差异。土壤铅对人体的健康风险评估结果与之相同。对儿童而言，土壤铅在胃阶段的非致癌风险达到可接受限值的 2.1 倍；且整体而言，土壤铅对儿童的非致癌风险平均达到成人的 7.6 倍，必须加以重视^[31]，此外，土壤 pH 值与土壤铅在胃肠道的生物可给性存在高度显著相关性，提示对金银花种植地的土壤质量和酸碱环境必须做好监控。

采用每日预估摄入量 (EDI) 和每日可接受摄入量 (PTDI) 作为评估指数的方法，研究表明，如果按照《中国药典》2025 年版每日最大使用量 (15 g/d) 计算，金银花中铅和镉元素 EDI 稍高于预估的 PTDI^[32]，虽然评价方法之间的不同会存在结果偏大的可能性，但是摄入风险是值得关注的。

6 结语

金银花中重金属及有害元素污染（尤其是 Pb、Cd）是其客观存在的安全风险，具有显著的地域性，并与人为活动密切相关。《中国药典》设立的限量标准为安全监管提供了法定依据，现有评估表明在规范种植、加工条件下，大多数合格产品风险可控，但特定污染区域或劣质产品仍需高度警惕。左甜甜等^[32]在相关研究中指出，应基于风险评估制定合理限量，并加强针对不同药材和饮片的差异化标准研究。当前部分金银花样品仍存在超标现象，需从产区环境、栽培模式、加工贮存等环节系统控制，并结合风险评估、生物可给性研究强化对生产环境和原料质量的重视。

尽管金银花中重金属风险管控取得显著进展，仍面临诸多挑战亟待突破：（1）标准体系缺口。当前总量评估未区分形态毒性差异（如有机砷毒性较低），需建立基于毒效当量的差异化标准体系。（2）技术转化瓶颈。前沿检测技术（如同步辐射）成本高昂，难以普及，开发低成本、高准确度的检测技

术是实现现场监督检测的关键。（3）长期低剂量暴露效应。重金属复合暴露的协同/拮抗效应研究不足，需开展人群队列研究评估慢性健康影响。（4）快速检测技术层出不穷，虽逐渐向便携化、现场化发展，但需依托产业链监管推动实际应用。

2025 年全国推行药材饮片追溯码制度，通过种植土壤检测、加工工艺、成品检测数据的全程溯源，为金银花中重金属风险管控提供了制度支撑，也为企业豁免批批检测、降低合规成本奠定了基础。金银花中重金属的安全管控需依托源头控制 - 过程监管 - 末端检测 - 科学评估的全链条综合治理模式，而《中国药典》2025 年版的实施，也对金银花种植基地选址、加工工艺革新、企业检测能力建设提出了更高的实践要求。未来研究和产业实践需聚焦 4 大核心方向：一是构建基于毒效当量的重金属差异化限量标准体系，完善法规技术依据；二是开发绿色高效的产地重金属修复和阻控技术，从源头降低污染风险；三是研发低成本、高准确度的便携化快速检测技术，强化产业链现场监管能力；四是开展金银花中重金属复合暴露的人群队列研究，结合生物可给性特征完善科学的风险评估体系。同时，需通过科技创新、制度创新的双轮驱动推动研究成果的产业化落地，实现金银花中重金属风险管控从末端检测向全过程治理的转型，最终构建“土壤 - 原料 - 饮片 - 制剂”的全链条质量管控体系，在保障金银花临床用药安全的同时，维护其药用价值与产业的高质量发展。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 王莹, 申明睿, 刘芫汐, 等. 2025 年版《中国药典》中药中外源性有害残留物检测标准制修订解读与思考 [J]. 中国药品标准, 2025, 26(1): 83-92.
- [2] 王桂安, 梁春穗, 黄琼, 等. 广东省居民主要膳食镉暴露风险的初步评估 [J]. 中国食品卫生杂志, 2012, 24(4): 353-357.
- [3] Jarup L, Akesson A. Current status of cadmium as an environmental health problem [J]. *Toxicol Appl Pharm*, 2009, 238(3): 201-208.
- [4] Satarug S, Garrett S H, Sene M A, et al. Cadmium, environmental exposure, and health outcomes [J]. *Cien Saude Colet*, 2011, 16(5): 2587-2602.
- [5] 李耀磊, 金红宇, 王丹丹, 等. 金银花中镉元素残留量测定能力验证研究 [J]. 中国药事, 2019, 5(33): 568-574.

- [6] 彭丽琼. 云南某城市矿区周边农田土壤-农产品重金属污染及健康风险评估 [D]. 昆明: 云南农业大学, 2024.
- [7] Zheljzakov V D, Nielsen N E. Effect of heavy metals on peppermint and cornmint [J]. *Plant Soil*, 1996, 178(1): 59-66.
- [8] 倪荣, 张丽, 郭绍芬, 等. 平邑不同区域金银花各部位及土壤中重金属元素含量测定 [J]. *安徽农业科学*, 2016, 44(13): 59.
- [9] 中国药典 [S]. 四部. 2025.
- [10] 郭兰萍, 周利, 王升. 《中医药-中药材重金属限量中药材重金属限量》ISO 国际标准下中药材重金属污染现状与分析 [J]. *科技导报*, 2017, 35(11): 91-98.
- [11] 郑涵. 稻田土壤中 Cd 形态与有效性主要影响因子与调控关键技术 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2020.
- [12] 王高红, 朱蒙, 张文硕, 等. 金银花有效成分含量与土壤因子相关性研究 [J]. *广西植物*, 2025, 45(6): 1110-1121.
- [13] 李培中, 吕晓健, 王海见, 等. 某电镀厂六价铬污染土壤还原稳定化试剂筛选与过程监测 [J]. *环境科学*, 2017, 38(1): 368-373.
- [14] 毛宽, 张国平, 王庆云, 等. 锑矿区冶炼废渣 Sb 和 As 的浸出特征—pH 的影响 [J]. *地球与环境*, 2023, 51(1): 102-107.
- [15] 李邦进. 高效液相色谱-电感耦合等离子体质谱检测中药中的五种砷形态 [J]. *福建分析测试*, 2018, 27(3): 20-25.
- [16] 汪建君, 陈惠玲, 李玲玲, 等. HPLC-ICP-MS 测定泽泻、金银花、鸡血藤中可溶性价态砷及残留限度 [J]. *中国现代应用药学*, 2015, 32(11): 1359-1363.
- [17] 操武能, 黎晓敏, 马金花, 等. 重庆道地金银花中的重金属含量研究 [J]. *西南师范大学学报: 自然科学版*, 2011, 36(1): 129-133.
- [18] 王灿, 赵四标, 张丽, 等. 云南不同地区金银花中 5 种重金属及有害元素含量测定分析 [J]. *食品安全导刊*, 2025, 4: 63-66.
- [19] 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.
- [20] 许顺贵, 刘春光. 基于 ICP-MS 的金银花和山银花中 20 种重金属及微量元素分析 [J]. *中国药物警戒*, 2015, 12(10): 614-617.
- [21] 周俊彤, 张伊彤, 彭聪男, 等. 同步辐射 μ -XRF 用于金银花中砷的吸收分布和转运趋势研究 [J]. *北京联合大学学报*, 2025, 39(1): 69-77.
- [22] 刘涛. 基于阳极溶出伏安法的重金属铅和镉检测研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨商业大学, 2020.
- [23] 杨冉, 晁娅楠, 李建军, 等. 计时电位溶出法测定中药材金银花和田七中痕量砷 [J]. *理化检验-化学分册*, 2010, 46(7): 793-796.
- [24] 李浩佳, 贺诗华, 曹艺泽, 等. 以碳量子点为荧光信号的生物传感器构建及其在金银花 Pb^{2+} 检测中的应用 [J]. *轻工学报*, 2024, 40(2): 1-8.
- [25] 匡必玲. 氢化物发生 ICP-AES 与原子荧光光谱法测定化妆品砷汞含量比较 [J]. *河南预防医学杂志*, 2018, 29(10): 740-742.
- [26] 叶慧敏, 苏昱, 李月, 等. 重金属与蛋白质相互作用的研究进展 [J]. *环境生态学*, 2023, 5(4): 88-92.
- [27] 陆叶, 邹丹凤, 张学博, 等. 电感耦合等离子体质谱法测定常见中药饮片中的 5 种重金属含量 [J]. *实验室检测*, 2024, 2(7): 62-65.
- [28] 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.
- [29] 左甜甜, 申明睿, 张磊, 等. 中药中重金属及有害元素限量标准的制定及有关问题的思考 [J]. *药物分析杂志*, 2023, 43(4): 701-711.
- [30] 王焱. 常见中药材中 6 种重金属的含量分析及其健康风险评估 [D]. 银川: 宁夏医科大学, 2023.
- [31] 陈晓晨, 韩泽亮, 张剑宇, 等. 中国典型土壤中铅的生物可给性的影响因素分析与健康风险评估 [J]. *生态环境学报*, 2021, 30(1): 165-172.
- [32] 骆璐. 药用植物多农残重金属的大样本检测及综合风险评估 [D]. 苏州: 中国中医科学院, 2021.

[责任编辑 解学星]