

基于 CiteSpace 知识网络图谱对中药快速分析检测技术的可视化分析

王 玉^{1,2}, 李小宁^{1,2}, 叶 佩^{1,2}, 杨 柳^{1,2}, 张哲雯^{1,2}, 章 龙^{1,2}, 葛卫红^{1,2}, 杜伟锋^{1,2*}

1. 浙江中医药大学中药饮片有限公司, 浙江 杭州 311401

2. 浙江中医药大学 中药炮制技术研究中心, 浙江 杭州 311401

摘 要: **目的** 通过对近 10 年来有关中药快速分析检测技术的相关文献进行分析研究, 探讨中药快速分析检测技术领域内的研究热点与发展趋势。**方法** 在中国知网 (CNKI)、万方、维普和 Web of Science (WOS) 数据库中检索与中药快速分析检测技术相关的中英文文献, 并使用 CiteSpace 软件对文献数量、国家、机构、作者合作网络, 以及关键词共现、时区聚类、突现进行可视化分析。**结果** 最终纳入符合要求的中文文献 987 篇, 英文文献 1 331 篇, 总发文量呈增长趋势; 发文量最多的国家依次为中国、美国、澳大利亚和日本。中文文献重点关注中药质量控制与质量评价的快速分析检测技术, 涵盖了诸多与中药质量相关的研究内容, 关注各种新型技术的开发和研究; 英文文献侧重于对化学成分和药理学研究, 尤其是对质谱技术和近红外光谱技术的深层次研究。中文文献涉及的快速分析检测技术较多, 倾向于新型检测技术的开发, 如光谱技术、仿生技术、分子鉴定和传感器检测等, 这些技术在中药领域的应用为中药的深度研究和实际生产提供了良好的技术支持。**结论** 通过可视化图谱直观展示了近 10 年来中药快速分析检测领域的研究概况, 揭示了该领域的研究逐渐深入, 发展趋势良好的特点。然而, 目前对中药快速分析检测技术的研究主要集中在新型检测技术的开发与应用, 需要加大研发力度, 注重科研成果的转化并与生产实际紧密连接。同时, 也需要打破合作壁垒, 充分展现各个研究方向的优点, 加深研究层次。强调传统技术与现代科学技术的融合, 实现不同仪器间性能的互补, 以突破分析检测难点, 从而更好地实现快速分析检测技术的价值, 推动中药快速分析检测技术的创新与进步。

关键词: 快速分析检测技术; CiteSpace; 中药; 光谱技术; 免疫分析; 质谱法; 仿生技术

中图分类号: G350; R284 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2024)19-6679-19

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.19.021

Visual analysis of rapid analysis and detection technology of traditional Chinese medicine based on CiteSpace knowledge network map

WANG Yu^{1,2}, LI Xiaoning^{1,2}, YE Pei^{1,2}, YANG Liu^{1,2}, ZHANG Zhewen^{1,2}, ZHANG Long^{1,2}, GE Weihong^{1,2}, DU Weifeng^{1,2}

1. Zhejiang Chinese Medical University Chinese Medicine Yinpian Co., Ltd., Hangzhou 311401, China

2. Research Center of Traditional Chinese Medicine Processing Technology, Zhejiang Chinese Medical University, Hangzhou 311401, China

Abstract: Objective Based on the analysis and research on the related literature of rapid analysis and detection technology of traditional Chinese medicine in recent 10 years, the research hotspots and development trends in the field of rapid analysis and detection technology of traditional Chinese medicine were discussed. **Methods** In CNKI, Wanfang, VIP and Web of Science(WOS) databases, Chinese and English academic literatures related to the field of rapid analysis and detection technology of traditional Chinese medicine were retrieved, and the number of published literatures, countries (regions), institutions, cooperative networks of authors, co-occurrence, time zone clustering and emergence of keywords were visually analyzed by CiteSpace software. **Results** Finally, a total of 987 Chinese documents and 1331 English documents were included, and the total number of articles published showed an increasing trend. The countries (regions) with the largest number of articles are China, the United States, Australia and Japan. Chinese literature focuses on the rapid analysis and detection technology of quality control and evaluation of traditional Chinese medicine, covering many research contents

收稿日期: 2024-02-23

基金项目: 杭州市农业与社会发展科研重点项目 (202204A06); 国家中医药管理局科技司-浙江省中医药管理局共建科技计划项目 (GZY-ZJ-KJ-24040); 浙江中医药大学中药饮片有限公司科技创新项目 (2022ZZKY001)

作者简介: 王 玉 (1998—), 女, 硕士, 研究方向为中药炮制及其质量控制研究。E-mail: 18211761237@163.com

***通信作者:** 杜伟锋 (1984—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事中药炮制及其质量控制研究。E-mail: duweifeng_200158@sohu.com

related to the quality of traditional Chinese medicine, and paying attention to the development and research of various new technologies. English literature focuses on the study of chemical constituents and pharmacology, especially on in-depth study of mass spectrometry and near infrared spectroscopy. In Chinese literature, there are many rapid analysis and detection technologies involved, which tend to develop new detection technologies, such as spectroscopy, bionic technology, molecular identification and sensor detection. The application of these technologies in the field of traditional Chinese medicine provides good technical support for the in-depth research and actual production of traditional Chinese medicine. **Conclusion** Through the visual atlas, the general situation of the research in the field of rapid analysis and detection of traditional Chinese medicine in recent 10 years is intuitively displayed, and the characteristics of gradual deepening and good development trend in this field are revealed. However, at present, the research on the rapid analysis and detection technology of traditional Chinese medicine mainly focuses on the development and application of new detection technology, which needs to strengthen research and development, pay attention to the transformation of scientific research results and closely connect with production practice. At the same time, it is also necessary to break the barriers of cooperation, fully display the advantages of various research directions, and deepen the research level. Emphasis is placed on the integration of traditional technology and modern science and technology, and realize the complementary performance of different instruments, so as to break through the difficulties of analysis and detection, thus better realizing the significance of rapid analysis and detection technology, and promoting the innovation and progress of rapid analysis and detection technology of traditional Chinese medicine.

Key words: rapid analysis and detection technology; CiteSpace; traditional Chinese medicine; spectral technique; immunoassay; mass spectrometry; bionic technology

中药在我国的应用历史源远流长,在有效预防和治疗疾病方面始终发挥着重要作用。随着人们对中药的重视度不断提升,尤其是在新型冠状病毒肺炎疫情之后,中药的需求量也在不断攀升。然而,中药的质量容易受到多方面因素的影响,如种植环境、采收方式、加工炮制、贮藏养护等^[1-2]。同时,市场上还存在对中药进行掺假、染色、增重、硫熏处理等问题,不仅严重损害了中药的质量和品质,还会对用药者的身体健康构成潜在威胁。这些现象和问题妨碍了中药标准化、国际化的进程,因此,加强和提升中药质量控制显得尤为紧迫。

传统的中药质量分析检测方法包括薄层色谱法(thin layer chromatography, TLC)、气相色谱法(gas chromatography, GC)、高效液相色谱法(high efficiency liquid chromatography, HPLC)、质谱法(mass spectrometry, MS)等,虽然这些方法技术成熟、准确度高、适用性广,但是它们也存在一定的短板,如前处理操作繁琐、分析时间较长、消耗大量有机溶剂、对药材破坏性强、需要专业人员操作,难以快速分析生产过程中的大批量样本,以及不能及时反馈中药的质量优劣情况等。近年来,中药快速分析检测技术迅速发展,光谱技术、仿生技术等新技术成为热点,尤其是机器学习、化学计量学等数据分析手段在中药分析检测领域兴起,新技术结合了数学、计算机科学、化学和统计学等交叉学科,从而具备了快速、灵敏、便捷的分析检测特点,能更好地满足中药现代化快速发展的需求。

CiteSpace 是一款由陈超美教授开发的信息可视化科学知识图谱软件,能够提供合作图谱、共现图谱和突现词探测等多种功能。通过高效率地分析总结中药领域的文献数据,CiteSpace 能够可视化展示中药领域的研究热点、研究者合作关系以及识别重要的合作伙伴和合作关系的发展趋势,还可以揭示中药领域的学科交叉和学科融合的发展情况,对探索知识演化过程具有重要的作用^[3-4]。本研究运用 CiteSpace 软件对中国知网期刊全文数据库(CNKI)、万方数据知识服务平台(Wanfang)、维普中文科技期刊全文数据库(VIP)和 Web of Science(WOS)数据库中的中英文文献进行归纳总结,通过对发文量、国家(地区)、机构、作者合作网络及关键词共现、时区聚类 and 突现进行可视化分析,解读近 10 年来中药快速分析检测领域的研究热点与趋势,以期为国内外中药快速分析检测领域的研究思路与方向提供一定的参考。

1 资料与方法

1.1 使用软件

OriginPro 2021、CiteSpace 6.2.R4W(64-bit)Basic。

1.2 文献来源及检索条件

文献来源均基于数据库。其中,中文文献的选取来自于 CNKI、VIP、Wanfang。检索主题和关键词分别为“中药”“快速”“中药快速分析”“中药快速检测”“中药快速测定”“中药快速鉴定”“中药快速筛查”“中药快速评价”“中药快速识别”,文献发表起止时间设定为 2001 年 1 月 1

日—2023 年 8 月 15 日,检索截止时间为 2023 年 8 月 15 日。在剔除会议通知、征稿、公告等无关文献后,删除重复文献,最终获取了 1 341 篇中文文献,作为本研究的中文文献数据源。

英文文献选取来自于 WOS 数据库。主题词为“rapid analysis of traditional Chinese medicine”“rapid detection of traditional Chinese medicine”“rapid determination of traditional Chinese medicine”“rapid identification of traditional Chinese medicine”“rapid screening of traditional Chinese medicine”“rapid evaluation of traditional Chinese medicine”“rapid identification of traditional Chinese medicine”,文献发表时间范围设定为 2001 年 1 月 1 日—2023 年 8 月 15 日。检索截止时间为 2023 年 8 月 15 日,选择文献类型为“article”和“review”,语言为“English”。在删除重复文献后,获得 1 661 篇文献,将其作为本研究的英文文献数据源。

1.3 数据处理

首先,将中文文献以 Refwork 格式下载,英文文献以 Plain Text File 格式下载;导入 CiteSpace 6.2.R4W (64-bit) Basic 软件,利用“Data”项下的功能进行格式转化、除重,并以软件可识别的格式命名为“download_***”,保存为纯文本格式输出。

其次,对 CiteSpace 6.2.R4W 软件参数设置如下:时间跨度(time slicing)设置为 2013 年 1 月—2023 年 8 月,时间切片(years per slice)设置为 2 年;术语来源(term source)选择全选,节点类型(node types)依次选择“author”(作者)、“institution”(机构)、“country”(国家)、“keyword”(关键词);根据节点数量进行调整,设置选择标准(selection criteria)中的 g 指数比例因子 k 值;将 visualization 设置为 cluster view-static,勾选 show merged network,其他参数保持系统默认设置,对中英文文献中国家、关键词、机构分别进行知识网络可视化分析,以及采用对数似然(logarithmic likelihood method, LLR)算法进行关键词时间线聚类分析和关键词突现分析。同时,运用 CiteSpace 软件对数据源文献的各年度发表数量和年度关键词数量进行统计,使用 OriginPro 2021 软件和 Excel 绘制中英文文献年度发文量散点图、关键词数量统计雷达图和关键词中快速分析检测技术累积频次热点图。文献数据分析处理流程见图 1。

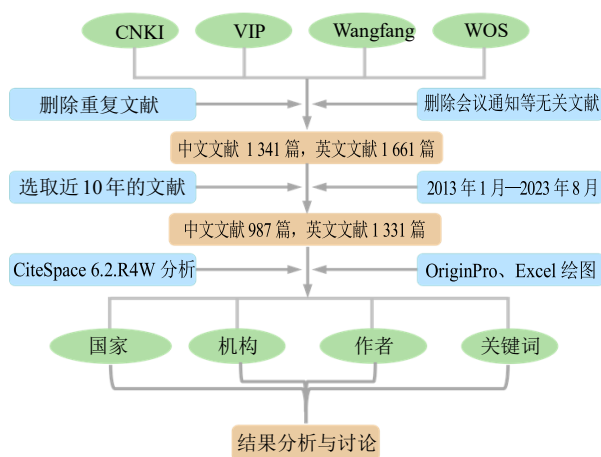


图 1 文献数据分析处理流程

Fig. 1 Flow of document data analysis and process

2 结果与分析

2.1 发文量分析

共检索得到 3 002 篇文献,经筛选纳入 2 318 篇文献。根据发文时间统计,绘制关于中药快速分析检测技术文献研究的散点分布图(图 2),覆盖了 2001—2023 年的文献发表情况。从图中可观察到,英文文献数量从 2001 年的 2 篇增长至 2022 年的 177 篇;2014—2018 年存在一定的波动性,但总体呈现稳步上升趋势。中文文献的发文量可以分为 2 个阶段,第 1 阶段是 2001—2016 年,发文数量持续增长,2016 年达到顶峰,共有 119 篇;第 2 阶段是 2017—2022 年,发文数量略有下降但仍高于历年平均水平。由于检索日期为 2023 年 8 月,因此 2023 年的文献量未完全呈现在图中。通过观察国内外的发文数量可以发现,中药快速分析检测技术的研究发展速度较快,整体研究热度呈上升趋势,表明该研究领域备受关注和重视。

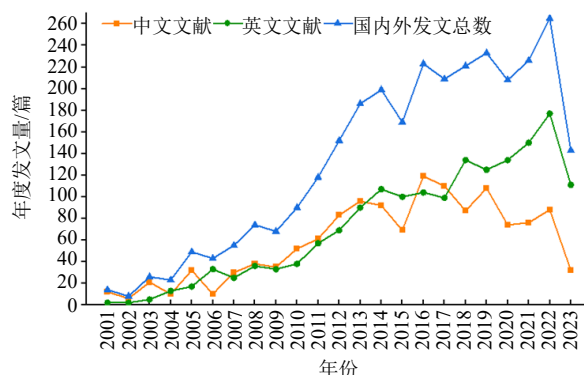


图 2 年度发文量散点图

Fig. 2 Scatter chart of annual publication volume

示出较低的网络密度,表明机构之间的合作联系比较分散。其中存在以成都中医药大学、北京中医药大学和上海中医药大学等为核心的中医药大学机构合作群。此外,浙江大学、广州中医药大学和广东省药品检验所等机构虽然发文量较多,但与其他机构的合作相对较少,未展现出明显的合作网络。受地理位置影响,大部分合作群中的机构主要集中在同一地区,如成都中医药大学与成都中医药大学附属医院、成都市食品药品检验研究院之间,合作研究较为紧密。同时,这些高校与省内外药企、研究院等其他机构也展开了合作研究,如北京中医药大学在与滨州医学院合作开展交流的同时,还与山东润中药业有限公司、蓬莱市海洋发展和渔业局等机

表 1 中英文文献中发文量排名前 15 的研究机构

Table 1 Top 15 research institutions in terms of publication volume in Chinese and English literature

序号	中文文献		英文文献	
	机构	发文量	机构	发文量
1	北京中医药大学	47	Chinese Academy of Sciences	86
2	浙江大学	29	Beijing University of Chinese Medicine	82
3	成都中医药大学	26	Tianjin University of Traditional Chinese Medicine	76
4	广东药科大学	17	Nanjing University of Chinese Medicine	72
5	吉林农业大学	11	Chinese Academy of Medical Sciences-Peking Union Medical College	65
6	广州中医药大学	11	China Academy of Chinese Medical Sciences	63
7	广东省药品检验所	11	China Pharmaceutical University	61
8	成都中医药大学药学院	10	Shenyang Pharmaceutical University	60
9	山东大学	10	Peking Union Medical College	59
10	中国中医科学院	10	Zhejiang University	53
11	湖北中医药大学	10	Heilongjiang University of Chinese Medicine	44
12	中国食品药品检定研究院	9	Institute of Medicinal Plant Development - CAMS	41
13	南京中医药大学	9	Shanghai University of Traditional Chinese Medicine	38
14	江苏大学	9	Chengdu University of Traditional Chinese Medicine	34
15	中国医学科学院药用植物研究所	9	Guangzhou University of Chinese Medicine	31

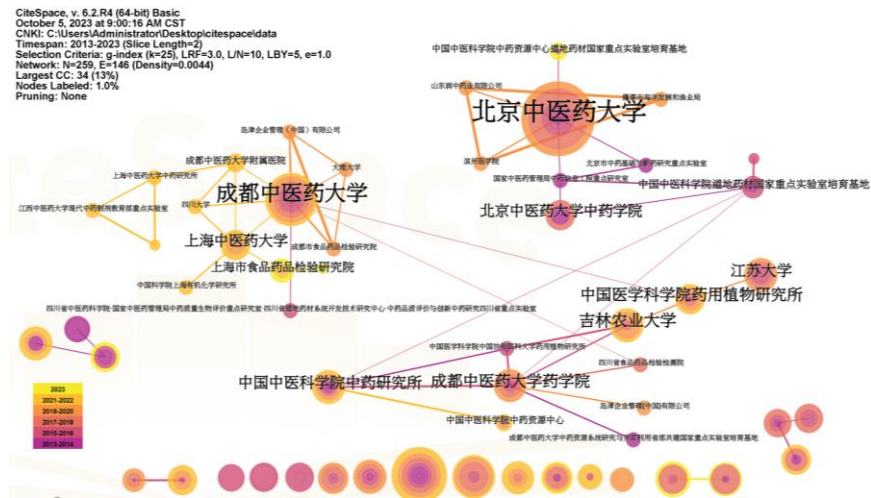


图 4 中文文献中研究机构合作网络共现图

Fig. 4 Co-occurrence map of research institutions cooperation network in Chinese literature

构建立了合作关系;成都中医药大学则与四川大学、上海中医药大学、成都市食品药品检验研究院、岛津企业管理(中国)有限公司等机构均开展了合作。通过对英文文献各机构的发文量进行统计,如表 1 所示,共有 10 个机构累计发文量达到 50 篇(包括 50 篇)以上,其中排名前 5 的机构是 Chinese Academy of Sciences (中国科学院, 86 篇),其次是 Beijing University of Chinese Medicine (北京中医药

大学, 82 篇)、Tianjin University of Traditional Chinese Medicine (天津中医药大学, 76 篇)、Nanjing University of Chinese Medicine (南京中医药大学, 72 篇)、Chinese Academy of Medical Sciences-Peking Union Medical College (中国医学科学院-北京协和医学院, 65 篇)。由图 5 显示,包含 928 条连线,网络密度为 0.031。在过去 10 年间共有 245 个机构,发表了 1 331 篇关于中药快速分析检测技术的文献。

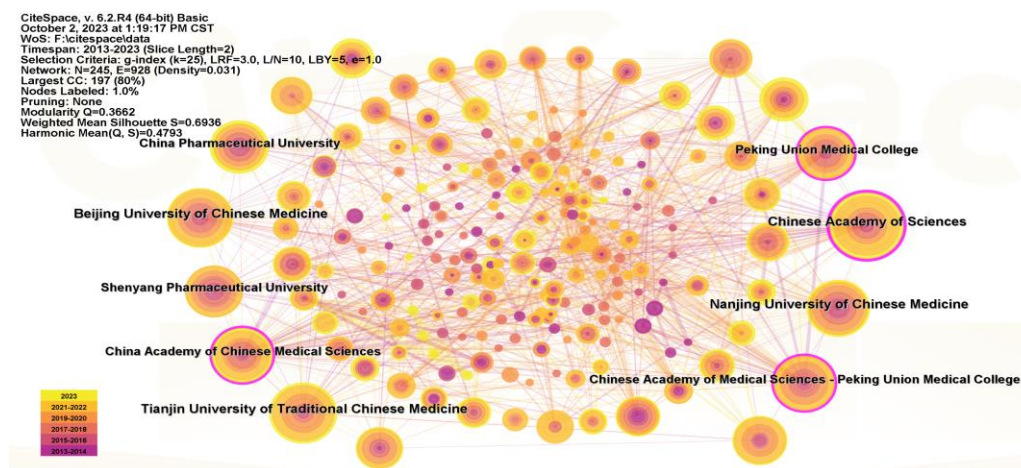


图 5 英文文献中研究机构合作网络共现图

Fig. 5 Co-occurrence map of research institutions cooperation network in English literature

其中,国内机构的总发文量为 1 291 篇,说明其他国家可能受文化差异、地域法规限制等原因对于中药的研究较少。与图 4 相比,图 5 的网络密度较高,说明英文文献的机构之间合作更为紧密,存在以中国科学院、北京中医药大学、天津中医药大学等发文量大的机构为核心的机构合作群。北京中医药大学在中文和英文文献发表数量上均表现出色,显示其在中药快速分析检测领域的研究非常活跃,成为引领研究的重要机构之一。

由以上结果显示,国内机构在中药快速分析检测领域的中文和英文文献发表数量处于主导地位。此外,高发文量的机构不仅在学术上具有影响力,也注重与其他机构合作,推动了该领域的研究进展和成果转化。然而,一些机构仍然需要加强与其他机构的合作,以提升研究的深度和广度。

2.2.3 作者合作分析 分析中文文献作者发文量可知,共有 287 位作者发表了 987 篇中文文献,发文量排名前 15 位的作者如表 2 所示,中文发文量在 5 篇(包括 5 篇)以上的作者共有 63 人。其中,发文量最多的作者是杨美华(中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所,25 篇),其次是赵军宁(四川省中医药科学院,16 篇)、吴志生(北京中医药大学,15 篇)、乔延江(北京中医药大学,14 篇)、袁媛(中国中医科学院中药资源中心,12 篇),这些作者在中药快速分析检测领域的研究中展现出了较大的影响力。根据普赖斯定律^[5]计算核心作者最少发文量(m_p),进而筛选得到核心作者数量,这有助于识别在该领域具有重要影响力和贡献的研究者。

中文文献核心作者发文量 ≥ 4 ($m_p=3.749$)篇,共计 80 位核心作者。中文文献作者合作网络包含 287 个节点,500 条连线,密度为 0.012 2,见图 6,以核心作者杨美华、赵军宁、吴志生、乔延江等为主的团队已经形成,其研究团队及研究规模较为显著。杨美华团队主要一直致力于中药内源性(毒性物质)和外源性(真菌毒素、重金属、农残)污染的分析工作,研究了多种快速分析检测方法,包括酶联免疫吸附法、亲和色谱法、荧光免疫法、化学发光免疫法和新型免疫传感器法等技术^[6-7]。赵军宁团队从 2016 年开始研究 Microtox 技术(即微毒测试技术),用于快速测定中药材、饮片、中成药、中药注射剂等中药制品中的有害有毒物质。后期还探索了其他快速分析技术,包括气相色谱-声表面波联用技术(gas chromatography-surface acoustic wave combined technology, GC-SAW)和荧光检测技术等^[8-9]。以吴志生、乔延江为代表的研究团队主要研究了中药关键质量属性快速评价热门技术——光谱法,以近红外光谱(near infrared spectroscopy, NIR)和激光诱导击穿光谱(laser-induced Breakdown Spectroscopy, LIBS)技术为主,展开了对中药质量控制、生产工艺优化、成分分析等方面的研究^[10-11]。

分析英文文献作者发文量可知,共有 207 名作者参与了研究,包含 321 条连线,网络密度为 0.015 1,总共发表了 1 331 篇文献,见图 7。发文量排名前 15 位的作者如表 2 所示,其中发文最多的作者是 Sun Hui(孙晖,黑龙江中医药大学,23 篇),其次是 Wang Ping(王萍,中国中医科学院中药研究所,

表 2 中英文文献中发文量排名前 15 的作者

Table 2 Top 15 authors in terms of publication volume in Chinese and English literature

序号	中文文献			英文文献		
	作者	机构	发文量	作者	机构	发文量
1	杨美华	中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所	25	Sun Hui	黑龙江中医药大学	23
2	赵军宁	四川省中医药科学院	16	Wang Ping	中国中医科学院中药研究所	19
3	吴志生	北京中医药大学	15	Wang Xijun	黑龙江中医药大学	18
4	乔延江	北京中医药大学	14	Zhang Aihua	海南医学院	17
5	袁媛	中国中医科学院中药资源中心	12	Yang Meihua	中国医学科学院、北京协和医学院药用植物研究所	17
6	陆峰	海军军医大学	11	Li Yubo	天津中医药大学	16
7	杨世海	吉林农业大学	10	Li Jin	天津中医药大学	15
8	豆小文	深圳市罗湖区人民医院	9	Cai Baochang	南京中医药大学	15
9	季申	上海市食品药品检验所	9	Duan Jin-ao	南京中医药大学	11
10	谭鹏	北京中医药大学	9	He Jun	天津中医药大学	11
11	史新元	北京中医药大学	8	Dai Yi	暨南大学药学院中药及天然药物研究所	11
12	蔡宝昌	南京中医药大学	8	Gao Xiumei	天津中医药大学	10
13	张定堃	成都中医药大学	8	Chang Yanxu	天津中医药大学	10
14	丛晓东	浙江中医药大学	7	Zhang Lei	中国医学科学院、北京协和医学院药用植物研究所	10
15	威雪勇	江苏大学	7	Kong Weijun	首都医科大学	10

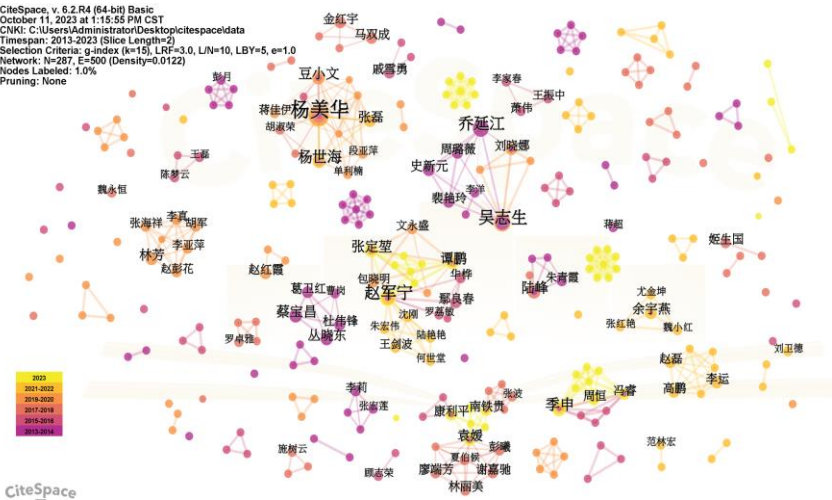


图 6 中文文献中作者合作网络共现图

Fig. 6 Co-occurrence map of authors cooperation network in Chinese literature

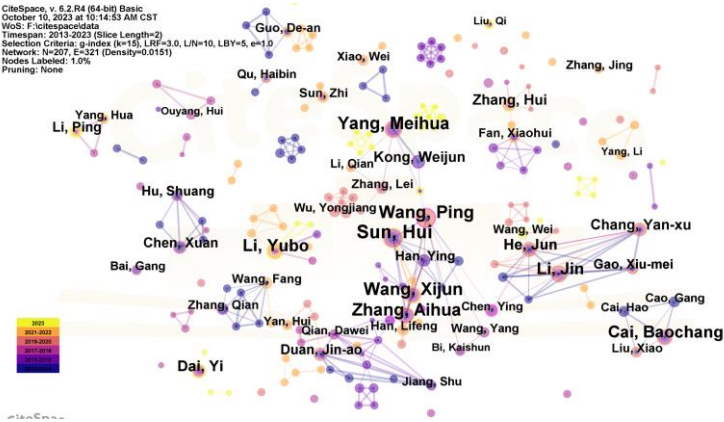


图 7 英文文献中作者合作可视化网络共现图

Fig. 7 Co-occurrence map of authors cooperation network in English literature

19 篇)、Wang Xijun (王喜军, 黑龙江中医药大学, 18 篇)、Zhang Aihua (张爱华, 海南医学院, 17 篇)、Yang Meihua (杨美华, 中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所, 17 篇)。根据普赖斯定律计算得出核心作者发文量 ≥ 4 ($m_p=3.592$) 篇, 共计 78 位核心作者, 这些作者主要为国内研究人员, 反映了国内对该领域研究的高度关注, 但也表明缺乏同国际学者之间的合作交流。以核心作者孙晖、王萍、王喜军、张爱华为代表的团队之间存在密切的合作往来, 在液相-质谱联用技术的开发和应用方面进行了大量的研究, 如运用各种液相-质谱串联技术分析了中药单方、复方的化学成分组成, 药效活性成分确定, 成分代谢途径研究等方面, 共同推动了液质技术在中药快速分析检测领域的深入探索^[12-13]。在 2016 年之后, 孙晖团队开始利用环介导等温扩增技术 (loop-mediate isothermal amplification, LAMP)、NIR 技术对中药进行快速真伪鉴别以及质量控制等研究, 提供了简单、快速、可靠的分析检测方法^[14-15]。从图 6、7 展示的网络共现图可以发现, 国内学者杨美华在中药快速分析检测领域发表了大量的中英文文献, 表明其在该领域的研究中活跃度较高。整体上英文文献作者间的连线比中文文献作者连线更为密集, 表明英文文献作者之间的合作交流更频繁。此外, 各研究团队之间缺乏紧密的合作交流, 主要合作群是以 1 个或者 2 个机构为单位, 可能是由于团队间的研究方向存在差异, 或者是由于研究机构的地理位置不同所造成的。

2.3 关键词分析

2.3.1 关键词共现分析 利用 CiteSpace 提取关键

词并生成共现图谱, 能够直观地反映该领域的研究主题。由图 8 可知, 共有 251 个中文关键词, 网络图由 592 条连线组成, 网络密度为 0.0189。图中节点代表文献中的关键词, 节点的大小、连线的粗细与关键词的应用频率、共现程度呈正比关系。关键词词频在一定程度上反映了该领域的研究热度分布和研究方向, 词频 ≥ 5 的关键词有 35 个, 排名前 30 的关键词见表 3。通过对关键词分析, 可以得出关键词出现次数最多的是中药, 其次是快速检测、中药材、非法添加、质量控制、快速筛查、快速分析、指纹图谱、农药残留等关键词, 体现出了中文文献中药快速检测技术的重点研究领域, 主要为中药的质量控制、安全质量评价、非法掺伪添加等方面, 涵盖了二氧化硫、非法添加、指纹图谱、定量分析、化学成分、农药残留、水分、真菌毒素、重金属等研究内容。同时从网络图中的节点大小可以发现, 拉曼光谱、近红外、免疫分析、红外光谱、分子鉴定等分析检测技术的频数较高, 这些技术的研究内容更丰富。

在英文文献中, 关键词共有 258 个, 由 1 705 条连线组成, 网络密度为 0.0514, 见图 9。其中词频 ≥ 5 的关键词有 96 个, 排名前 30 的关键词见表 3。从表中可以看出, 出现频率最高的是“traditional Chinese medicine” (中药, 308 次), 其次比较大的节点是 identification (鉴定, 249 次)、performance liquid chromatography (高效液相色谱, 155 次)、mass spectrometry (质谱, 145 次)、constituents (成分, 103 次)、components (成分, 90 次)、tandem mass spectrometry (串联质谱, 81 次)、extract (提取, 77

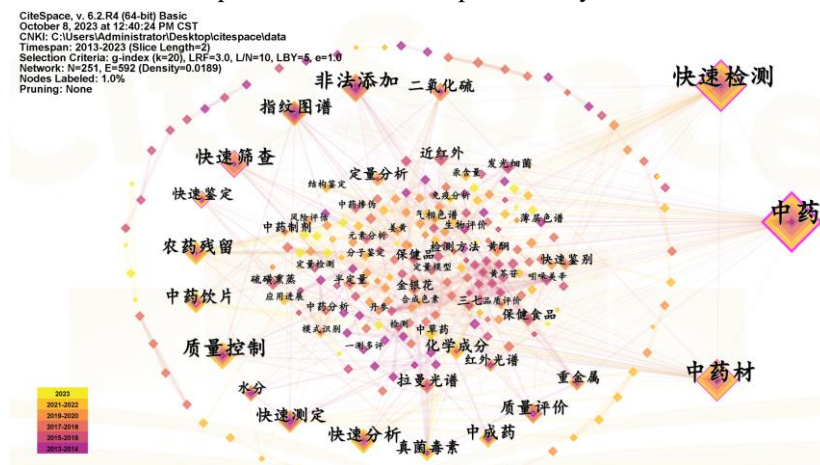


图 8 中文文献关键词共现图谱

Fig. 8 Co-occurrence map of keywords in Chinese literature

表 3 中英文文献关键词共现分析 (前 30)

Table 3 Co-occurrence analysis of keywords in Chinese and English literature (top 30)

序号	中文文献		英文文献	
	关键词	频次	关键词	频次
1	中药	122	traditional chinese medicine	308
2	快速检测	93	identification	249
3	中药材	67	performance liquid chromatography	155
4	非法添加	38	mass spectrometry	145
5	质量控制	37	constituents	103
6	快速筛查	33	components	90
7	快速分析	23	tandem mass spectrometry	81
8	指纹图谱	23	extract	77
9	农药残留	22	chemical constituents	76
10	快速测定	21	metabolites	75
11	中药饮片	20	liquid chromatography	75
12	质量评价	18	quality control	70
13	中成药	17	rat plasma	67
14	二氧化硫	16	flavonoids	59
15	化学成分	15	quantitative analysis	57
16	重金属	15	plasma	57
17	真菌毒素	14	in vitro	56
18	快速鉴定	13	strategy	51
19	拉曼光谱	13	traditional chinese medicines	50
20	近红外	12	ms	48
21	水分	12	quantification	48
22	定量分析	12	decoction	45
23	金银花	11	hplc	44
24	红外光谱	9	chromatography	43
25	保健食品	9	extraction	42
26	三七	8	separation	40
27	快速鉴别	8	glycosides	38
28	保健品	8	rapid identification	36
29	检测方法	7	cells	35
30	中药制剂	7	alkaloids	35

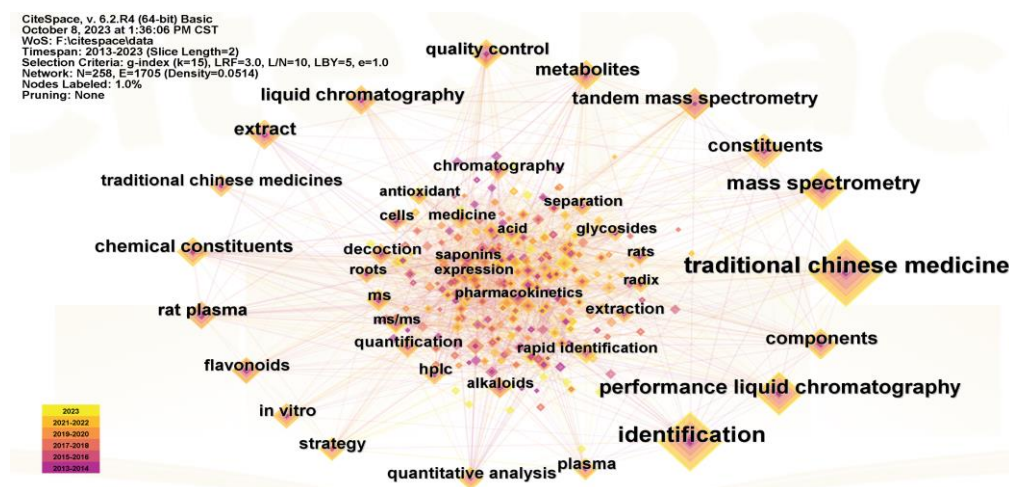


图 9 英文文献关键词共现图谱

Fig. 9 Co-occurrence map of keywords in English literature

次)、chemical constituents (化学成分, 76 次) 等。尽管英文文献的关键词数量 (258 个) 与中文文献的关键词数量 (251 个) 相近, 但英文文献中关键词的频次普遍更高, 表明其研究主题更为集中。通过网络图中的节点大小和颜色可以发现, 一直以来, 英文文献中关于中药快速分析检测技术的研究主要集中在化学成分和体内药效活性成分。与国内中文文献的研究方向相比, 其存在差异的原因主要是国内外对于中药实施的标准不同, 国内的标准主要以《中国药典》为主, 辅助其他地方标准, 强调以性状、鉴别、检查、含量测定等作为检验合格标准, 而国外的标准更注重药效成分、安全性等内容。

2.3.2 关键词聚类时区分析 利用 CiteSpace 的“timeline view”功能, 对关键词进行聚类时间线分析, 有助于更清晰地呈现该领域的研究现状和热点。将中文文献中的 251 个关键词利用 LLR 进行聚类, 共生成聚类 8 个, 见图 10。聚类的数字越小, 表示聚类中包含的关键词越多, 但是由于关键词较多, 故图中只显示频次 ≥ 5 的关键词。图中 X 轴是文献发表年份, Y 轴表示聚类编号和名称, 聚类中文献的数量与聚类领域的重要性成正比。若聚类模块值 (modularity, Q) > 0.3 , 表明聚类结构显著有效; 若聚类平均轮廓值 (weighted mean silhouette, S) ≥ 0.7 , 表明聚类高效可信^[3], 图中可见 $S=0.8564$ 、 $Q=0.6194$, 表明网络聚类显著有效, 每个聚类主题内文献有较好的一致性, 且该聚类结果是令人信服的。关键词聚类时区图能够直观充分地显示每个聚类中关键词的发展情况, 图中关键词聚类#0 中药和#2 中

药材的研究主体为有效成分、商品规格、含量测定、浸出物、中药质量等, 属于中药质量控制方面的研究; 聚类#1 快速测定、#3 快速检测和#5 快速筛查的研究主体为仿生技术、荧光检测、液质联用、免疫技术、胶体金、拉曼光谱、荧光探针、电化学等, 属于中药快速分析检测技术方面的研究; 聚类#4 真菌毒素的研究主体为沙门氏菌、马兜铃酸、重金属、真菌毒素、中药生产等, 属于中药安全性评价方面的研究; 聚类#6 非法添加和#7 判别分析的研究主体为非法添加、产地鉴别、快速筛查、快速鉴定等, 属于中药单方和复方的质量控制研究。此外, 聚类#0 中药、#1 快速测定、#2 中药材、#3 快速检测、#4 真菌毒素和#7 判别分析所代表的领域时间跨度较大, 在过去 10 年间研究备受关注, 可以作为长期研究方向。然而聚类#5 快速筛查和#6 非法添加分别在 2022 年和 2016 年截止, 尤其是聚类#6 非法添加的时间跨度特别短且发文量也比较少, 说明研究热度有所下降。在该时区图中还能观察到, 研究热度较高的快速分析检测手段, 如聚类#0 中药中的仿生技术, 聚类#2 中药材中胶体金, 聚类#3 快速检测中的拉曼光谱、免疫技术等。

将英文文献中的 258 个关键词用 LLR 进行聚类, 共生成聚类 7 个, 见图 11。 $Q=0.6194$ 、 $S=0.8564$, 表明聚类方法具有高效率 and 可信度。由于关键词较多, 图中仅显示了频次 ≥ 25 的关键词。由图 11 可知, 关键词聚类#0 near-infrared spectroscopy (近红外光谱) 的研究主体是 NIR 测定技术的应用方向, 聚类#1 traditional chinese medicine (中药) 的

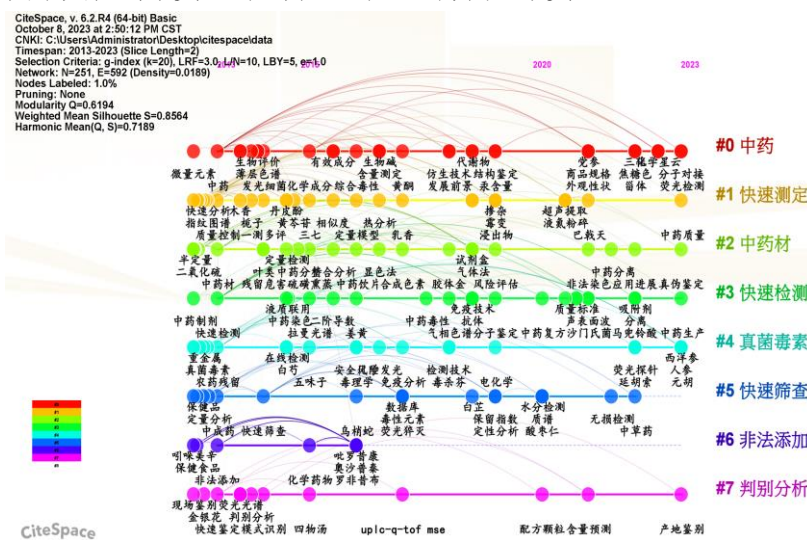


图 10 中文文献中关键词聚类时区图

Fig. 10 Clustering time zone graph of keywords in Chinese literature

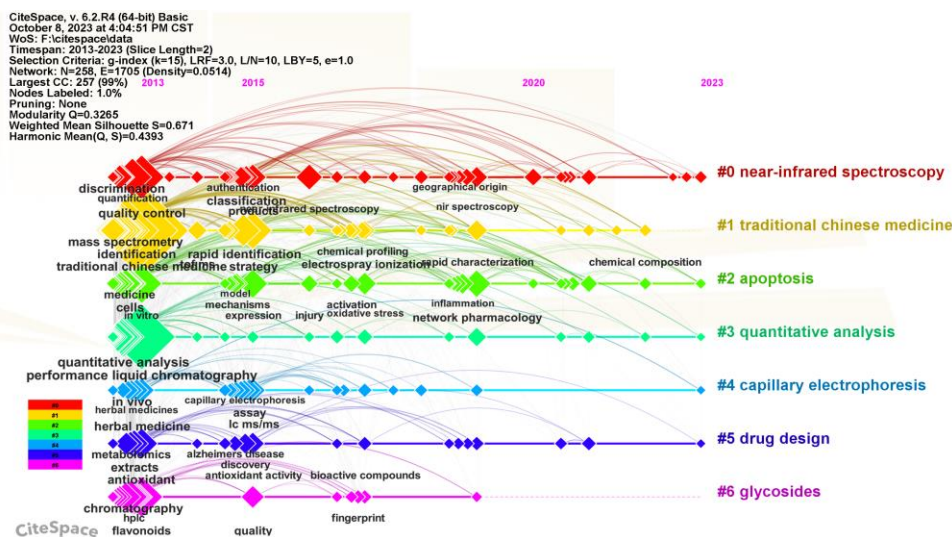


图 11 英文文献关键词聚类时区图

Fig. 11 Clustering time zone graph of keywords in English literature

研究主体是中药及其成分的快速鉴定分析，聚类#2 apoptosis（凋亡）的研究主体是中药的药理作用机制，聚类#3 quantitative analysis（定量分析）、#4 capillary electrophoresis（毛细管电泳）、#5 drug design（药物设计）和#6 glycosides（糖苷）的研究主体是中药的质量控制和药效成分挖掘。其中，排名前 4 的聚类#0 near-infrared spectroscopy、#1 traditional Chinese medicine、#2 apoptosis、#3 quantitative analysis 方面的研究发文量较多，持续时间长；聚类#4 capillary electrophoresis、#5 drug design、#6 glycosides 的发文量较少，且聚类#6 glycosides 的时间跨度在 2019 年后研究热度下降。这些聚类中的分析检测技术较少，主要集中在 NIR 技术、MS、HPLC 和液质联用等仪器分析上，可能与其研究方向集中于药效和成分相关。

2.3.3 关键词突现分析 CiteSpace 的关键词突现功能可以分析短期内产生巨大变化的关键词，还能够展示该关键词的起止年份以及突变强度，揭示不同时间段的研究热点^[16]。在聚类时区分析的基础上，进行关键词突现分析，设置“burstness”中参数“ γ ”值为 0.5，共得到 36 个突现词，其中排名前 30 的关键词见图 12。由图可知，近 10 年来中药快速分析检测手段涵盖了中药检测的各个方面，包括非法添加、农药残留、水分、重金属、浸出物、定量检测、定性分析等，说明国内对于中药快速分析检测技术的研究非常广泛和具体，形成了多维度和多领域的交叉研究。大致可分为 2 个阶段，2013—2017 年，此阶段主要致力于非法添加、快速测定、硫磺

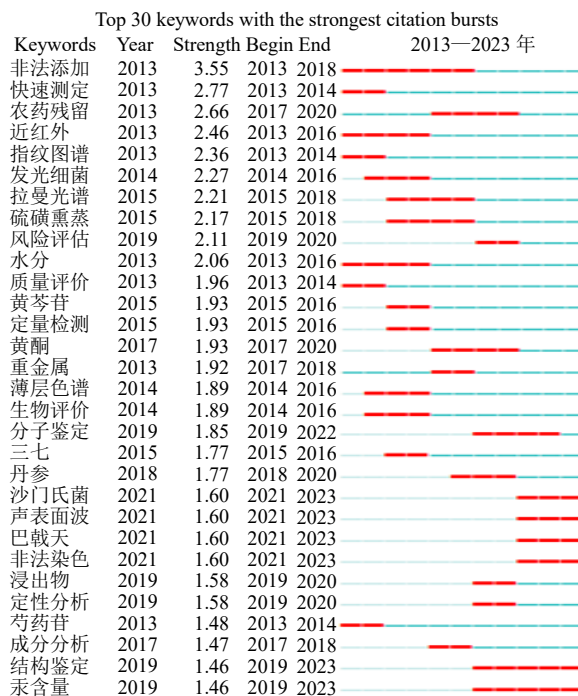


图 12 中文文献关键词突现图（前 30）

Fig. 12 Emergence map of keywords in Chinese literature (top 30)

熏蒸、质量评价、定量检测、生物评价 6 个研究方向，应用了 NIR、指纹图谱、拉曼光谱、分子鉴定等检测技术；2018—2023 年，此阶段主要致力于农药残留、风险评估、重金属、非法染色、定性分析、结构鉴定 6 个研究方向，涉及到的检测技术仅有分子鉴定、声表面波等。后一时间阶段的检测技术数量明显较少，其原因可能与新冠疫情的爆发存在联系。然而，需要注意的是这些研究方向的持续时间

较短, 存在研究不充分的情况。

对英文文献进行关键词突现分析, 设置“burstness”中参数“ γ ”值为 1.0, 共得到 37 个突现词, 其中排名前 30 的关键词见图 13。突现强度(strength) ≥ 4.0 以上的关键词有 20 个, 这表明英文文献的研究主题较为集中。突现分析结果大致可分 2 个阶段, 2013—2017 年, 此阶段主要致力于药效活性成分研究, 关键词包括 pharmacokinetics (药物动力学) 和 rat plasma (大鼠血浆) 等, 涉及到的检测技术主要是 high-performance liquid chromatography (高效液相色谱) 和 tandem mass spectrometry (串联质谱); 2018—2023 年, 此阶段主要致力于中药治疗疾病的作用机制研究, 关键词包括 disease (疾病)、inflammation (炎症)、molecular docking (分子对接)、rapid characterization (快速表征) 和 mechanism (机制) 等, 涉及到的分析检测技术主要是 NIR spectroscopy (近红外光谱)、network pharmacology (网络药理学) 和 machine learning (机器学习)。通过对图 13 的分析, 可以发现英文文献主要研究中药的药效物质基础, 尤其是对机制和成分的研究更加集中和深入。近几年来, 随着大数据分析的兴起和发展, 人工智能与模型预测逐步与中药的分析检测相融合, 机器学习、网络药理以及光谱学等技术的研究热度与日俱增, 这也是中英文文献中频繁出现光谱技术、网络药理学、模型建立等关键词的原因。

2.3.4 关键词数据统计分析 利用 CiteSpace 的“time slicing” (时间跨度) 功能, “#years per slice” (时间切片) 设置为 1 年; “node types” (节点类型) 选择“keyword (关键词)”, 其他参数保持系统默认。统计 2013 年 1 月—2023 年 8 月的中英文文献中, 分析检测技术相关关键词的出现频次, 使用 OriginPro 2021 软件和 Excel 绘制关键词数量统计雷达图和关键词中快速分析检测技术累积频次热点图, 如图 14、15 所示。

由图 14 所示, 2013—2019 年, 中英文文献的关键词数量没有明显差异, 然而, 自 2019 年开始, 英文文献的关键词数量显著超过中文文献, 同时结合该时期的英文文献数量, 发现国内学者越来越倾向于发表英文文献。关键词的总数从 2013—2022 年持续增加, 与发文量趋势一致, 说明这些数据具有足够的可信度; 2023 年的关键词数量下降是因为文献检索截止日期为 2023 年 8 月。如图 15 所示, 颜

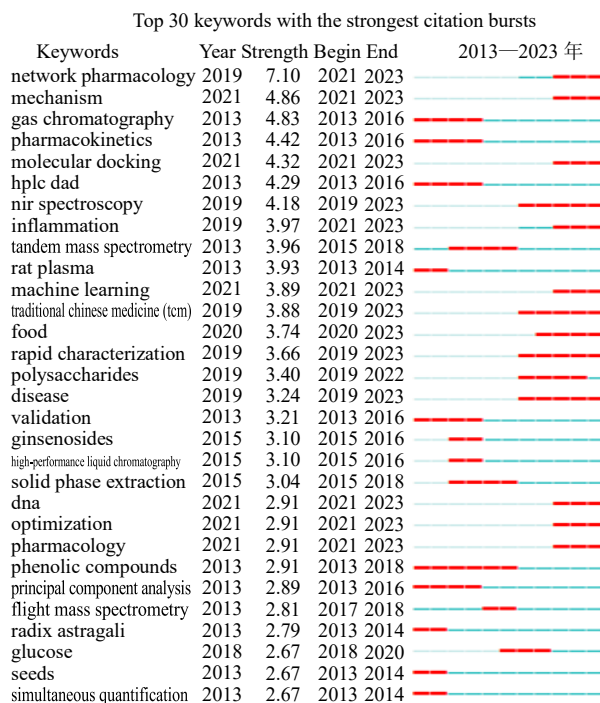


图 13 英文文献关键词突现图 (前 30)

Fig. 13 Emergence map of keywords in English literature (top 30)

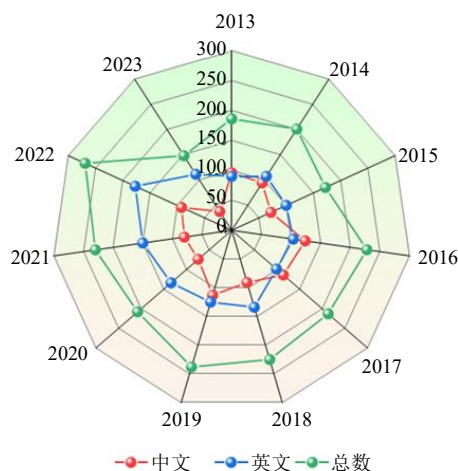


图 14 中英文文献关键词数量统计雷达图

Fig. 14 Statistical radar chart of keyword quantity in Chinese and English literature

色越深代表关键词出现的频次越高, 如图 15-A 所示, 中文文献中关键词的频次整体低于英文文献。同时, 可以发现中文文献对于快速分析检测技术的研究比较广泛, 涉及到了多种类型的技术, 但是研究的次数并不频繁, 表明其研究深度尚不充分。从 2020 年开始, 针对分子层面的研究逐渐增多, 包括分子鉴定、分子印迹、分析对接、分子克隆技术,

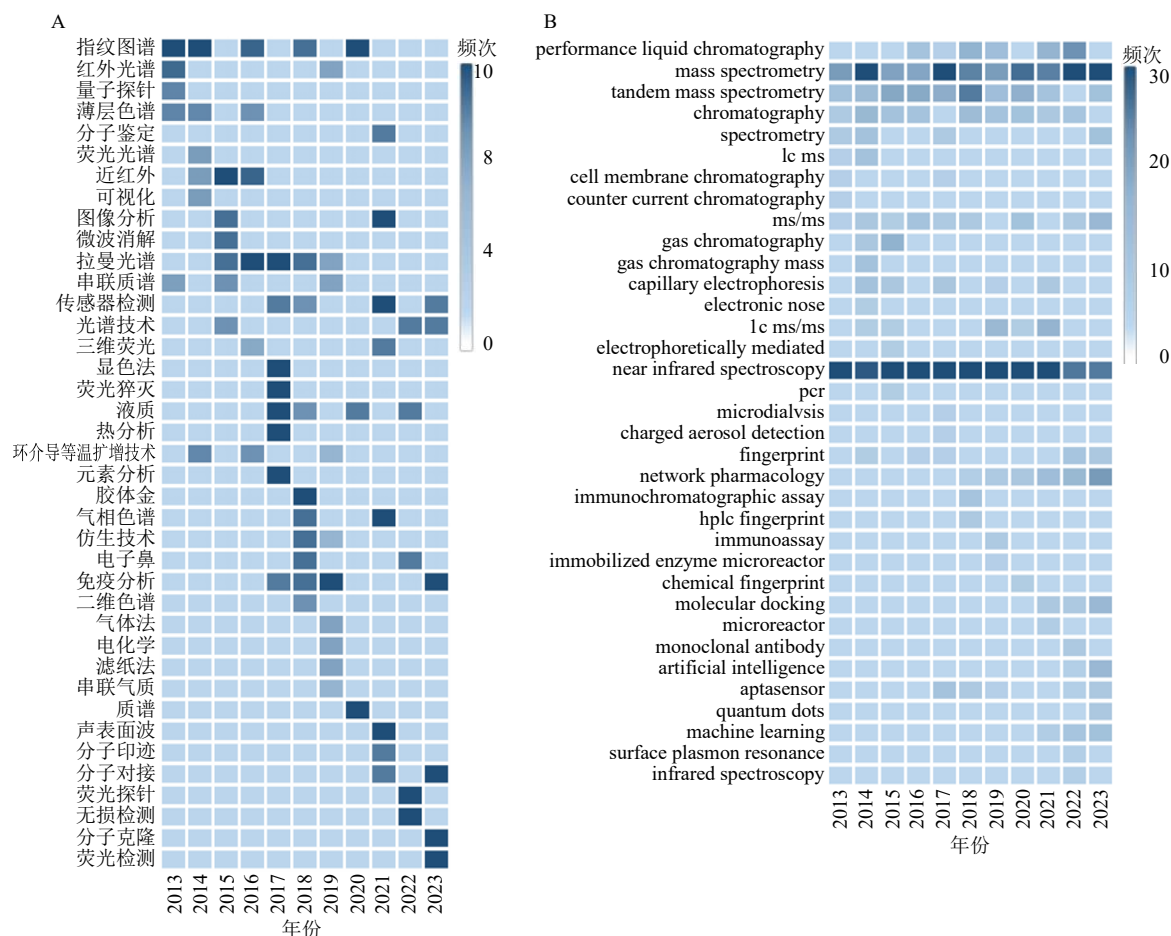


图 15 快速分析检测技术相关中英文文献关键词累积频次热点图

Fig. 15 Hot map of cumulative frequency of keywords in Chinese and English literature on rapid analysis and detection technology

说明对于中药快速分析检测技术的研究对象正在逐步走向精细化。近 3 年中，出现频次较多的快速分析检测技术还包括图像分析、传感器检测、光谱技术、电子鼻、免疫分析、荧光检测等，其中图像分析、传感器检测、光谱技术的发展与人工智能、大数据分析的发展密切相关。如图 15-B 所示，可以发现“near infrared spectroscopy”是出现频次最多、跨度时间最长的关键词，表明该技术的研究较为深入广泛。而“mass spectrometry”不仅出现频次多，还涉及到了多种关联技术，如“tandem mass spectrometry”“LC-MS”、“MS/MS”等，究其原因主要是 HPLC-MS 联用技术在中药药效成分和化学成分研究中扮演着不可替代的角色，具有快速分析、种类多样化的特点，是中药研究中必不可少的方法。总体来看，中文文献中涉及的中药快速分析检测技术繁多，而研究频次较低，表明其研究深度尚不够；相比之下，英文文献中虽然提及的中药快

速分析检测技术较少，但研究频次较高，说明研究深度更深。由此可见，中文文献的快速分析检测技术尚有深入的研究开发空间。

3 讨论

3.1 中药快速分析检测技术

根据以上文献分析结果显示，光谱技术、仿生技术、质谱技术、分子鉴定和传感器检测等，在中药的质量控制、成分分析和药效评估等方面发挥着重要作用，展现出了广阔的发展前景和应用范围。以下将对这些技术进行简要概述和介绍，以便更好地了解其特点和应用。各检测技术优缺点见表 4。

3.1.1 光谱技术 NIR 技术的发展可以追溯到 19 世纪，但直到 20 世纪 90 年代，才开始运用于医药领域，具体发展历程见图 16^[17]。吴志生等首次将 NIR 技术应用于中药分析检测，该技术以其快速、无损、操作简单、成本低、应用场景广泛等优点，迅速成为中药行业最受欢迎的分析检测手段。目前

表 4 中药快速分析检测技术优缺点

Table 4 Advantages and disadvantages of rapid analysis and detection techniques of traditional Chinese medicines

技术	优点	缺点
电化学分析法	成本低、响应快、操作简便、适用于现场在线分析	选择性差、使用周期短。
免疫分析法	检测速度快、灵敏度高、选择性好、方便快捷、便于携带	重金属离子的单克隆抗体制备困难，抗体研究工作少、前期研究费用高
生物传感器法	便携、操作简单、成本低、响应速度快，能够实时快速分析	根据选用生物活性物质的不同（酶、核酸、抗体、微生物、细胞等），可能存在稳定性较差、选择性差、灵敏度不高
光谱法	绿色环保、快速、无损、便捷、重复性高、响应频率高、适用范围广、固体液体均适用	适用于规模化样品的检测，建立模型要按需进行更新，中药的不同基质效应不同导致模型预测出现的偏差
MS 法	通用性强、选择性好、灵敏度高、重复性好	前处理较复杂、耗时较长、消耗大量有机溶剂、需要借助于标准物质、仪器设备昂贵、需要专业人员操作
仿生技术	客观、快速、准确、操作简便、无损样品、无化学污染	针对相似或差别不显著的中药鉴定准确度不高，存在一定误差
荧光探针	响应时间短、成本低、实时可视化、选择性好、专一性识别、活体检测、荧光团丰富、生物相容性好	前期开发探针研究工作繁琐、耗时长，应用研究少
LAMP	可视化检测、简单、快速、灵敏度高、特异性强	引物设计研究较复杂，含水、含糖量较多的中药 DNA 提取较困难，中药相关应用研究品种少

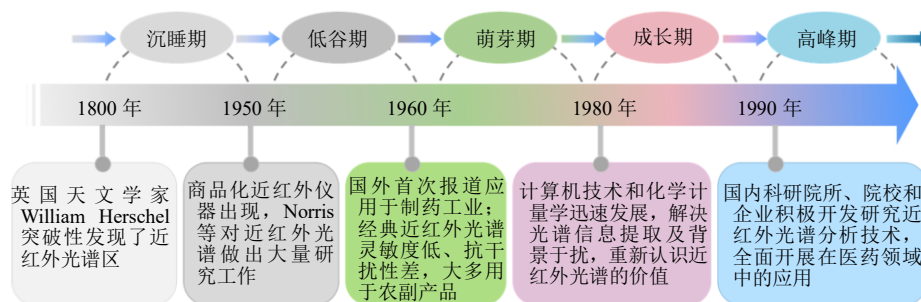


图 16 近红外光谱技术发展历程

Fig. 16 Development history of near infrared spectroscopy technology

在中药的生产应用中，主要包括质量控制、工艺优化、成分分析和防伪溯源 4 个方面的内容^[18-20]。江苏康缘药业股份有限公司、江中药业股份有限公司等^[21-23]采用 NIR 结合其他分析检测技术，对中药饮片、中成药等生产加工过程中的关键环节进行实时监测和反馈，如控制关键成分含量、水分变化、颗粒均匀度等，为中药的生产质量提供了更加有效的保障。田春婷等^[24]应用 NIR 结合 HPLC，建立了红花中羟基红花黄色素 A 和山柰酚的快速定量分析模型，可实现红花药材的产地和采收年限的快速分类鉴别。文元新等^[25]采用 NIR 技术对滁菊、贡菊、杭菊和亳菊 4 类药用品种菊花进行定性鉴别，结合化

学计量学实现了对不同品种菊花的准确无损鉴别分析；Xu 等^[26]采用 NIR 技术结合化学计量学建立模型，对掺伪板蓝根进行分析，能够快速准确地检测外源性掺假物（苹果皮）的掺假率。

NIR 技术并非完美无缺，存在建库建模繁琐、仪器信号易受环境影响以及光谱模型的转移困难等问题^[17,20]，但随着工业带来的微型化变革以及大数据、云计算时代的到来，未来 NIR 技术将朝着仪器体积更小、功能更强大、模型更精确的方向发展，在中药企业中仍然具有广阔的应用前景和潜力。此外，在线数据融合平台和多传感器融合技术的不断完善和发展，未来光谱融合技术在中药快速分析检

测技术领域也将成为快速分析检测的另一个有效途径和热点趋势^[27]。

3.1.2 MS 技术 MS 技术在化学成分结构确定方面具有快速、灵敏及特异性强的优势，随着现代质谱及联用技术体系的建立，质谱技术俨然已成为探究中医药理论科学内涵的重要利器^[28]。在中药领域，质谱技术的应用主要包括成分分析、质量控制和药效评价 3 个方面。使用较多的是液相-质谱联用技术（liquid chromatography-tandem mass spectrometry, LC-MS/MS），该技术不仅可以对中药中的活性成分进行快速、准确地鉴定和分析，也可以分析其药效物质基础，用于探索中药的代谢途径、药效机制、药物相互作用等方面的研究。Liao 等^[29]利用 LC-MS/MS 结合化学计量学方法，研究了紫草中紫草素、紫草呋喃等成分抗肿瘤活性的药效作用机制，共检测出 73 种紫草素和紫草呋喃类化合物，筛选出 27 个具有抑制 HeLa 细胞增殖的药效物质成分。

近年来，随着中药研究对象逐渐精细化，MS 成像技术作为一种新兴的分子成像技术，成为 MS 检测技术领域的热点。该技术能够利用质谱仪直接采集待测组织切片的离子信息，并通过数据处理软件将质谱结果可视化，获取内源性分子、外源性药物及其代谢物分子在组织切片中的结构、空间分布和含量信息^[30]。Nie 等^[31]首次采用解吸电喷雾电离质谱成像（desorption electrospray ionization mass spectrometry imaging, DESI-MSI）技术对板蓝根中 19 个代谢物进行空间分布研究，发现在板蓝根药材的横截面皮部代谢物离子强度越高，其质量越佳。同时，筛选出了精氨酸、3-甲酰基吡啶和紫丁香苷等 11 个代谢物，作为板蓝根的质量控制标志物，完善了板蓝根药材的质量控制方法。Liu 等^[32]通过结合 DESI-MSI 和代谢组学技术，筛选了 42 个代谢标志物用于鉴别不同蒸制时间的附子，同时发现蒸制 4 h 时毒性成分的减弱及药效成分的保留效果最佳，揭示了附子蒸制减毒过程中的成分变化，为其确定最佳炮制时间提供了理论依据。可见将 MS 成像技术结合代谢组学引入到中药快速分析检测领域的研究中，能够为中药质量控制、体内代谢分布、药效机制和毒性机制的研究提供崭新的视角。

3.1.3 免疫分析技术 在中药分析检测领域，免疫分析技术主要用于质量控制、药效评价和质量溯源，常用的免疫分析方法包括酶联免疫分析法、免疫层析技术（immunochromatography assay, ICA）、荧光

免疫分析法、化学发光免疫分析法等^[33]。近年来，ICA 在中药分析检测领域得到了广泛的关注，常用于检测中药中的禁用农药残留、真菌毒素及有毒有害物质的现场快速检测，多以定性和半定量检测为主。根据所使用标记物的不同，ICA 可以分为胶体金免疫技术、荧光免疫色谱技术、量子点色谱技术、荧光微球色谱技术等^[34]。Li 等^[35]建立了检测中药样品中马兜铃酸 I 的间接竞争酶联免疫吸附法（indirect competitive enzyme-linked immunosorbent assay, ic-ELISA）和免疫色谱试纸法，免疫色谱试纸具有 0.25 μg/g 的视觉检测限，5 min 内即可得到结果，适用于中药现场检测和大量样品筛选。Shu 等^[36]结合免疫色谱试纸条和时间分辨化学发光法，实现了甲基对硫磷和吡虫啉的定量检测，已成功用于甘草和当归等中药材的检测。周坚等^[37]利用含抗马兜铃酸 I 单克隆抗体胶体金，研发了一种快速检测卡，实现了复杂中药及中成药中的马兜铃酸 I 的特异性检测。ICA 不仅不需要特定的检测设备、检测速度快，还可以通过肉眼判定结果，为中药成分的快速检测提供了全新的技术模式^[38]。

3.1.4 仿生技术 研究者们将计算机和传感技术相结合，开发了仿生智能感官技术，如电子鼻、电子舌、电子眼等，这些技术可模拟人的感官，将待测物体的外观、气味、味道等特征信息数字化、编码化^[39]。相比传统的“五感”经验鉴别和繁琐的理化分析，仿生技术可以实现对中药成分的高效、灵敏和选择性检测，提高了分析检测的准确性和可靠性^[39]，能够促进中药的定量化和标准化质量检测分析，并且已经在中药的快速定性和定量分析中展现突出的优势。上述 3 种仿生技术覆盖了中药鉴别不同产地、不同来源、不同炮制程度、鉴别真伪、鉴别储存年份等方面的快速分析检测^[40]。金鑫宁等^[41]采用电子舌和电子眼，分别采集不同黄芪样本的一维指纹图谱信息和二维外观图像信息，成功实现了对不同产地黄芪样本的分类识别；李昱等^[42]应用电子鼻指认了五味子中的 36 个气味特征成分，结合人工神经网络实现了生五味子、醋五味子和蜜五味子饮片的快速、准确判别分析；四川新荷花中药饮片股份有限公司、江中药业股份有限公司等^[43]中药饮片生产企业，也将仿生技术运用于饮片的炮制生产过程中，将传统的外观、气味、颜色和发酵程度等经验性判断转化为智能化、规范化的客观参数指标，从而为饮片生产质量的稳定可控提供了科

学依据。

与光谱技术类似,仿生智能感官技术也可以进行多元信息融合处理和分析,建立多维度的评价方式,以提高模型结果的准确度^[39,44]。然而,由于仿生技术无法完全媲美人类的感官,不能够识别分析气味相似或差别不显著的中药或物质成分;其次,仿生技术还存在传感技术不稳定、寿命短、模型传递性较难等缺点,亟需开展相关研究,有望对中药生产过程中的质量实施更加精确地动态化调控。

3.1.5 核酸适配体生化传感检测技术 基于核酸适配体 (aptamer, Apt) 的生化传感检测技术是利用核酸适配体与靶分子之间的结合来实现分析检测的一种方法^[45-46]。当前,针对核酸适配体传感器的开发研究较多,但在中药领域的应用报道相对较少。该检测方法作为一种具有良好应用前景的中药快速分析工具,主要用于农药残留和真菌毒素的快速检测,与传统的农药残留检测方法相比,具有成本低廉、易于携带、操作简单、检测快速、特异性高等优点。但是,大多数构建完成的中药中真菌毒素及农残适配体生物传感器,仅处于实验室样品加标回收检测阶段,尚未在实际样品中进行批量检测。且研究该技术的人员较少,仅有陈媛媛等^[46-47]建立了基于广谱有机磷适配体的甲拌磷、氧化乐果、丙溴磷、水胺硫磷等有机磷农药的快速检测技术,尚需进一步探索和研究核酸适配体生化传感检测技术在中药领域的应用。

3.1.6 LAMP 技术 LAMP 是一种由 Notomi 等开发的新型恒温核酸扩增方法,可以在环介导等温扩增反应中添加荧光染料,实现可视化检测。该方法具有简单、快速、高灵敏度、强特异性等特点^[48],主要应用于中药的快速分子鉴定,具有较高的成功率和准确度^[49]。杨璐^[50]将 30 s 快速 DNA 提取方法与 LAMP 技术结合,成功建立了铁皮石斛现场快速分子检测方法,可在 40 min 左右成功完成整个鉴别过程;李奎等^[51]建立冬虫夏草的 LAMP 方法,检出限达 6 pg/mL,实现了对冬虫夏草的快速检测。张环宇等^[49]开发了地龙中参环毛蚓的 LAMP 快速检测反应,其检出限甚至达到了 40 fg/uL,具有极高的灵敏度和准确度,且不受样品的完整性和加工状态的影响,建立了一种快速、简便、现场化、特异性强的地龙分子鉴别方法。近年来,随着 PCR 技术和芯片技术的不断发展,DNA 分子鉴定技术在中药领域的应用日益增加。然而,LAMP 等技术在中药

领域的应用仍相对较少,且整体发展仍处于初级阶段,需要进一步完善和推动该技术的发展。

3.1.7 电化学分析法与生物传感器法 为了克服电化学行为受工作电极、溶液 pH 值、溶剂浓度和电解质类型等因素的影响,以及生物传感器法中不同的生物活性分子(如酶、核酸、抗体、微生物等)可能导致的结果稳定性差、选择性差、灵敏度不高等问题,通常会将电化学分析法与生物传感器法联用,用于中药中重金属和真菌毒素的快速检测,具有便携、操作简单、成本低、响应速度快、可实时分析等优点^[52-53]。闫卉欣等^[54]采用示差脉冲伏安法初步构建了一种电化学生物传感器,用于检测复杂动物药僵蚕基质溶液中的 Hg^{2+} 。孔德荣^[55]利用分子识别技术和胸腺嘧啶碱基对 (T-T) 错配的特性,成功构建了一种“Off-On”电化学发光生物传感器,可用于中药丹参中 Hg^{2+} 的检测,其检出限可达到 0.02 $\mu\text{g/L}$ 。由此可见,生物传感器法与电化学分析法联用,在中药重金属快速检测领域具有较大的潜在应用价值。

3.1.8 荧光探针 荧光分析法是一种通过检测某些荧光物质的波长位置和荧光强度,来进行物质定性或定量分析的方法,其关键在于荧光探针的荧光信号与待测物之间的响应关系,通常采用标准曲线法对待测物进行定量分析^[56-57]。基于荧光探针的分析方法具有响应时间短、成本低、实时可视化、选择性好、丰富的荧光团(包括传统荧光染料、量子点等)、生物相容性好等优点,因此得到了越来越广泛的应用^[58]。荧光探针还能够随着目标分析物浓度的变化而呈现荧光颜色的变化,有助于实现检测结果的可视化,在中药中常用于重金属离子、二氧化硫、农药残留和毒性成分的检测^[59]。贺园园^[58]以碳量子点 (CDs) 为基础,与不同尺寸的多色量子点 (QDs) 结合,构建相应的比率荧光探针,实现了对黄芪中 Ag^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Hg^{2+} 、 SO_3^{2-} 的可视化检测;荆军凯^[59]成功合成了 3 种特异性反应的反应型荧光探针,用来测定西洋参、还魂草、牡丹皮、白芍中的 Hg^{2+} 、 Cu^{2+} 、 Ni^{2+} 、 Al^{3+} 。

3.2 研究现状

本研究通过对年度发文量、国家、机构和作者的分析,能够发现中药快速分析检测技术的研究热度呈现整体上升趋势;国内文献的发文量呈现波动式增加,而英文文献发文量处于稳步上升态势。中国研究机构贡献的发文量占总量的 96.99%,说明中

国在中药快速分析检测领域的研究中占据绝对的优势地位,美国、瑞士、印度等国家发文量也相对较多,且影响力较大。国内已经形成了以北京中医药大学、浙江大学、成都中医药大学、广东药科大学、吉林农业大学为主的核心研究机构,及以杨美华、赵军宁、吴志生、乔延江等为主的核心作者团队。然而,这些机构和作者可能由于受地理位置和研究方向存在差异的影响,更加倾向于与同一地区及周边地区的研究机构进行合作。同时,大部分合作群体中的机构和作者来自高校及其附属医院、研究院和其他研究机构,与中药生产企业的合作交流较为匮乏,各个合作群体之间的合作网络缺乏紧密联系,这些现象在一定程度上制约了中药快速分析检测技术的发展。

关键词分析结果显示,中英文文献的研究热点存在明显的差异。中文文献对于快速分析检测技术的研究侧重于质量控制与质量评价,英文文献则主要侧重于化学成分与药效活性的研究。究其原因,主要是由于国内外的文化存在差异,以及两者对于中药的检验标准不同。中文文献中关于快速分析检测技术的研究更多地专注于新型技术的探索与开发,如传感器检测、光谱技术、电子鼻、免疫分析、荧光检测等。从 2020 年开始,针对分子层面的研究逐渐增多,包括分子鉴定、分子印迹、分析对接、分子克隆技术等,技术研究逐渐向更精细的方向发展。然而,这些新技术的研究频次较低,大多局限于高校和实验室研究,未能与中药生产实际需求充分结合,其研究层次尚且不深;同时还存在新技术研究耗时长、人员紧缺的问题。中英文文献中共同涉及的分析检测技术,如近红外、串联质谱、仿生技术、电子鼻、免疫分析、传感器检测等技术,在中文文献中的成果并不多,但在英文文献中的研究时间持久且发文量多,表明英文文献对其研究的层次较深,研究水平也相对较高。总体来看,除了英文文献中的 MS 技术和 NIR 技术,其他分析检测技术仍然需要投入大量的精力和时间去开展更加深入的研究。

3.3 存在问题

近年来,基于现代科学理论与新技术的快速发展,不仅完善了中药的分析检测手段,同时也提升了中药的质量品质,在中药的实际生产和科研实验中均取得了可观的成果,但是仍然存在一些亟需改善的问题。通过研究分析发现:①当前中药快速分

析检测技术的研究大多局限于新型检测技术的开发与应用,尽管涵盖了中药的质量控制、安全质量评价、非法添加等多方面的研究,但是各项技术的研究深度仍有待加强。②大多数中药快速分析检测技术由高校和研究所等机构开发,缺乏成果转化,许多科研成果仅限于实验室,未得到应用于中药实际生产和检测的机会。③不同研究团体和机构之间受限于各自的研究方向和地理位置,学术交流较为匮乏。基于上述问题,未来在中药快速分析检测技术领域应该加大研发力度,注重科研成果的转化与生产实践的结合。同时,要打破合作壁垒,充分展现各研究方向的优势,加深研究深度。此外,应注重传统技术与现代科学技术的融合,实现仪器间性能的互补,突破分析检测难点,以更好地推动快速分析检测技术的发展。

综上所述,本研究为从事中药快速分析检测技术研究的学者和机构提供了有价值的信息,为探索中药快速分析检测技术提供了一定的方向。随着中药的快速发展与广泛应用,预计未来会涌现出更多的快速分析检测技术,这些技术也将不断推动我国传统中药的发展,对推动中医药大健康产业的可持续发展产生积极的作用,以期进一步发扬中药的光辉成就。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 唐素勤. 小包装中药饮片质量影响因素及对策探析 [J]. 光明中医, 2020, 35(24): 4004-4005.
- [2] 张丹丹. 中药材储存中存在的问题及管理措施 [J]. 中国民康医学, 2021, 33(7): 123-125.
- [3] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能 [J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- [4] 黄子豪, 彭斐, 刘婷, 等. 基于 CiteSpace 知识图谱及专利计量对黄精相关研究的可视化分析 [J]. 中草药, 2024, 55(1): 217-231.
- [5] 宗淑萍. 基于普赖斯定律和综合指数法的核心著者测评——以《中国科技期刊研究》为例 [J]. 中国科技期刊研究, 2016, 27(12): 1310-1314.
- [6] 郑天骄, 韩炜. 符合中药特点的安全性相关质量研究及质量控制 [J]. 中草药, 2023, 54(1): 8-14.
- [7] 张成, 豆小文, 杨美华. 中药中常见真菌毒素毒理及快速检测技术 [J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2016, 30(12): 1369-1378.
- [8] 夏见英, 华桦, 鄢良春, 等. 基于 Microtox 技术快速检测苍耳子药材及其饮片、成方制剂毒性变化规律 [J]. 中药药理与临床, 2016, 32(2): 151-154.

- [9] 陆艳艳, 沈刚, 王剑波, 等. 基于气相色谱-声表面波联用技术(GC-SAW)快速分析中药姜黄品质的方法学研究 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2021, 23(11): 4172-4179.
- [10] 刘晓娜, 王喜波, 车晓青, 等. LIBS 技术在中药质量快速评价中的应用及研究进展 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2020, 22(4): 1262-1269.
- [11] 裴艳玲, 吴志生, 史新元, 等. 中药关键质量属性快速评价(II): NIR 光谱解析策略例证 [J]. 光谱学与光谱分析, 2014, 34(9): 2391-2395.
- [12] Xue C S, Zhang A H, Sun H, *et al.* An improved ultra-performance liquid chromatography-electrospray ionization/quadrupole-time-of-flight high-definition mass spectrometry method for determining ingredients of herbal Fructus corni in blood samples [J]. *Pharmacogn Mag*, 2014, 10(40): 422-429.
- [13] Zhang A H, Sun H, Wang X J. Mass spectrometry-driven drug discovery for development of herbal medicine [J]. *Mass Spectrom Rev*, 2018, 37(3): 307-320.
- [14] Wang L J, Hui Y, Jiang K, *et al.* Potential of near infrared spectroscopy and pattern recognition for rapid discrimination and quantification of *Gleditsia sinensis* thorn powder with adulterants [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2018, 160: 64-72.
- [15] Wu L, Wang B, Zhao M M, *et al.* Rapid identification of officinal akebiae caulis and its toxic adulterant aristolochiae manshuriensis caulis (*Aristolochia manshuriensis*) by loop-mediated isothermal amplification [J]. *Front Plant Sci*, 2016, 7: 887.
- [16] 张勇. 我国高校阅读推广研究演进路径、热点与趋势分析 [J]. 图书馆工作与研究, 2020(8): 87-97.
- [17] 王桂梅, 臧恒昌. 近红外光谱技术及其在药学领域的应用进展 [J]. 广州医药, 2008, 39(2): 7-9.
- [18] Lin H J, Ying Y B. Theory and application of near infrared spectroscopy in assessment of fruit quality: A review [J]. *Sens Instrum Food Qual Saf*, 2009, 3(2): 130-141.
- [19] 秦宇雯, 费程浩, 毛春芹, 等. 基于“性状-质量标志物-生物效应”的饮片质量整体识别研究思路 [J]. 中草药, 2022, 53(5): 1294-1302.
- [20] 贾灿潮, 李俊妮, 李荣, 等. 中药快速分析技术的发展及其前景 [J]. 药物分析杂志, 2018, 38(9): 1476-1483.
- [21] 陈卡卡, 钟志坚, 蔡润发, 等. 采用近红外技术在线检测参灵草提取浓缩液和配制液指标 [J]. 中国科技信息, 2022(9): 85-86.
- [22] 徐芳芳, 冯双双, 李雪珂, 等. 青蒿浓缩过程在线近红外快速检测模型的建立 [J]. 中草药, 2016, 47(10): 1690-1695.
- [23] 王永香, 郑伟然, 米慧娟, 等. 热毒宁注射液青蒿金银花浓缩过程近红外快速定量检测方法的建立 [J]. 中草药, 2017, 48(1): 102-108.
- [24] 田春婷, 赵宁, 秦建伟, 等. 基于机器学习的红外光谱数据鉴别中药材性能方法 [J]. 兰州理工大学学报, 2023, 49(3): 55-59.
- [25] 文元新, 祝子喻, 陈江, 等. 基于近红外光谱结合多元分析方法的红花定性定量模型建立及含量差异比较 [J]. 中华中医药学刊, 2022, 40(8): 200-204.
- [26] Xu L, Fu X S, Fu H Y, *et al.* Rapid detection of exogenous adulterants and species discrimination for a Chinese functional tea (Banlangen) by fourier-transform near-infrared (FT-NIR) spectroscopy and chemometrics [J]. *J Food Qual*, 2015, 38(6): 450-457.
- [27] 梁晶. 激光诱导击穿光谱技术结合机器学习策略的丹参溯源及多元校正方法研究 [D]. 西安: 西北大学, 2021.
- [28] 武玉卓, 王宣, 唐朝, 等. 基于质谱技术表征中药药效物质的研究进展和挑战 [J]. 中华中医药杂志, 2024, 39(1): 45-49.
- [29] Liao M, Yan P, Liu X C, *et al.* Spectrum-effect relationship for anti-tumor activity of shikonins and shikonofurans in medicinal Zicao by UHPLC-MS/MS and chemometric approaches [J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2020, 1136: 121924.
- [30] Ma X, Fernández F M. Advances in mass spectrometry imaging for spatial cancer metabolomics [J]. *Mass Spectrom Rev*, 2024, 43(2): 235-268.
- [31] Nie L X, Huang L Y, Wang X P, *et al.* Desorption electrospray ionization mass spectrometry imaging illustrates the quality characters of *Isatidis Radix* [J]. *Front Plant Sci*, 2022, 13: 897528.
- [32] Liu Y, Yang X X, Zhou C, *et al.* Unveiling dynamic changes of chemical constituents in raw and processed Fuzi with different steaming time points using desorption electrospray ionization mass spectrometry imaging combined with metabolomics [J]. *Front Pharmacol*, 2022, 13: 842890.
- [33] 孙新琪. 高通量 GC-MS/MS 和荧光免疫分析技术检测金银花中农药残留的应用研究 [D]. 张家口: 河北北方学院, 2022.
- [34] 张越. 基于免疫层析技术的中药活性成分体内快速检测方法的研究 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2018.
- [35] Li S Z, Wu X L, Song S S, *et al.* Development of ic-ELISA and an immunochromatographic strip assay for the detection of aristolochic acid I [J]. *Food Agric Immunol*, 2019, 30(1): 140-149.
- [36] Shu Q, Wang L M, Ouyang H, *et al.* Multiplexed immunochromatographic test strip for time-resolved

- chemiluminescent detection of pesticide residues using a bifunctional antibody [J]. *Biosens Bioelectron*, 2017, 87: 908-914.
- [37] 周坚, 汤朝阳, 李云峰. 一种马兜铃酸 A 快速检测卡及其检测方法: 中国, CN104897890B [P]. 2017-01-04.
- [38] Inyai C, Komaikul J, Kitisripanya T, *et al.* Development of a rapid immunochromatographic strip test for the detection of mulberroside A [J]. *Phytochem Anal*, 2015, 26(6): 423-427.
- [39] 侯富国, 桂新景, 王艳丽, 等. 基于智能视觉技术的白及饮片真伪快速辨识方法研究 [J]. *中草药*, 2023, 54(02): 509-519.
- [40] 李晨旭, 姚静, 任延娜, 等. 基于感官评价法的清热类中药口服液味觉评价研究 [J]. *中草药*, 2023, 54(01): 81-91.
- [41] 金鑫宁, 刘铭, 桑恒亮, 等. 基于电子舌和电子眼结合改进 MobileNetv3 的黄芪快速溯源检测 [J]. *食品与机械*, 2023, 39(6): 37-47.
- [42] 李昱, 宫静雯, 费程浩, 等. 快速气相电子鼻结合人工神经网络对 3 种五味子饮片快速识别及气味差异标志物研究 [J]. *中草药*, 2022, 53(5): 1303-1312.
- [43] 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(3): 379-386.
- [44] Yang S L, Xie S P, Xu M, *et al.* A novel method for rapid discrimination of bulbus of *Fritillaria* by using electronic nose and electronic tongue technology [J]. *Anal Methods*, 2015, 7(3): 943-952.
- [45] 胡奕津, 范申, 黄丽珊, 等. 光学适配体传感器检测赭曲霉毒素 A 的研究进展 [J]. *化学通报*, 2022, 85(10): 1177-1185.
- [46] 张楠. 基于核酸适配体的中药中真菌毒素生化传感检测方法开发 [D]. 天津: 天津中医药大学, 2022.
- [47] 陈媛媛. 核酸适配体传感体系的构建及其检测中药材中农药残留的研究 [D]. 福州: 福建中医药大学, 2019.
- [48] 吴文如, 杨璐, 周华. 核酸等温扩增技术及其在中药分子鉴定中的应用研究概况 [J]. *中草药*, 2016, 47(23): 4289-4294.
- [49] 张环宇, 谭伟, 高晗, 等. 中药地龙中参环毛蚓介导等温扩增快速检测方法 [J]. *天津中医药*, 2021, 38(4): 535-538.
- [50] 杨璐. 铁皮石斛现场快速分子鉴别体系的建立及应用 [D]. 广州: 广州中医药大学, 2019.
- [51] 李奎, 李琦, 袁媛, 等. 环介导等温扩增法鉴定检测冬虫夏草 [J]. *中草药*, 2011, 42(8): 1605-1608.
- [52] 徐飞, 陈娟, 吴启南. 电化学分析技术在中药物质基础研究中的应用 [J]. *中国药房*, 2011, 22(47): 4498-4500.
- [53] 关凯仪, 黄仁堂, 张磊, 等. 高灵敏光学和电化学适配体传感器在真菌毒素快速检测中的研究进展 [J]. *分析试验室*, 2022, 41(02): 212-224.
- [54] 闫卉欣, 孔丹丹, 范卓文, 等. 特异性 DNA 电化学生物传感器快速检测动物药中痕量 Hg^{2+} [J]. *中国中药杂志*, 2020, 45(22): 5530-5536.
- [55] 孔德荣. 应用于中药材基因鉴别和重金属检测的新型电化学传感方法的研究 [D]. 南昌: 江西中医药大学, 2019.
- [56] 李晚谊, 李宏, 李秋兰, 等. 碳点荧光探针的制备及其检测金银花中绿原酸含量的研究 [J]. *中草药*, 2022, 53(5): 1402-1410.
- [57] Bigdeli A, Ghasemi F, Abbasi-Moayed S, *et al.* Ratiometric fluorescent nanoprobe for visual detection: Design principles and recent advances - A review [J]. *Anal Chim Acta*, 2019, 1079: 30-58.
- [58] 贺园园. 量子点荧光探针在中药重金属和亚硫酸盐检测中的应用 [D]. 西安: 陕西科技大学, 2022.
- [59] 荆军凯. 几种金属离子荧光探针的合成及其在中草药领域中的应用 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨理工大学, 2021.

[责任编辑 潘明佳]