

基于人工智能的中药材及饮片快速无损检测技术研究

陈恩杰 王希娟 王鑫鑫 史小琴

陕西国际商贸学院, 陕西 西安 712046

摘要: 中药材及饮片的质量直接关系到中医药临床疗效与用药安全, 传统检测方法存在操作复杂、耗时久、破坏性强等局限, 难以满足现代中医药产业高效质控的需求。本研究围绕基于人工智能(AI)的中药材及饮片快速无损检测技术展开研究, 首先分析传统检测技术的不足, 随后系统阐述光谱技术、成像技术、声学技术等无损检测手段与AI算法的融合应用, 重点探讨数据预处理、特征提取、模型构建等关键技术环节, 最后展望未来发展方向。研究表明, AI驱动的无损检测技术可实现中药材及饮片真伪鉴别、成分含量测定、品质等级划分的快速化与精准化, 为中医药产业质量管控体系升级提供技术支撑。

关键词: 人工智能; 中药材; 中药饮片; 无损检测; 光谱技术; 机器学习

DOI:10.64649/yh.shygl.2025010011

0 引言

中医药是我国传统医学的重要组成, 在疾病预防、治疗与康复中作用关键, 而中药材及饮片作为其临床应用核心载体, 质量受品种、产地、加工工艺、储存条件等多因素影响, 若存在掺假、霉变、有效成分不达标等问题, 会降低疗效且引发用药安全风险, 因此建立科学高效精准的质量检测体系对中医药产业健康发展至关重要。

传统检测技术包括外观、显微、理化鉴别及色谱分析, 外观鉴别依赖经验主观性强, 显微鉴别操作繁琐, 理化与色谱分析虽精度高, 但需样品前处理, 存在检测周期长、破坏性大、成本高的问题, 难以批量快速筛查。随着中医药产业规模化标准化发展, 传统技术无法满足实时质控与溯源需求, 亟需新技术突破。人工智能技术则为其带来新机遇, AI算法可与无损检测技术结合, 实现质量指标快速判定, 优势显著, 已成为研究热点, 本研究旨在梳理相关技术进展, 明确关键与方向, 为产业实践提供参考。

1 传统中药材及饮片检测技术的局限

1.1 主观性强与经验依赖度高

传统检测中的外观鉴别与显微鉴别高度依赖检测人员的专业经验。外观鉴别通过观察中药材及饮片的形状、颜色、气味、质地等特征判断质量, 例如通过“鹦哥嘴”“肚脐眼”等形态特征鉴别天麻真伪, 但该方法易受光照、人员视觉差异、经验积累程度等因素影响, 对

于形态相似的品种(如易与正品天麻混淆的紫茉莉根、大丽菊根), 易出现误判^[1]; 显微鉴别需通过显微镜观察细胞结构、内含物等特征, 如鉴别黄连时需观察石细胞、淀粉粒的形态, 但操作过程中样品制片质量、显微镜放大倍数选择及人员对特征的判断能力, 均会影响鉴别结果的一致性, 难以实现标准化检测。

1.2 破坏性检测与检测周期长

理化鉴别与色谱分析等精准检测方法需对中药材及饮片进行破坏性前处理。例如, 采用高效液相色谱法测定黄芩中黄芩苷含量时, 需将样品粉碎、超声提取、过滤、定容后才能进行分析, 处理过程不仅破坏样品完整性, 无法实现样品的重复利用与后续溯源, 还需消耗大量试剂(如甲醇、乙腈), 存在环保与成本问题。同时, 这类方法检测周期长, 单个样品从预处理到获得结果通常需数小时, 若涉及多批次样品检测, 需投入大量时间与人力, 难以满足生产线上实时质控、流通环节快速筛查的需求。

1.3 批量检测能力与智能化程度低

传统检测技术多以“单一样品逐一检测”模式开展, 缺乏批量处理能力。在中药材及饮片生产基地、批发市场等场景中, 需对大量样品进行质量抽检, 传统方法因检测效率低, 往往只能采用低比例抽样检测, 易导致不合格样品漏检; 且多数传统检测技术未与数字化、智能化技术结合, 检测数据需人工记录与分析, 无法实现数据的实时存储、共享与追溯, 难以构建全链条质量管控体系, 不利于中医药产业的标准化与信息化发展。

2 基于人工智能的中药材及饮片无损检测技术体系

2.1 信号采集：无损检测手段的选择与应用

信号采集是中药材及饮片无损检测的基础，需按真伪鉴别、成分测定、霉变评估等目标选适配技术，核心含光谱、成像、声学三类。光谱技术应用最广，通过光的吸收、反射或荧光获化学信息：近红外光谱穿透性强，可测人参皂苷等成分、水分及真伪；拉曼光谱凭“指纹图谱”辨冬虫夏草等易掺假药材成分差异；荧光光谱激发荧光信号，快速检测黄曲霉素，灵敏度高且操作简便。成像技术聚焦外观与内部：高光谱成像融合光谱与空间信息，同步鉴真伪、析成分分布；机器视觉借可见光提形状等特征，用于分级、除杂与霉变识别；X射线成像穿透样品，查虫蛀等内部缺陷。声学技术分析振动信号，判药材硬度（如分白芍与赤芍）及饮片完整性，助力批量筛选。

2.2 数据预处理：提升信号质量的关键步骤

中药材及饮片无损检测信号易受外界干扰（环境光照、仪器噪声、样品形态差异）与系统误差（光谱基线漂移、成像镜头畸变）影响，原始数据含冗余信息与噪声，直接建模会降低AI模型准确性与稳定性，因此需通过数据预处理优化质量，核心方法包括信号校正、噪声去除与数据标准化。

信号校正针对系统误差：光谱数据用基线校正消除颗粒度、光路导致的基线漂移，借SNV与MSC减少表面散射误差；成像数据通过几何校正修正镜头畸变，光照均匀化处理消除光照不均对颜色特征的影响。噪声去除用平滑处理降低光谱高频噪声，小波变换分离复杂成像数据的噪声与有效成分。数据标准化通过缩放或转换消除量纲与分布差异，如光谱吸光度归一化、成像RGB像素值标准化，确保数据适配AI模型分析。

2.3 特征提取：挖掘与质量相关的关键信息

原始无损检测数据（如高维光谱、海量图像像素）含大量与质量无关的冗余特征，直接输入AI模型会增加复杂度、降低训练效率，甚至引发“维度灾难”。特征提取需通过数学方法与算法，从原始数据中挖掘与中药材及饮片质量紧密相关的关键特征，实现数据降维与信息聚焦。

光谱数据常用主成分分析（PCA）、偏最小二乘判别分析（PLS-DA）、连续投影算法（SPA）：PCA将高维数据投影到低维空间保留主要变异；PLS-DA结合质量标签筛选高关联特征；SPA筛选信息丰富波长点，如黄芪多

糖检测中可从数百个波长点选10-20个关键波长^[2]。成像数据按类型提取特征：机器视觉图像提取颜色、形状、纹理特征（如用颜色区分霉变当归）；高光谱图像融合光谱与空间特征，如鉴别掺假三七时精准定位掺假区域。

2.4 模型构建：AI算法的选择与优化

模型构建是AI无损检测的核心，需依检测目标选算法，建立特征与质量指标的映射，分分类（真伪鉴别、等级划分）与回归（成分、水分测定）模型，常用机器学习与深度学习算法。

机器学习适用于数据量适中、特征明确场景：分类任务中，SVM处理小样本（如珍稀药材鉴别），RF与XGBoost抗干扰（如多产地药材分类），KNN实时性强（如批量筛选）；回归任务中，PLSR与SVR建光谱与成分关系（如测甘草酸含量）^[3]。深度学习适用于数据量大、特征复杂场景：CNN自动提图像深层特征（如冬虫夏草鉴别准确率超98%），RNN与LSTM析光谱时序关系，GAN生成虚拟样本补稀缺数据。模型优化含超参数调优（网格搜索等）与验证（交叉验证等），确保模型可靠。

3 AI无损检测技术的产业应用价值

3.1 生产环节

生产环节中，该技术实现“质控前置”与“效率提升”双重目标。对中药材种植基地，便携式AI检测设备可在采收前现场快速检测药材成熟度与有效成分含量，指导农户按品质分级采收，避免盲目采收导致的品质失衡；对饮片加工企业，在线AI无损检测系统能嵌入清洗、切片、烘干等工序，实时监测饮片形态完整性、霉变情况及成分均匀度，如当归切片生产中，机器视觉与AI模型可自动剔除厚度超标产品，近红外光谱系统同步检测阿魏酸含量，保障加工质量稳定，减少返工浪费与企业成本。

3.2 流通环节

流通环节里，技术为“精准溯源”与“风险筛查”提供有力支撑。针对批发市场这一质量风险高发场景，AI驱动的手持拉曼光谱仪等设备，可让监管人员在几分钟内完成进场样品批量筛查，精准鉴别真伪、检测掺假，有效拦截染色、增重等不合格产品；同时检测数据实时上传溯源平台，结合区块链实现“一品一码”，消费者扫码即可查看检测报告、产地及加工信息，增强产品信任度，助力优质药材打造市场品牌。

3.3 监管环节

监管环节上，技术推动监管模式从“被动应对”向“主动预防”转型。借助AI无损检测

构建的“智慧监管平台”，监管部门可整合生产企业、市场、药店的检测数据，通过大数据分析定位质量风险高发的品种、产地与环节，如针对三七掺假问题精准锁定源头产区并提前整治^[4]；AI模型还能学习历史数据，预测不同季节、储存条件下药材质量变化趋势（如高温高湿下的霉变风险），为制定防控措施提供数据支持，大幅提升监管的精准性与前瞻性。

4 未来技术发展的深化方向

4.1 轻量化模型与边缘计算的深度融合

当前AI无损检测模型多依赖高性能计算机或云端算力，限制了在基层医疗机构、小型种植户等场景的应用。未来需重点研发轻量化AI模型，通过模型压缩（如知识蒸馏、量化pruning）在保证检测精度的前提下，降低模型体积与算力需求，使其可部署于智能手机、小型检测终端等边缘设备。例如，将原本需云端运算的CNN鉴别模型压缩至几兆字节，通过手机摄像头采集中药材图像，即可在本地完成真伪鉴别，大幅降低技术应用门槛，让基层用户也能便捷使用；同时，边缘计算技术可实现检测数据的本地预处理与隐私保护，避免敏感数据（如企业生产工艺数据、产地特色品种数据）上传云端导致的泄露风险，提升技术应用的安全性及可接受度。

4.2 多任务AI模型与动态学习机制的构建

现有AI检测模型多针对单一任务（如仅鉴别真伪或仅测定单一成分），难以满足实际场景中多维度质量检测的需求。未来可构建多任务AI模型，通过共享特征提取层、设计多输出损失函数，实现“一次检测多指标判定”，例如通过一次高光谱数据采集，同步完成中药材的真伪鉴别、有效成分含量测定、霉变程度评估与农残快速筛查，进一步提升检测效率；同时，引入动态学习机制，让AI模型具备“持续进化”能力——当出现新型掺假手段、新的药材品种或检测环境变化时，模型可通过增量学习（Incremental Learning）技术，在不重新训练整个模型的情况下，仅通过少量新样本更新参数，快速适应新场景，避免因模型迭代周期长导致的技术滞后问题。

4.3 结合中医药理论的AI模型优化

当前AI无损检测模型多基于数据驱动，缺乏对中医药理论的融入，导致部分检测结果与中医药临床应用需求存在偏差。例如，传统中医药强调中药材的“道地性”，认为产地、炮

制工艺会影响药材的“药性”，而现有模型多关注成分含量，难以全面反映“药性”差异。未来可推动AI模型与中医药理论深度结合，在特征提取与模型构建中融入中医药特色指标，例如在道地药材鉴别中，结合“形、色、气、味”的传统鉴别经验，将气味特征（通过电子鼻采集）、传统形态描述（如“鸡爪黄连”的形态特征）转化为可量化的AI模型输入特征，使检测结果不仅符合现代成分标准，更贴合中医药临床对药材品质的判断需求；同时，联合中医药专家构建“人机协同”的检测体系，让专家经验通过标注数据、模型调优的方式融入AI算法，提升模型对中医药特色质量指标的识别能力，推动技术更贴合中医药产业的本质需求。

5 结语

基于人工智能的中药材及饮片快速无损检测技术，是现代信息技术与传统中医药产业深度融合的重要成果。其突破传统检测主观性、破坏性与低效率的局限，实现检测快速化、精准化与无损化，为产业全链条质量管控提供全新方案，不仅是提升中医药质量安全的关键工具，更是推动产业标准化、智能化、国际化发展的重要引擎。随着技术迭代与场景拓展，未来需加强产学研协同，推动技术从实验室走向产业一线，同时重视技术标准化与人才培养，解决落地难题。相信不久后，该技术将全面融入中医药产业各环节，为保障人民用药安全、促进中医药事业传承创新提供坚实支撑，让这一传统瑰宝在现代科技赋能下焕发新活力。

参考文献：

- [1] 周勤梅, 朱欢, 耿昭, 等. 中药材及饮片质量控制和评价的关键技术评析[J]. 环球中医药, 2023, 16(03): 379-386.
- [2] 韩勇, 兰杰, 郭瑞瑶, 等. 基于深度学习的中药材饮片识别[J]. 西北农业学报, 2023, 32(11): 1859-1867.
- [3] 徐雅静, 俞捷, 余远盼, 等. 人工智能在中药材及饮片鉴别领域的应用[J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(08): 47-50.
- [4] 郭晓晗, 张萍, 荆文光, 等. 从2020年国家药品抽检专项有关问题谈中药材及中药饮片监管[J]. 中国现代中药, 2021, 23(10): 1679-1685.

作者简介：陈恩杰（1992.10—），男，汉族，甘肃武威、硕士，助理工程师，研究方向：AI、数据挖掘。