

中药材及饮片检测中人工智能应用探讨

王超超^{1,2,3}, 张先超^{1,2,3*}, 谷正昌^{1,2,3,4}, 王阶⁵

(1. 嘉兴大学信息网络与智能研究院, 浙江嘉兴 314001; 2. 浙江省医学电子与数字健康重点实验室, 浙江嘉兴 314001;
3. 全省多模态感知与智能系统重点实验室, 浙江嘉兴 314001; 4. 上海大学计算机工程与科学学院, 上海 200444;
5. 中国中医科学院广安门医院, 北京 100053)

摘要: 目前, 中药材及饮片的市场需求快速增长, 其质量控制与安全保障更显迫切; 传统的中药材及饮片检测手段存在主观经验依赖、检测精度有限、无法全面量化复杂成分等问题, 难以满足中药材及饮片在准确分类与鉴别、精准成分测量等方面的需求, 而人工智能技术的快速发展与广泛应用为中药材及饮片检测提供了新的解决方案。本文总结了中药材及饮片检测的现有方法及应用现状, 系统梳理了人工智能技术在药材分类、真伪鉴别、产地溯源、有害成分测量、有效成分测量、药效测量等方面的典型应用, 深入分析了当前面临的数据收集与标准化, 检测数据共享机制, 快速、无损、低成本检测技术需求, 检测数据准确性, 多模态检测数据融合等问题。研究认为, 智能化、精准化、快速化是中药材及饮片检测未来的重点发展方向, 需要持续完善检测标准与数据共享体系、深化人工智能技术研究与应用、强化多模态数据融合技术应用、引入新型传感技术、加强人工智能技术应用监管, 以此推动我国中药材及饮片检测高质量发展, 保障中医药产业的持续健康发展。

关键词: 中药材; 中药饮片; 人工智能; 智能检测

中图分类号: TP183; R282.5 **文献标识码:** A

Applications of Artificial Intelligence in the Detection of Traditional Chinese Herbal Medicines and Prepared Slices

Wang Chaochao^{1,2,3}, Zhang Xianchao^{1,2,3*}, Gu Zhengchang^{1,2,3,4}, Wang Jie⁵

(1. Institute of Information Network and Artificial Intelligence, Jiaxing University, Jiaxing 314001, Zhejiang, China;
2. Key Laboratory of Medical Electronics and Digital Health of Zhejiang Province, Jiaxing 314001, Zhejiang, China;
3. Provincial Key Laboratory of Multimodal Perceiving and Intelligent Systems, Jiaxing 314001, Zhejiang, China;
4. School of Computer Engineering and Science, Shanghai University, Shanghai 200444, China;
5. Guang'anmen Hospital, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100053, China)

Abstract: Currently, the market demand for traditional Chinese herbal medicines and prepared slices is experiencing rapid growth, rendering quality control and safety assurance even more pressing issues. Conventional testing methods for traditional Chinese herbal medicines and prepared slices, which are heavily reliant on subjective experience, limited in detection precision, and unable to

收稿日期: 2024-02-25; 修回日期: 2024-03-29

通讯作者: *张先超, 嘉兴大学信息网络与智能研究院教授, 研究方向为人工智能、信号处理、数字健康; E-mail: zhangxianchao@zjxu.edu.cn

资助项目: 中国工程院咨询项目“面向中医药的人工智能发展战略研究”(2023-HY-10); 浙江省“鲲鹏行动”计划

本刊网址: www.engineering.org.cn/ch/journal/sscae

comprehensively quantify complex constituents, are increasingly inadequate in satisfying the requirements for accurate classification, differentiation, and precise measurement of components in these materials. The rapid development and widespread application of artificial intelligence (AI), however, offer novel solutions for the testing of the traditional Chinese herbal medicines and prepared slices. This study summarizes the existing methods and current status of testing for the traditional Chinese herbal medicines and prepared slices, sorts out the typical applications of AI in medicinal material classification, authenticity identification, traceability of origin, harmful ingredient measurement, effective ingredient measurement, and medicinal effect measurement, and analyzes the current problems regarding data collection and standardization; sharing of testing data; demands for rapid, non-destructive, low-cost testing technologies; accuracy of testing data; and fusion of multi-modal testing data. The study believes that intelligence, precision, and speed are the key development directions for the testing of the traditional Chinese herbal medicines and prepared slices. To this end, we propose the following suggestions: continuously improving the testing standards and data sharing system, deepening the research and application of AI, strengthening the application of multi-modal data fusion technology, introducing new sensor technologies, and enhancing the supervision over AI applications, so as to promote the high-quality development of testing for traditional Chinese herbal medicines and prepared slices, and ensure the continuous and healthy development of the traditional Chinese medicine industry.

Keywords: traditional Chinese herbal medicine; traditional Chinese medicine prepared slices; artificial intelligence; intelligent detection

一、前言

中药材及饮片的质量控制和评价是中药现代化发展的核心内容之一，其品质优劣直接关系到临床疗效和患者用药安全^[1,2]。近年来，随着公众健康意识的增强，中药材及饮片市场呈现持续增长态势；然而，中药材及饮片仍存在真伪掺假、产地不明、有害成分超标、药效不足等质量问题，威胁着人民群众的生命健康安全^[3,4]。因此，构建科学、精准、高效的中药材及饮片检测体系，成为保障中药品质、重塑消费者信心、推动中药现代化进程的关键任务^[5]。

现有的中药材及饮片检测方法大致可以分为经验检测法、显微检测法、人工智能感官检测法和现代理化检测法^[6,7]4种。其中，经验检测法主要通过检测人员依据药材的形、色、气、味等外观特征进行直观判断；此方法简便快捷，但受制于个人经验和主观性，难以实现标准化与定量分析^[8]。显微检测法则借助显微镜等仪器，对药材微观结构进行观察，以弥补经验法的局限，属于定性或半定量分析^[9]。人工智能感官检测法利用电子眼、电子鼻、电子舌等传感器，模拟并扩展人类的感官功能，旨在提高检测的客观性和准确性^[10]。现代理化检测法则运用色谱、质谱、光谱、分子检测等科学技术手段，实现对中药材及饮片的客观化、定量化检测。然而，面对中药材及饮片的复杂物质组成和海量检测数据，单一的手段和简单的数据处理方法通常难以有效解析其中蕴含的有效成分、毒性成分和特异性指标信息^[7,11]。

在此背景下，人工智能技术因其数据处理和模式识别能力，为破解中药材及饮片检测难题提供了崭新视角^[12]。在药材分类中，人工智能图像识别技术如卷积神经网络（CNN）等，已成功应用于人参、黄芪、当归等百余种中药材的自动分类，准确率超过90%^[13]。在药材的真伪鉴别方面，人工智能结合光谱分析（如太赫兹、红外、拉曼光谱）、支持向量机、随机森林、深度学习算法，实现了对枸杞、人参、冬虫夏草等常见药材的高精度（>95%）真伪鉴别^[14]。在药材产地溯源方面，利用图像、质谱、色谱、光谱等多模态数据融合技术，对人参、当归、黄芪等进行产地追溯（准确率为80%~85%），显著提升了药材的溯源能力^[15]。在有害成分测量方面，运用人工智能辅助的液相色谱-质谱联用、气相色谱-质谱联用等多技术融合方法，对30余种农药残留、多种重金属及10余种微生物毒素的检测准确率达到95%以上^[16,17]。在有效成分测量方面，运用人工智能构建复杂非线性关系模型，精准测定生物碱、苷类、挥发油、有机酸等，为药材质量评价提供科学依据^[18]。目前，药效测量尚处起步阶段，但通过大数据与人工智能技术对海量中药研究数据的深度挖掘和分析，有望克服多药效与多成分相互作用、剂型与给药方式等因素影响，建立精准高效的药效评估标准与模型^[19]。未来，新型人工智能技术，如多模态信息融合、深度强化学习、图神经网络等^[20,21]，将进一步赋能中药材及饮片检测，构建更为全面、立体的质量评价体系^[22]。

人工智能在中药材及饮片检测领域的应用不仅是应对传统检测方法局限性的必然选择，更是推动

中药现代化、确保药材质量、保障公众用药安全、促进产业可持续发展的迫切需要。本文围绕人工智能在中药材及饮片检测中的应用开展研究,总结中药材及饮片的主要检测方法,梳理人工智能在中药材及饮片检测中的应用现状,分析当前人工智能在中药材及饮片检测中遇到的问题和挑战,针对性提出中药材及饮片检测中人工智能应用的发展建议,以期为推动中医药高质量发展提供借鉴。

二、中药材及饮片检测方法

(一) 传统经验检测方法

传统经验检测方法是基于中医药学长期积累的经验 and 实践,通过检测者的直观感受判断药材的种类、质量等^[8]。这类方法简单、便捷、快速,不需要复杂仪器和设备,但主观性较强且依赖检测者的经验和能力,仅能作为一种快速筛查的手段使用。此外,传统经验检测方法缺乏客观、可量化的标准,不利于中药材及饮片的科学评价和质量控制。

(二) 显微检测方法

显微检测方法是传统检测方法的补充。对于一些不易通过形状进行鉴别的中药材及饮片,通过显微镜观察药材的内部组织构造、细胞性状等,完成对中药材及饮片的检测^[23]。这类方法需要专业的设备和技术人员支持,且对样品有一定的要求。

(三) 人工智能感官检测法

人工智能感官检测法是近年来兴起的一种检测方法,利用先进的传感器和算法模仿人类视觉、嗅觉和味觉等功能,模拟人对中药材及饮片进行检测的方法。目前,投入使用的主要设备有电子眼、电子鼻和电子舌等。① 电子眼^[14]利用图像识别和处理技术,对中药材及饮片的外观特征进行采集分析,包括颜色、形状、纹理等,以达到评估的目的。② 电子鼻^[24]利用一个或多个气敏传感器检测中药材及饮片散发的气味,将不同气味分子在传感器表面的作用转化为可测量的电信号,从而进行气体的分析,实现对中药材及饮片的检测。③ 电子舌^[25]利用味觉传感器,将中药材及饮片的味道信息转换为计算机可处理的电信号,结合模式识别算法完成对中药材及饮片的质量评价。

与传统经验检测方法相比,人工智能感官检测法具有更好的量化能力和稳定性,可实现对中药材的自动化和智能化检测^[10]。但是,受限于相关技术的发展,人工智能感官在可靠性、检测模型传递等方面还存在一定问题;多以传统的中药材及饮片性状为基础,人工智能感官的部分检测内容较难以量化。

(四) 理化检测方法

理化检测方法通过化学和物理方法对中药材及饮片的标志物、主要成分或有害物质进行分析,从而评估其真伪和品质等级等。理化检测方法主要有质谱法、色谱法、光谱法、分子检测法等,这类方法具有较好的客观性和量化性,是中药材及饮片质量控制的重要手段。① 质谱法通过分析物质中粒子的荷质比,得到化合物的分子量、分子结构等信息,实现对物质和成分的定性及定量分析。该方法常用于中药材及饮片中有有效成分、农药残留、重金属等的定量测量^[26,27]。② 色谱法依据不同物质对相态的选择性实现分离,从而进行物质分析,用于中药材及饮片的分类、真伪鉴别和定量检测等^[28]。根据流动相和固定相的不同,色谱法可以分为气相色谱法、液相色谱法等多种不同方法。③ 光谱法通过测量中药材及饮片在不同波长下的光吸收或发射特性,推断其化学结构和成分,常用于中药材及饮片的分类、鉴别、溯源等,也可实现对部分物质的定量分析^[29]。常用的光谱检测技术有红外光谱法、太赫兹光谱法、激光诱导击穿光谱法、拉曼光谱法等^[30,31]。④ 分子检测法主要利用分子生物技术,如蛋白质标记技术、聚合酶链式反应技术、脱氧核糖核酸条形码技术等^[32,33],实现对中药材及饮片的检测。

(五) 其他检测方法

除上述检测方法外,还有一些用于中药材及饮片质量控制的检测方法,具体有: X射线衍射法,可以分析中药材及饮片的晶体结构^[34];核磁共振法,可以深入中药材及饮片内部进行物质检测^[35];热分析法、电化学法等,可以从不同角度对中药材及饮片进行检测和分析^[36,37]。此外,中药指纹图谱作为一种综合、可量化的鉴定手段,可以利用多种检测数据对中药材及饮片进行定性和定量评价^[27]。

三、中药材及饮片检测中人工智能应用现状

人工智能技术已在自然语言处理、图像识别、生成式人工智能等领域广泛应用，并且取得了一定的成果。在中药材及饮片检测领域，人工智能技术展现出了广阔的应用前景（见图1）。人工智能技术

结合传统机器学习、神经网络和深度学习、增量学习、多模态数据融合等多种技术手段，可以实现对中药材及饮片的智能检测和分析（见表1），为中药材及饮片的质量控制、药效安全和安全性保障提供了重要支撑。近年来，人工智能技术在中药材及饮片检测中的应用取得了快速发展，在药材分类、真

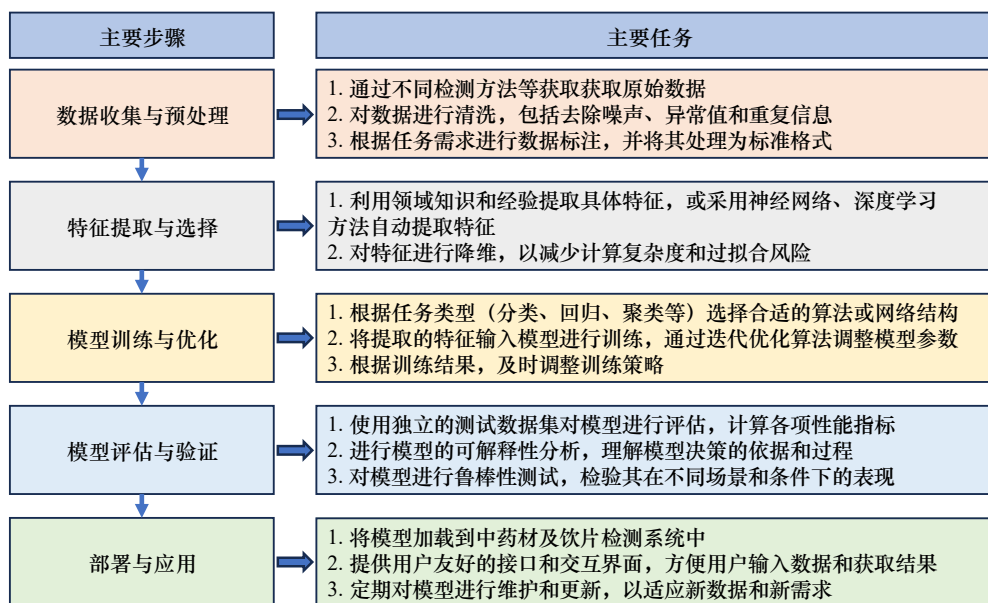


图1 人工智能在中药材及饮片检测中的应用模式

表1 不同类型人工智能算法在中药材及饮片检测中的应用情况表

类型	主要技术方法	优点	缺点	适用场景
传统机器学习方法	支持向量机、决策树、随机森林、朴素贝叶斯、K近邻算法等	算法成熟稳定；对中小规模数据集表现良好；解释性强，易于理解模型决策过程	依赖手动提取和选择特征；对大规模高维数据处理不佳；非线性复杂关系的建模能力弱	中药材及饮片快速分类、质量评估等任务，特别是数据量不大、特征较为明显的场景
神经网络和深度学习	CNN、循环神经网络、长短期记忆网络、注意力机制、Transformer等	能自动提取和学习数据深层特征；对大规模高维数据处理能力强；强大的非线性复杂关系建模能力	对数据集要求比较高；需要大量计算资源，训练时间长；解释性差，难以理解模型内部决策过程	需要对中药材及饮片进行精细评价的场景，如成分定量测量、药效定量测量等
增量学习方法 ^[38]	知识蒸馏、滞后调节、参数正则、动态结构、数据重返、数据约束等	能够持续学习新的知识；无需重新训练整个模型，节省计算资源	可能产生灾难性遗忘；需要针对不同场景设计和优化增量学习策略	中药材市场检测、饮片生产过程中的质量控制等需要持续学习和适应变化的场景
多模态数据融合方法 ^[39]	多核学习方法、图像模型方法、神经网络方法、协同架构、联合架构、编码器架构	能综合利用不同模态数据的互补信息；提高决策的准确性和鲁棒性	不同模态数据之间的对齐和同步存在挑战；计算复杂度和数据维度高，需要更多的计算资源	中药材及饮片的多源信息融合分析，如结合图像、光谱、文本等多模态数据进行综合质量评估

伪鉴别、产地溯源、有害成分检测、有效成分检测、药效检测等多个方向得到广泛应用^[21]。

（一）药材分类

不同种类的中药材及饮片药效不同，正确分类是保证临床疗效的首要条件。然而，中药种类繁多，部分中药材及饮片形态接近，难以完全使用人工进行分辨，并且日益增长的中药材及饮片需求使得传统分类方法难以满足快速、准确的分类需求。图像识别技术具有实现方案简单、检测速度快、成本较低等优势，被视为实现中药材及饮片分类的最佳技术。目前，利用 CNN 等网络模型构建的中药材及饮片自动分类系统，可以准确识别和分类包括人参、黄芪、当归等在内的百余种常见中药材^[13]。在实际应用中，这些系统的药材分类准确率通常在 90% 以上，显著提高了中药材及饮片分类的效率和准确性^[11,40]。

（二）真伪鉴别

目前，中药材市场上仍存在一些造假行为，如将假冒、异物和非药用成分掺入到药材或饮片中，危害人民的生命健康，也可能导致相关科学研究、生产制药和临床应用的失败。在对中药材及饮片进行真伪鉴别时，单一的图像检测技术进行检测时效果不佳，可以搭配操作简单、成本较低的光谱分析技术，如太赫兹光谱、红外光谱、拉曼光谱等，获取中药材及饮片的内外特征和部分化学成分信息，结合支持向量机、随机森林和深度学习算法，实现对真伪药材的鉴别^[41,42]。目前，现有的设备和系统可以对市场上常见的假冒伪劣的枸杞、人参、冬虫夏草等药材进行鉴别，一般准确率在 95% 以上^[4]。

（三）产地溯源

中药材的品质受种源、土壤品质、栽培技术、生态环境等影响较大。特定地区生产的药材相较于其他地区生产的同种药材会具有更好的临床疗效，称为道地药材。因此，加强产地溯源对保障中药材及饮片的质量和疗效、推动中药产业健康发展具有重要意义。然而，同种类的中药材及饮片在外观、成分等方面都极为相似，需要结合部分化学成分和微量元素进行分析才能够实现精准分类。综合使用图像、质谱、色谱、光谱等多模态数据融合方法，

提高产地溯源的准确性和鲁棒性。目前，上述技术已成功应用于人参、当归、黄芪等多种中药材的产地溯源中，但是由于相关数据的多样性和复杂性以及不同产地同种药材的相似性，相较于药材分类和真伪鉴别，产地溯源的准确率略低（通常为 80%~85%）^[15,43]。

（四）有害成分测量

中药材及饮片的原材料主要来自自然环境和人工培育条件下的植物、动物或矿物等。由于土壤和水源污染、人工种植不当、自身蓄积伴生等原因，可能导致部分药材中的重金属、农药残留及有害元素含量偏高，进而影响中药材及饮片的用药安全。针对中药材及饮片中的重金属和农药残留检测，可以采用化学法、光谱法、色谱法、质谱法等技术手段来明确具体成分与含量。随着技术的进步和检测要求的提高，多技术融合检测方法越来越多地用于中药材及饮片的检测中，如液相色谱-质谱联用、气相色谱-质谱联用等方法，并成为未来的主要发展方向。同时，多技术融合检测方法需要更多新的多模态数据融合算法，通过学习不同模态数据中的特征，利用不同数据之间的互补性，提高对有害成分的检测精度。目前，借助人工智能算法，已对常见的 30 余种农药残留（甲胺磷、六氯环己烷等）、多种重金属（铅、砷、汞等）、10 余种微生物毒素（黄曲霉毒素、赭曲霉毒素）等进行检测，检测准确率可以达到 95% 以上^[16,17]。

（五）有效成分测量

在中药材及饮片的有效成分测量方面，目前检测的主要成分有各种生物碱、苷类、挥发油、有机酸等。但是，中药材成分复杂，许多有效成分尚未被发现且成分之间可能存在相互作用和干扰的问题。一方面，中药材及饮片的有效成分的测量依托对中药材及饮片的有效成分研究；另一方面，需要更加强大的算法建立起成分与含量之间的复杂非线性关系模型，这也是中药材及饮片有效成分测量的未来发展方向^[18]。

（六）药效测量

目前，有关中药材及饮片的药效测量研究和应用还较少。一方面，单一中药可能具有多种药效，

这些药效可能针对不同的疾病或症状，在进行药效分析时需要参照具体疾病或症状进行评估，这增加了药效分析的复杂性；另一方面，中药通常包含多种活性成分，这些成分可能以复杂的方式相互作用以产生药效，通常呈现出非线性的复杂关系。除此之外，中药的药效还受多种因素影响，如药物剂型、给药途径、方剂中其他药物的种类和数量等。为此，需要建立更为精准、高效的药效评估标准流程和模型，运用大数据和人工智能技术，对海量的中药研究数据进行深度挖掘和分析^[19,22]。

四、人工智能技术在中药材及饮片检测中应用存在的问题

人工智能技术在中药材及饮片检测中的应用虽然取得了一定的进展，但也存在一些问题和挑战，需要进一步研究和解决，主要体现在数据收集与检测标准化体系建设、中药材及饮片检测数据共享机制、部分检测方法成本高昂、单一检测数据的准确性问题、多模态检测数据融合问题等方面。

（一）数据收集与检测标准化体系建设

在中药材及饮片检测领域，数据收集与检测标准化是确保检测结果准确性和可比性的基石，然而，数据收集与检测标准化体系建设面临一系列挑战。在实际收集中药材及饮片的检测数据时，经常遇到数据不完整、标注不准确、存在噪声等问题；标准化体系的建设不仅涉及技术问题，更涉及行业习惯、市场需求乃至国际贸易规则等复杂因素，同时也需要因地制宜，考虑各地环境、设备人员等条件差异；随着新技术和新方法的不断涌现、科学研究的深入和市场需求的变化，需要不断对标准体系进行动态更新和维护。

（二）中药材及饮片检测数据共享机制

中药材及饮片种类多样、生产批次多，部分检测方法耗时长、成本高，导致难以获取大规模、多样化的检测数据集。中药材及饮片检测数据共享，有助于构建大型中药材及饮片检测数据集，提升人工智能模型的泛化能力，促进企业、高校、科研院所之间相互学习和共同进步，促进行业公平竞争和市场透明化，推动行业整体发展。但是，数据共享

事关不同机构、企业的商业利益，包括知识产权、商业机密等敏感问题，既需要建立严密的数据安全和隐私保护机制，也需要明确的数据共享政策和法规指导。此外，由于缺乏统一的数据格式和标准，不同来源的数据难以直接交换和共享，数据的质量、可靠性和时效性问题亟待解决。

（三）快速、无损、低成本的检测技术需求

在实际的中药材及饮片检测过程中，开发快速、无损且低成本的检测技术以全面揭示中药材及饮片的内在质量，并应用在生产各个环节中，能够显著提高中药材及饮片的生产质量。这也是目前中药材及饮片行业发展的迫切需求。目前，在中药材及饮片快速、无损、低成本的检测技术方面面临的挑战具体有：为实现中药材及饮片的快速检测，需要开发新的检测方法和设备，能够在短时间内完成大量样品的检测；为确保在不破坏样品的前提下获取准确的质量信息，需要发展无损检测技术并对技术的灵敏度和分辨率提出了更高的要求；由于中药材及饮片的种类繁多、形态差异大，快速无损检测技术还需要具备良好的通用性和适应性，这要求检测设备及方案能够针对不同类型的样品进行灵活调整和优化。

（四）单一检测数据的准确性问题

单一检测手段尽管难以实现中药材及饮片性质的全覆盖，但其在经济性、实用性、快速检测、辅助诊断、研究开发、质量控制等方面仍具有不可替代的作用。同时，不同检测手段的准确性也是对中药材及饮片进行综合质量评价的基础。目前，已有多种检测手段可用于中药材及饮片，但在实际应用中，部分检测方法的准确性仍然有待提高。一是中药材及饮片的成分复杂，导致检测的数据量大、特征信息多、噪声干扰大，需要设计强大的算法进行数据的清洗和解析；二是不同检测手段产生的数据类型可能不同，如光谱数据、色谱数据、图像数据等，其反应的中药材及饮片特征也不尽相同，需要分别设计不同的算法来应对不同的数据类型和解析需求，以确保最终数据解读的准确性和可靠性。

（五）多模态检测数据融合问题

在对中药材及饮片进行精细化评价时，单一检

测数据分析无法满足实际需求，而多模态融合技术可以利用不同检测手段产生的数据，从不同维度全面、准确地揭示中药材及饮片的内在质量特性。但是，中药材及饮片多模态检测数据的融合分析也存在诸多挑战。一是不同检测手段产生的数据类型、数据结构、数据维度等各不相同，需要对不同模态的数据进行对齐和配准，以确保其在空间和时间上的一致性；二是为发挥不同模态数据之间的互补和协同作用，需要设计和选择合理的融合策略，构建能够同时处理多种数据类型、挖掘数据间深层次关联性的融合模型；三是由于中药材及饮片的复杂性和多样性，难以获取大量准确标注的多模态数据以用于模型训练，需要设计合理的评价指标和实验方案；四是多模态数据融合分析还需要考虑实际应用中的可行性和效率问题以平衡检测成本、检测速度和检测准确性之间的关系。

五、中药材及饮片检测中人工智能应用的发展建议

人工智能技术在中药材及饮片检测中的应用具有广阔的发展前景。随着人工智能技术的不断发展和完善、中药材及饮片检测数据量的不断积累，人工智能技术在中药材及饮片检测中的应用将会更加深入和广泛，为中药材及饮片的质量控制和安全保障提供更加有效的技术手段。以下是对未来发展的建议。

（一）持续完善检测标准和数据共享体系建设

制定全面细致的检测标准体系，涵盖中药材及饮片检测应用的分类、产地溯源、质量评价、药效评价等方面，确保每一环节都有明确、可操作的标准。制定统一的检测数据规范，确立不同检测手段得到的数据在格式、存储标准和交换协议等方面具有一致性，确保各方在数据共享过程中能够无缝对接。利用云计算、大数据、区块链等技术，搭建中药材及饮片检测数据共享平台，实现中药材及饮片检测数据的存储、处理、分析和共享等功能，满足中药材及饮片行业的数据需求，同时在数据共享过程中，需要做好加密、访问权限管理等工作。建立高校、科研机构、企业、政府部门等多方合作机制，支持数据共享体系的持续发展，共同推动中药

材及饮片检测体系的开放、共享和研究。

（二）深化人工智能技术的研究与应用

一是明确人工智能技术在中药材及饮片检测中应用的评价流程和标准。制定详细的评价流程和方法，明确评价标准和指标，确保各项人工智能技术应用的客观、公正，探索和推广中药材及饮片检测中应用人工智能技术的最佳实践案例。二是强化理论基础研究。深入探索人工智能技术在中药材及饮片检测中的理论和方法，尤其是利用深度强化学习、注意力机制、Transformer 和图神经网络等技术，对中药材及饮片的复杂数据特征进行深度挖掘。三是拓展全产业链应用。探索人工智能技术在中药材及饮片全产业链中的应用能力，实现从种植、生产、加工、流通到销售的全过程追溯和质量控制。

（三）强化多模态数据融合技术的应用

一是开发专用的多模态数据采集设备。针对中药材及饮片的特性，开发适用的多模态数据采集设备，解决不同数据的对齐问题，确保数据采集的高效性和准确性。二是利用大模型推动多模态数据融合与生成式人工智能技术的应用。利用大模型的跨模态理解和融合能力，集成中药材及饮片的图像、光谱、文本、传感器数据等多种类型信息，构建全方位、立体化的中药材特征表示，提高检测的准确性和泛化能力。此外，还可研究大模型在生成解释性报告、预测检测结果等方面的可能性，提升检测过程的可解释性。三是加强多模态融合技术的应用验证和优化。开发基于多模态数据融合的中药材智能检测系统，加强实际应用，对融合算法进行持续优化和验证，以满足中药材行业日益增长的检测需求。

（四）引入新型传感器技术在中药材及饮片检测中的应用

深入研发生物传感器、纳米传感器等新型传感器在中药材及饮片检测中的应用，利用新型传感器的高灵敏度、高特异性等特点，提高检测的准确性和可靠性。开发能够快速响应并准确检测中药材及饮片的仪器，研发快速、无损检测技术，显著提高检测效率，以帮助中药材及饮片分拣、生产等流水

线式控制。不断提升传感器的检测精度和稳定性,持续进行仪器优化和升级,优化仪器仪表的操作流程,满足不断变化的市场需求。

(五) 加强人工智能在中药材及饮片检测中的应用监管

建立人工智能在中药材及饮片检测中应用的监管框架,明确人工智能技术在中药材及饮片检测中的应用范围、标准和要求,确保其符合相关规范和标准。针对人工智能技术在中药材及饮片检测中的应用,建立专门的伦理审查机制,对其可能涉及的伦理问题进行深入分析和评估。积极推动相关法律及法规的制定和修订工作,建立健全与人工智能技术在中药材及饮片中应用相适应的法律法规体系,为其安全和可靠应用提供有力保障。

利益冲突声明

本文作者在此声明彼此之间不存在任何利益冲突或财务冲突。

Received date: February 25, 2024; **Revised date:** March 29, 2024

Corresponding author: Zhang Xianchao is a professor from Institute of Information Network and Artificial Intelligence, Jiaying University. His major research fields include artificial intelligence, signal processing, and digital health. E-mail: zhangxianchao@zjxu.edu.cn

Funding project: Chinese Academy of Engineering project “Research on the Development Strategy of Artificial Intelligence for Traditional Chinese Medicine” (2023-HY-10); Zhejiang Province “Kunpeng Action” Plan

参考文献

- [1] 张伯礼, 张俊华, 陈士林, 等. 中药大健康产业发展机遇与战略思考 [J]. 中国工程科学, 2017, 19(2): 16–20.
Zhang B L, Zhang J H, Chen S L, et al. A development opportunity and strategic thinking for the comprehensive healthcare industry of traditional Chinese medicine [J]. Strategic Study of CAE, 2017, 19(2): 16–20.
- [2] 薛晓娟, 刘彩, 王益民, 等. 新时代中医药发展现状与思考 [J]. 中国工程科学, 2023, 25(5): 11–20.
Xue X J, Liu C, Wang Y M, et al. Status quo and development strategy of traditional Chinese medicine in the new era [J]. Strategic Study of CAE, 2023, 25(5): 11–20.
- [3] 初天哲, 陈士林, 刘友平, 等. 中药饮片发展进程及市场现状的分析与思考 [J]. 环球中医药, 2023, 16(3): 365–378.
Chu T Z, Chen S L, Liu Y P, et al. Analysis and reflection on the development process and market status of traditional Chinese medicine decoction pieces [J]. Global Traditional Chinese Medicine, 2023, 16(3): 365–378.
- [4] 李海琼. 中药饮片中存在的质量安全问题及处理策略探讨 [J]. 中医临床研究, 2018, 10(33): 120–121.
- [5] 曹雪晓, 任晓亮, 王萌, 等. 中药材及饮片规格等级质量标准研究进展 [J]. 中药材, 2021, 44(2): 490–494.
Cao X X, Ren X L, Wang M, et al. Research progress on specification, grade and quality standards of Chinese herbal medicines and decoction pieces [J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2021, 44(2): 490–494.
- [6] Zhao Z Z, Liang Z T, Chan K, et al. A unique issue in the standardization of Chinese materia medica: Processing [J]. Planta Medica, 2010, 76(17): 1975–1986.
- [7] 李海洋, 桂新景, 侯富国, 等. 中药材和中药饮片快速鉴定技术研究进展 [J]. 分析测试学报, 2023, 42(8): 1026–1038.
Li H Y, Gui X J, Hou F G, et al. Research progress on rapid identification technology of Chinese crude drugs and prepared slices of Chinese crude drugs [J]. Journal of Instrumental Analysis, 2023, 42(8): 1026–1038.
- [8] 谢宗万. 中药品种传统经验鉴别“辨状论质”论 [J]. 时珍国药研究, 1994, 5(3): 19–21.
Xie Z W. Discussion on “identification by shape and quality” in traditional empirical identification of Chinese herbal medicines [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 1994, 5(3): 19–21.
- [9] 谷红光. 中药饮片鉴别真伪的意义及相关方法 [J]. 中国当代医药, 2015, 22(7): 144–145, 148.
Gu H G. The significance and related method of authenticity identification for piece of Chinese medicine [J]. China Modern Medicine, 2015, 22(7): 144–145, 148.
- [10] 刘瑞新, 陈鹏举, 李学林, 等. 人工智能感官: 药学领域的新技术 [J]. 药物分析杂志, 2017, 37(4): 559–567.
Liu R X, Chen P J, Li X L, et al. Artificial intelligence sense technology: New technology in pharmaceutical sciences [J]. Chinese Journal of Pharmaceutical Analysis, 2017, 37(4): 559–567.
- [11] 周明. 基于人工智能及大数据技术对中药饮片生产质量管控的研究 [D]. 南京: 南京中医药大学(博士学位论文), 2018.
Zhou M. Study on management and quality control of Chinese herbal medicine based on artificial intelligence and big data technology [D]. Nanjing: Nanjing University of Chinese Medicine (Doctoral dissertation), 2018.
- [12] Hamet P, Tremblay J. Artificial intelligence in medicine [J]. Metabolism, 2017, 69: S36–S40.
- [13] 胡晓东. 基于改进深度学习算法的中药饮片图像识别研究 [D]. 长春: 吉林农业大学(硕士学位论文), 2023.
Hu X D. Research on image recognition of traditional Chinese medicine decoction pieces based on improved deep learning algorithm [D]. Changchun: Jilin Agricultural University (Master’s thesis), 2023.
- [14] 吴冲. 基于深度学习的中药材鉴别方法研究 [D]. 成都: 四川大学(硕士学位论文), 2021.
Wu C. Research on identification method of traditional Chinese medicine based on deep learning [D]. Chengdu: Sichuan University (Master’s thesis), 2021.
- [15] 金承亮, 王永军, 黄河, 等. 高维红外光谱数据预处理在中药材

- 产地鉴别中的应用 [J]. 光谱学与光谱分析, 2023, 43(7): 2238–2245.
- Jin C L, Wang Y J, Huang H, et al. Application of high-dimensional infrared spectral data preprocessing in the origin identification of traditional Chinese medicinal materials [J]. *Spectroscopy and Spectral Analysis*, 2023, 43(7): 2238–2245.
- [16] 陈黎明, 陈洁, 张晓丹. 气相色谱-串联质谱法结合 QuEChERS 法快速检测中药中 50 种农药残留 [J]. *中草药*, 2023, 54(8): 2596–2606.
- Chen L M, Chen J, Zhang X D. Rapid analysis of 50 pesticide residues in traditional Chinese medicine using QuEChERS method and gas chromatography-tandem mass spectrometry [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2023, 54(8): 2596–2606.
- [17] 楚楚, 李璟, 颜继忠. 中药重金属限量标准现状及分析方法研究进展 [J]. *浙江工业大学学报*, 2021, 49(4): 435–441.
- Chu C, Li J, Yan J Z. A review on the limit standards and analytical methods of heavy metal in traditional Chinese medicines [J]. *Journal of Zhejiang University of Technology*, 2021, 49(4): 435–441.
- [18] 张伟, 黄金林. 现代分析技术在中药药效成分检测中的应用进展 [J]. *化学分析计量*, 2023, 32(9): 116–120.
- Zhang W, Huang J L. Application of modern analytical techniques in the detection of pharmacodynamic components in traditional Chinese medicines [J]. *Chemical Analysis and Meterage*, 2023, 32(9): 116–120.
- [19] 武雨含, 李敏, 刘豪, 等. 中药药效物质辨析技术: 现状与未来 [J]. *中国科学: 生命科学*, 2022, 52(6): 943–956.
- Wu Y H, Li M, Liu H, et al. Identification of active substances from Traditional Chinese Medicine: State-of-the-art and perspectives [J]. *SCIENTIA SINICA (Vitae)*, 2022, 52(6): 943–956.
- [20] 林静怡, 李诗翩, 郭义, 等. 人工智能助力中医药发展现状、问题及建议 [J]. *世界中医药*, 2022, 17(6): 864–867.
- Lin J Y, Li S P, Guo Y, et al. Current situation, problems, and suggestions of development of traditional Chinese medicine assisted with artificial intelligence [J]. *World Chinese Medicine*, 2022, 17(6): 864–867.
- [21] 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(8): 47–50.
- Xu Y J, Yu J, Yu Y P, et al. Application of artificial intelligence in identification of Chinese medicinal materials and pieces [J]. *Chinese Archives of Traditional Chinese Medicine*, 2022, 40(8): 47–50.
- [22] 周苏娟. 融合智能感官多视角学习的中药饮片鉴别与质量评价 [D]. 广州: 广东工业大学(博士学位论文), 2023.
- Zhou S J. Identification and quality evaluation of Chinese herbal pieces based on intelligent sensory technology and multi-view learning [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology (Doctoral dissertation), 2023.
- [23] 徐国芳. 中药显微鉴定的操作方法及显微特征 [J]. *时珍国医国药*, 2000, 11(7): 631.
- Xu G F. Operation method and microscopic characteristics of microscopic identification of traditional Chinese medicine [J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2000, 11(7): 631.
- [24] Hong X Z, Wang J. Detection of adulteration in cherry tomato juices based on electronic nose and tongue: Comparison of different data fusion approaches [J]. *Journal of Food Engineering*, 2014, 126: 89–97.
- [25] 李学林, 李慧玲, 刘瑞新. 电子舌技术的应用研究述评 [J]. *中医学报*, 2013, 28(2): 247–249.
- Li X L, Li H L, Liu R X. Research progress of the application of electronic tongue technology [J]. *Journal of Chinese Medicine*, 2013, 28(2): 247–249.
- [26] Zhang J D, Cao G, Xia Y H, et al. Fast analysis of principal volatile compounds in crude and processed *Atractylodes macrocephala* by an automated static headspace gas chromatography-mass spectrometry [J]. *Pharmacognosy Magazine*, 2014, 10(39): 249–253.
- [27] Zhan C J, Wang H, Wang Y. Quality evaluation of *Atractylodes macrocephala* rhizoma through fingerprint qualitative analysis and quantitative analysis of multi-components by single marker [J]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 2022, 219: 114899.
- [28] 颌东妹, 魏晗婷, 王宁丽, 等. 离子色谱法在中药化学成分分析中的应用进展 [J]. *分析测试技术与仪器*, 2022, 28(2): 179–187.
- Xie D M, Wei H T, Wang N L, et al. Application progress of ion chromatography in analysis of chemical components of traditional Chinese medicine [J]. *Analysis and Testing Technology and Instruments*, 2022, 28(2): 179–187.
- [29] 刘磊, 卞正兰, 董作人, 等. 山药中有机农药残留的表面增强拉曼光谱检测 [J]. *激光与光电子学进展*, 2022, 59(4): 0417001.
- Liu L, Bian Z L, Dong Z R, et al. Detection of residual organic pesticides in yam by surface enhanced Raman spectroscopy [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2022, 59(4): 0417001.
- [30] 盘书宝. 基于太赫兹光谱的中草药快速识别及含量检测方法研究 [D]. 桂林: 桂林电子科技大学(博士学位论文), 2022.
- Pan S B. Research method for rapid identification and content detection of Chinese herbals based on terahertz spectroscopy [D]. Guilin: Guilin University of Electronic Technology (Doctoral dissertation), 2022.
- [31] Zhang M, Wang Y N, Ma Y, et al. Study of charge transfer effect in Surface-Enhanced Raman scattering (SERS) by using Antimony-doped tin oxide (ATO) nanoparticles as substrates with tunable optical band gaps and free charge carrier densities [J]. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 2022, 264: 120288.
- [32] Huang Y P, Wu Z W, Su R H, et al. Current application of chemometrics in traditional Chinese herbal medicine research [J]. *Journal of Chromatography B, Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences*, 2016, 1026: 27–35.
- [33] 王菲菲, 任秀, 白继超, 等. 中成药 DNA 检测标准物质的制备及评价 [J]. *中国药学杂志*, 2022, 57(4): 279–283.
- Wang F F, Ren X, Bai J C, et al. Preparation and calibration of the reference material of *oryza sativa* L. for DNA test [J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 2022, 57(4): 279–283.
- [34] 康凯, 周凌, 张艳华, 等. 中药材滑石粉及其伪品 X 射线衍射分析及物相鉴定 [J]. *中国药物评价*, 2020, 37(4): 269–272.
- Kang K, Zhou L, Zhang Y H, et al. X-ray diffraction analysis and phase identification of traditional Chinese medicine talc powder and counterfeit [J]. *Chinese Journal of Drug Evaluation*, 2020, 37(4): 269–272.
- [35] 林珊, 苏娟, 叶霁, 等. 定量核磁共振技术在中药分析中的应用

- 进展 [J]. 药学实践杂志, 2014, 32(2): 92-95, 106.
- Lin S, Su J, Ye J, et al. Application progress in quantitative NMR in analysis of traditional Chinese medicine [J]. Journal of Pharmaceutical Practice, 2014, 32(2): 92-95, 106.
- [36] 杨丽, 李旻, 李雪莲, 等. 差热分析法在中药鉴别中的研究进展 [J]. 时珍国医国药, 2014, 25(7): 1707-1708.
- Yang L, Li M, Li X L, et al. Research progress of differential thermal analysis in the identification of traditional Chinese medicine [J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2014, 25(7): 1707-1708.
- [37] 刘想晴, 单圣男, 程旺兴, 等. 中药白及与其伪品“水白及”的电化学指纹图谱研究 [J]. 中国民族民间医药, 2023, 32(18): 40-44.
- Liu X Q, Shan S N, Cheng W X, et al. Study on the electrochemical fingerprint of bletillae rhizoma and its conterfeits “shuibaiji” [J]. Chinese Journal of Ethnomedicine and Ethnopharmacy, 2023, 32(18): 40-44.
- [38] 周大蔚, 汪福运, 叶翰嘉, 等. 基于深度学习的类别增量学习算法综述 [J]. 计算机学报, 2023, 46(8): 1577-1605.
- Zhou D W, Wang F Y, Ye H J, et al. Deep learning for class-incremental learning: A survey [J]. Chinese Journal of Computers, 2023, 46(8): 1577-1605.
- [39] 何俊, 张彩庆, 李小珍, 等. 面向深度学习的多模态融合技术研究综述 [J]. 计算机工程, 2020, 46(5): 1-11.
- He J, Zhang C Q, Li X Z, et al. Survey of research on multimodal fusion technology for deep learning [J]. Computer Engineering, 2020, 46(5): 1-11.
- [40] 丁海泉, 高洪智, 刘振尧. 近红外光谱分析技术在中药材鉴定和质量控制中的研究进展 [J]. 现代农业装备, 2020, 41(3): 11-16.
- Ding H Q, Gao H Z, Liu Z Y. Research progress of near-infrared spectroscopy in identification and quality control of Chinese medicinal materials [J]. Modern Agricultural Equipment, 2020, 41(3): 11-16.
- [41] 董继晶, 齐路明, 王科, 等. 基于灰色关联-TOPSIS法的“金银花”类药材品质评价及其多元光谱基原识别研究 [J]. 中国中药杂志, 2023, 48(10): 2713-2724.
- Dong J J, Qi L M, Wang K, et al. Quality evaluation and multi-spectral identification of origin herbs of Lonicerae Japonicae Flos based on grey correlation-TOPSIS method [J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2023, 48(10): 2713-2724.
- [42] 李涵, 王艳丽, 范雪花, 等. 电子鼻技术应用于白及其近似饮片快速辨识的可行性分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(13): 157-165.
- Li H, Wang Y L, Fan X H, et al. Analysis on feasibility of electronic nose technology for rapid identification of bletillae rhizoma and its approximate decoction pieces [J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2023, 29(13): 157-165.
- [43] 叶建龙. 基于光谱特征对中药材类别及产地鉴别的多分类方法研究 [J]. 山西师范大学学报(自然科学版), 2023, 37(2): 13-21.
- Ye J L. A study on multi-classification method of classification and origin identification of traditional Chinese medicine based on spectral characteristics [J]. Journal of Shanxi Normal University (Natural Science Edition), 2023, 37(2): 13-21.