

基于 CiteSpace 和 VOSviewer 的中药挥发油研究现状与发展趋势的可视化分析

朱 善^{1, 2}, 王建玲¹, 梅佳华¹, 赵梦园¹, 杨金莲¹, 谭 林¹, 张胜豪¹, 崔欣蓉¹, 张 雷¹, 马云淑^{1, 2, 3, 4*}

1. 云南中医药大学, 云南 昆明 650500

2. 云南省南药可持续利用重点实验室, 云南 昆明 650500

3. 云南省高校外用给药系统与制剂技术研究重点实验室, 云南 昆明 650500

4. 云南省药食同源饮片工程中心, 云南 昆明 650500

摘 要: **目的** 基于 CiteSpace 和 VOSviewer 系统分析中药挥发油研究现状与发展趋势, 为其深入研究提供参考。**方法** 检索中国学术期刊全文数据库 (CNKI)、维普生物医学数据库 (VIP)、万方数据库 (Wanfang Data)、Web of Science (WOS) 4 个数据库, 筛选 2001 年 1 月 1 日至 2025 年 12 月 10 日中药挥发油相关文献, 利用 Excel、CiteSpace、VOSviewer 软件, 对文献发文量、研究国家、发文机构、核心作者、关键词等核心指标进行文献计量及可视化分析。**结果** 共纳入符合要求的中文文献 5 350 篇、英文文献 934 篇。文献计量结果显示, 中文文献的整体趋势表现为先升后降, 而英文文献则持续呈现上升趋势, 共同构建了以中国为核心的多维度合作格局。中、英文发文量最高的机构均为成都中医药大学, 中文文献核心作者为杨明, 英文文献核心作者为 Deng Chunhui。关键词分析显示, 国内外在中药挥发油研究领域主要集中在提取方法的创新与优化、组分分析、质量控制、药理作用及其机制的探讨。其中中文文献还涉及道地药材, 以及中医理论指导下复方中药挥发油作用机制等研究方向。**结论** 中药挥发油研究体系已日趋完善, 中西医研究视角互补融合。未来该领域将聚焦绿色制备工艺、稳定化技术与新型递药制剂创新, 持续深化药理机制研究、构建标准化质量控制体系, 并积极向农业、食品等新兴领域拓展应用边界, 实现多学科交叉创新发展。

关键词: 中药挥发油; CiteSpace; VOSviewer; 质量控制; 药理作用; 新型递药系统; 可视化分析

中图分类号: R285.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-6376(2026)07-2493-20

DOI: 10.7501/j.issn.1674-6376.2026.07.022

Visual analysis of current status and development trends in research on essential oils from traditional Chinese medicine based on CiteSpace and VOSviewer

ZHU Shan^{1, 2}, WANG Jianling¹, MEI Jiahua¹, ZHAO Mengyuan¹, YANG Jinlian¹, TAN Lin¹, ZHANG Shenghao¹, CUI Xinrong¹, ZHANG Lei¹, MA Yunshu^{1, 2, 3, 4}

1. Yunnan University of Traditional Chinese Medicine, Kunming 650500, China

2. Yunnan Key Laboratory of Southern Medicine Utilization, Kunming, 650500, China

3. Key Laboratory of Transdermal Drug Delivery System and Preparation Technology of Yunnan Province, Kunming 650500, China

4. Yunnan Province Engineering Center for Food and Medicine of the Same Origin, Kunming 650500, China

Abstract: Objective To analyze the current status and development trends of research on volatile oils from traditional Chinese medicine (TCM) using CiteSpace and VOSviewer, providing reference for further studies. **Methods** Literature related to TCM volatile oils was retrieved from four databases—China National Knowledge Infrastructure (CNKI), VIP, Wanfang, and Web of Science (WOS)—covering publications from January 1st, 2001, to December 10th, 2025. Using Excel, CiteSpace, and VOSviewer software, bibliometric and visualization analyses were conducted on key indicators including publication volume, countries involved, institutions,

收稿日期: 2026-01-27

基金项目: 云南省孔令义专家工作站(202605AF350055); 国家自然科学基金资助项目(82174065); 云南省朱兆云院士工作站(202405AF140128); 云南省科技厅社会发展专项-重点研发计划项目(202303AC100025); 云南省生物医药专项-重大科技专项计划(202302AA310031)

作者简介: 朱 善, 硕士研究生, 研究方向为中药新剂型与新制剂。E-mail: 3444761927@qq.com

***通信作者:** 马云淑, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为中药新剂型与新制剂。E-mail: yunshuma2@126.com

core authors, and keywords. **Results** A total of 5 350 Chinese articles and 934 English articles met the inclusion criteria. Bibliometric analysis revealed that the trend in Chinese publications showed an initial increase followed by a decline, while English publications demonstrated a continuous upward trend, collectively forming a multidimensional collaborative network centered in China. Chengdu University of Traditional Chinese Medicine ranked highest in both Chinese and English publications; Yang Ming was identified as the core author in Chinese literature, while Deng Chunhui was the core author in English literature. Keywords analysis indicated that research in both domestic and international contexts primarily focused on innovation and optimization of extraction methods, component analysis, quality control, pharmacological effects, and their underlying mechanisms. Additionally, Chinese literature also covered topics such as authentic medicinal materials and the mechanisms of volatile oils from compound prescriptions guided by TCM theory. **Conclusion** The research system on TCM volatile oils has become increasingly comprehensive, with complementary integration between Eastern and Western perspectives. Future research will focus on green preparation technologies, stabilization techniques, and innovations in drug delivery systems, deepen investigations into pharmacological mechanisms, establish standardized quality control systems, and actively expand applications into emerging fields such as agriculture and food science, promoting interdisciplinary innovation and development.

Key words: volatile oil of traditional Chinese medicine; CiteSpace; VOSviewer; quality control; pharmacological effects; novel drug delivery systems; visualized analysis

中药挥发油是存在于植物体内一类可随水蒸气蒸馏得到的与水不相混溶的挥发性油状成分的总称^[1],主要存在于芳香植物表皮腺毛、油室、油细胞和油管等部位的次生代谢产物,由多种不同化学类别的亲脂性和高挥发性成分组成,其化学构成主要涵盖单萜、倍半萜及其相关衍生物^[2-3],常见的植物来源包括唇形科 *Lamiaceae*,如薄荷、紫苏、广藿香等;伞形科 *Apiaceae*,如茴香、当归、芫荽、白芷、川芎等;菊科 *Asteraceae*,如青蒿、艾叶、茵陈蒿、苍术、白术、木香等;芸香科 *Rutaceae*,如枳壳、陈皮、花椒等;樟科 *Lauraceae*,如桂枝、肉桂等;姜科 *Zingiberaceae*,如生姜、姜黄、郁金、豆蔻等^[4],具有抗菌、抗氧化、抗炎、抗肿瘤、抗过敏、抗焦虑等药理活性及独特芳香气味^[5-7]。因其量小、活性强、起效快,在医药、食品和农业等领域受到广泛关注与深入研究。但目前中药挥发油领域的研究仍存在显著的知识体系缺口以及梳理不充分问题,研究成果呈现出“碎片化”特征,缺乏基于文献计量学的可视化分析。

文献计量学通过量化分析学术产出的发文量、国家分布、作者机构、关键词等以揭示特定研究领域发展轨迹演变,并据此在一定程度上研判研究热点^[8-9]。本研究依托 Microsoft Excel 2021、VOSviewer 1.6.20 及 CiteSpace 6.4.R1 开展文献计量研究。

本研究以近 25 年中药挥发油领域的中、英文文献为研究样本,首先对文献的国别、研究机构、作者等信息进行统计梳理,再通过构建关键词可视

化知识图谱,系统挖掘该领域的研究热点与核心研究方向。有效助力中药挥发油的现代化研究与临床转化应用,弥补当前该领域研究碎片化、缺乏系统性整合的理论短板,打通中药传统功效与现代药理研究的衔接壁垒,为后续中药挥发油的深度研究与创新探索提供可靠的理论支撑与科学参考。

1 资料与方法

1.1 文献来源与检索策略

以中国学术期刊全文数据库(CNKI)、万方(Wanfang)、维普(VIP)为中文数据库,检索式为(主题=“挥发油”或“精油”或“芳香油”),文献分类为医药卫生科技,学科为“中药学”或“中医学”,来源类别为北大核心、中国科学引文数据库(CSCD)检索。以 Web of Science(WOS)数据库为英文文献来源,设置检索方式为高级检索,检索范围为 WOS 核心合集,版本为全部,检索式为(TS=(“essential oil”OR“essential oils”OR“Volatile oil”OR“Volatile oils”))AND(TS=(“Chinese herbal medicine”OR“Chinese medicinal herb”OR“herbal medicine”OR“traditional Chinese medicine”)),语言设置为英语。中、英文文献检索时间均设定为 2001 年 1 月 1 日—2025 年 12 月 10 日。

1.2 筛选标准

纳入有关研究所涉及的、源自符合中医药理论界定的中药材或复方中药的挥发油的学术论文(academic paper)及综述文章(review article),排除与中药挥发油研究无直接关联的文献(含仅研究普通植物挥发油、未涉及中医药理论应用或中药来

源的相关文献)、已撤销的出版物或期刊文献、存在重复发表情况的文献、社论、会议摘要、书籍章节等非核心学术文献类型与核心必要信息(如研究方法、数据、机构信息等)缺失的文献。

1.3 文献处理

审阅文献核心内容,按筛选标准剔除不符合要求的文献,英文文献选“纯文本”格式,中文通过 NoteExpress 文献管理工具筛选和剔除重复文献,转“RefWorks”格式,均导出“txt”文件并按规则命名为“download*.txt”,最终纳入 5 350 篇中文文献和 934 篇英文文献。CiteSpace 参数设置为 g-index 阈值 k 值设定为 25,时间切片跨度设为 1,其余参数均采用系统默认设置。

2 结果

2.1 发文趋势

文献发文量的分布变化能够全面揭示研究对象的发展趋势及其受关注的程度^[10]。中药挥发油的中、英文文献发文量及其趋势见图 1(2025 年数据截至 12 月 10 日)。

中、英文文献发文量占比分别为 85.14% 和 14.86%。2001—2012 年,中文文献的发文量总体呈现出快速增长的态势,在此之后则呈现出整体下降趋势。推测 2001—2012 年的增长属于技术、政策、需求共同作用的“红利期”,而 2012 年后的下降则是基础研究瓶颈、转化障碍、资源制约、热点转移等因素叠加所致。英文文献整体呈现出持续递增的趋势,早期发文量相对较低,自 2020 年前后开始显著增长,与中文发文量的差距亦逐渐缩小,并于 2025 年首度超越中文文献数量,推测其快速增长的原因在于中医药国际化进程的推进、研究侧重于机

制与临床转化,契合国际偏好,以及国际合作的不断深化。

综合分析显示,中药挥发油领域的总体发文量演变呈现出“三阶段”特征:第一阶段是快速上升期,此阶段中文发文量贡献了显著的增量;第二阶段是明显下降期,中文发文量的大幅回落是主要驱动因素;第三阶段为缓慢回升期,英文发文量的显著增长成为关键支撑。中文研究在该领域长期占据主导地位,但基于现有趋势进行预测,中药挥发油领域的发文量将持续保持缓慢回升态势,且英文研究的占比有望进一步提高。

2.2 国家发文与合作

共 52 个国家参与中药挥发油相关研究,中国发表 809 篇(占 88.80%)位居榜首;第 2 是美国,发表 35 篇(占 3.84%);第 3 是印度,发表 20 篇(占 2.20%)。结果表明,中国作为全球拥有最完备中医药传承体系的国家,在中药挥发油领域已开展了长期且深入的研究与实践,成果斐然,确立了该领域的绝对领导地位。

国家合作网络图见图 2,展示了中国作为核心的多维度合作格局。中国与美国、日本等多个国家建立了广泛的合作网络,凸显了其作为核心枢纽的关键地位。节点中心性的重要含义是衡量该节点与网络中其他相邻节点的直接连接数目,能直接显示其在网络中的真实作用与影响力度^[11-12]。发文国家的中心度量化结果见表 1。其中,中国以 0.80 的中心度位居榜首,印度以 0.32 位列第 2,美国以 0.26 排名第 3,意大利则以 0.18 位列第 4。这一结果表明,在国际合作的进程中,这 4 个国家扮演着不可或缺的核心角色。

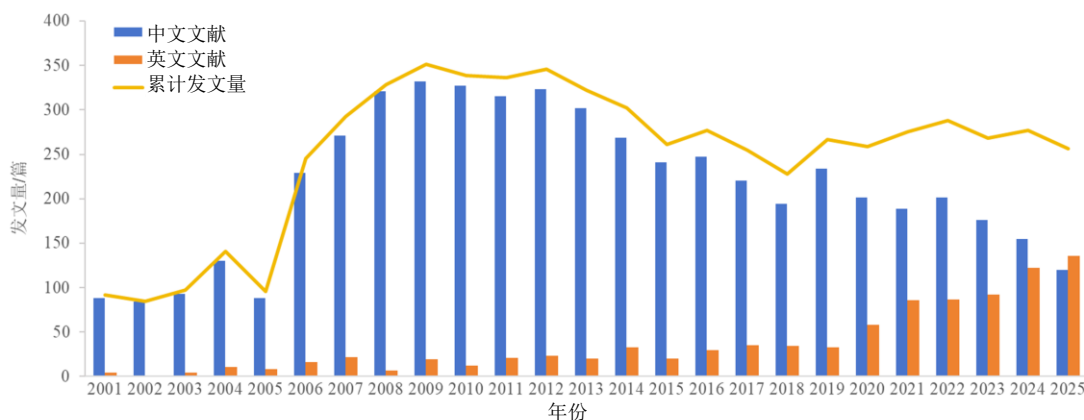


图 1 中、英文文献发文量趋势

Fig. 1 Trends in number of published papers in Chinese and English literature

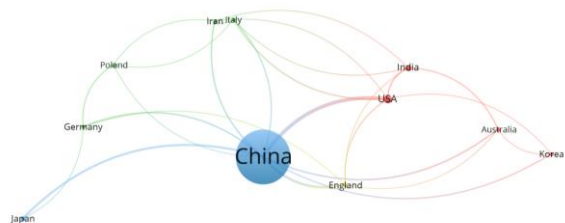


图 2 英文文献国家合作网络
Fig. 2 English literature national cooperation network

2.3 机构发文与合作

对中、英文文献发文机构进行可视化分析，中文文献研究机构合作网络见图 3，发文量前 11 的机构见表 2。图谱包含 757 个节点，573 条连线，有 7 个机构的发文量在 100 篇以上，发文量排名前 3 的依次是成都中医药大学（200 篇）、江西中医药大学（178 篇）和广西中医药大学（149 篇），整体呈现“核心机构引领、合作紧密”的网络特征。英文

表 1 英文文献发文量前 11 位的国家

Table 1 Top 11 countries by number of English literature publications

序号	发文量/篇	中心度	始发年份	国家	序号	发文量/篇	中心度	始发年份	国家
1	809	0.80	2001	中国	7	10	0.06	2007	伊朗
2	35	0.26	2008	美国	8	9	0	2009	德国
3	20	0.32	2011	印度	9	8	0.05	2005	澳大利亚
4	13	0	2009	日本	10	8	0.18	2001	意大利
5	12	0.05	2007	英国	11	8	0.01	2019	波兰
6	11	0.04	2004	韩国					

Chilman, Y. & J. J. (2019) Network visualization of research trends in traditional Chinese medicine: A bibliometric analysis. *Journal of Traditional Chinese Medicine*, 19(1), 1-10.



图 3 中文文献发文机构合作网络
Fig. 3 Cooperative network of Chinese literature publishing institutions

文献研究机构合作网络见图 4，发文量排名前 11 的机构见表 2。图谱包含 336 个节点，499 条合作连线，发文量排名前 3 的依次是 Chengdu University of Traditional Chinese Medicine（成都中医药大学，52 篇）、Chinese Academy of Sciences（中国科学院，37 篇）和 Fudan University（复旦大学，33 篇）。中文文献机构合作网络的节点与连线比为 1.32：1.00，合作紧密，形成了以核心高校为中心的区域协作网络；而英文文献的节点与连线比为 0.67：

1.00，机构合作相对较松散，多为核心机构与伙伴的点对点关联，未形成稳定协作网络。该特性形成的推测基于以下因素：其一，科研评价有差异，国内重“团队协作成果”，国际重“单一团队原创性”，导致国际合作多为短期技术互补，难以形成长期稳定协作关系。其二，学术文化不同，国内受“集体协作文化”影响，合作倾向长期化、体系化，国际研究重“个体团队特色”，围绕特定需求合作，缺乏持续推进的文化驱动力。其三，项目资助模式不一，国内

表 2 中、英文文献发文量前 11 的机构

Table 2 Top 11 institutions in terms of number of Chinese and English literature publications

序号	中文文献			英文文献		
	发文量/篇	始发年份	机构	发文量/篇	始发年份	机构
1	200	2003	成都中医药大学	52	2011	Chengdu University of Traditional Chinese Medicine
2	178	2002	江西中医药大学	37	2003	Chinese Academy of Sciences
3	149	2009	广西中医药大学	33	2003	Fudan University
4	122	2002	南京中医药大学	29	2011	Heilongjiang University of Traditional Chinese Medicine
5	105	2001	广州中医药大学	27	2012	Chinese Academy of Medical Sciences & Peking Union Medical College
6	103	2006	甘肃中医药大学	25	2008	Nanjing University of Traditional Chinese Medicine
7	103	2001	中国中医科学院	25	2012	Institute of Medicinal Plant Development - CAMS
8	92	2001	北京中医药大学	24	2014	Beijing University of Chinese Medicine
9	61	2002	山东中医药大学	23	2012	China Academy of Chinese Medical Sciences
10	53	2003	中南大学	22	2014	Tianjin University of Traditional Chinese Medicine
11	48	2010	湖南中医药大学	22	2007	Shanghai University of Traditional Chinese Medicine

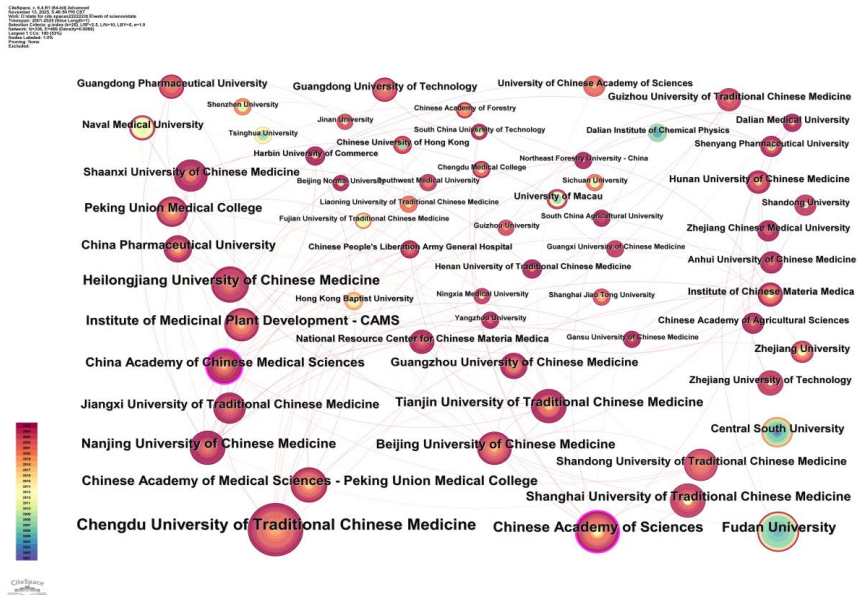


图 4 英文文献发文机构合作网络

Fig. 4 Cooperative network of English literature publishing institutions

中药挥发油研究依赖“国家级重大项目”，多单位联合攻关，国际多是“小型专项资助”，规模有限，短期合作，无法为稳定协作网络提供资金支撑。

中药挥发油研究机构合作网络分析显示，中药挥发油中、英文文献发文量排名前 11 的机构均来自中国，主要研究机构集中于国内多所中医药类高校、科研院所和重点实验室。这一格局形成，一方面源于中国对中医药传承创新的长期战略投入，如中医药现代化专项、国家自然科学基金中药学科重点项目；另一方面得益于“高校-科研院所-医疗机构”协同创新体系构建，核心机构通过联合攻关等

方式合作。此外，中、英文文献里中国机构占主导地位，表明中国在中药挥发油领域已具备从“国内研究领先”迈向“国际成果输出”的能力，为全球中医药现代化研究提供学术参考。

其中成都中医药大学中、英文文献发文量均居首位，2015—2025 年共发表 123 篇中文文献，主要聚焦 4 方面：（1）优化中药挥发油提取工艺；（2）分析鉴定中药挥发油化学成分，含单一中药挥发油成分解析、不同基原或产地中药挥发油对比研究、药对共煎前后成分变化探讨；（3）研究中药挥发油药理作用及其机制，探讨作用靶点与信号通路，应用于妇

科、心血管、神经及消化系统疾病治疗；(4)开展中药挥发油质量控制与制剂开发。江西中医药大学现代中药制剂教育部重点实验室是国内中药挥发油研究核心基地，围绕“稳定性提升-制剂创新-作用机制-质量控制”构建系统性研究体系，2019—2025 年发表 65 篇中药挥发油相关研究，研究方向集中在 4 方面。(1)稳定化技术与机制：开发载体吸附等技术，解析分子机制，筛选抗氧化剂；(2)新型制剂与递药系统：研发纳米制剂，践行“药辅合一”理念，推动固体制剂转化应用；(3)药理作用与机制：探究中药挥发油在抗肿瘤等领域多靶点、多通路作用机制；(4)质量控制：借助先进技术表征成分、筛选质量标志物。

2.4 作者发文与合作

对中文文献发文作者进行可视化分析，发文量前 10 作者见图 5-A，合作网络图见图 6。发文作者共 1 162 位，形成 1 741 条合作连线。在发文量超

过 30 篇的作者群体中，杨明以 69 篇的发文量处于领先地位，其余依次为康文艺(35 篇)、刘建华(33 篇)和梁逸曾(33 篇)。中药挥发油研究领域已汇聚多个研究团队，以杨明为核心的研究团队规模最为庞大，在 2015—2025 年间共发表 62 篇论文，该团队除形成了“成分解析-制剂技术创新(如多孔载体固化技术、新型递释系统开发等)-药效机制挖掘(如神经系统、心血管、肿瘤、内分泌等疾病)-量控制体系构建”的完整研究体系外，还涉及中药复方与“药辅合一”理念等。以康文艺为核心的研究团队在 2008—2013 年发表 30 篇论文，聚焦用顶空固相微萃取(HS-SPME)、气相色谱-质谱(GC-MS)等技术，分析不同植物/部位挥发性成分，优化提取条件，还研究炮制、储存对成分及活性的影响，预测中药有效期，为资源开发和质量控制提供依据。以刘建华为核心的研究团队在 2008—2014 年发表 29 篇论文，核心研究方向为药用植物挥发性成分分

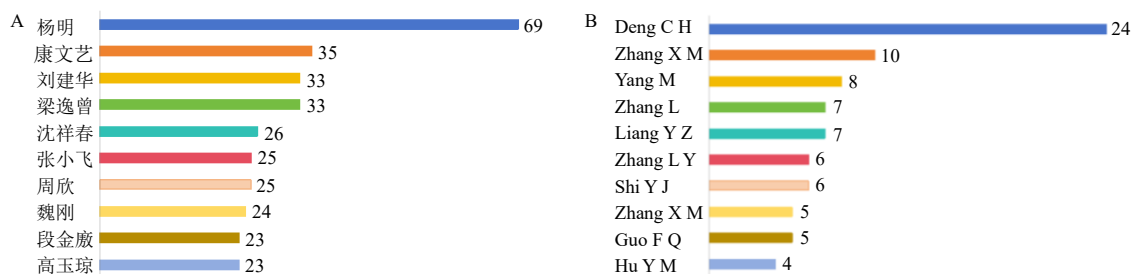


图 5 中文 (A) 英文 (B) 文献发文量前 10 位的作者

Fig. 5 Top 10 authors by number of Chinese (A) and English (B) literature publications

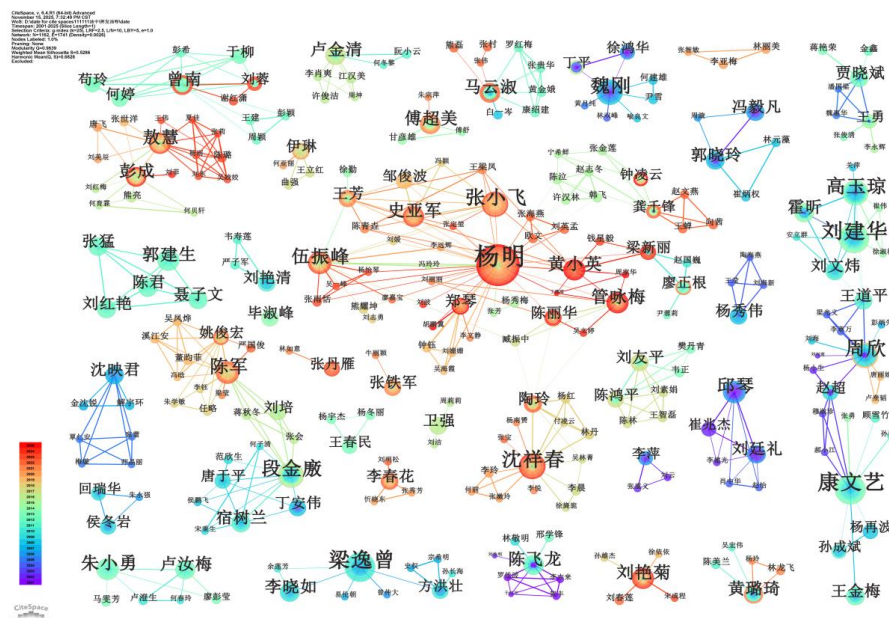


图 6 中文文献作者合作网络

Fig. 6 Chinese literature author collaboration network

析, 采用水蒸气蒸馏法 (SD) 提取柿蒂、泰国大风子等多种药用植物挥发油, 结合 GC-MS 联用技术鉴定成分并计算含量, 还对比部分植物不同粉末 (普通粉与超微粉) 挥发性成分差异, 为药用植物综合开发利用提供数据支撑。梁逸曾团队在 2007—2010 年发表 28 篇论文, 聚焦 GC-MS 结合化学计量学分析挥发油, 并鉴定多种中药及药对 (如青蒿-桂枝等) 挥发油成分。

对英文文献发文作者进行可视化分析, 发文量排名前 10 位的作者见图 5-B, 合作网络见图 7。发文作者共有 669 位, 产生了 845 条合作连线, 形成多个规模庞大且各具特色的研究团队。发文量超过

20 篇的作者依次是 Deng, Chunhui (24 篇)、Zhang, XM (10 篇)、Yang, Ming (8 篇)。以 Deng, Chunhui、Zhang, XM 为核心的研究团队在 2004—2006 年发表 9 篇论文, 聚焦中药活性成分分析研究和质量控制, 创新联用加压热水提取 (PHWE)、微波辅助提取 (MAE) 等绿色提取技术与液液微萃取 (LLME) 等微型富集技术, 搭配 GC-MS 联用, 构建多套高效体系, 同时确立中药质量标志物, 分析产地。相较于中文文献, 英文文献的作者合作模式整体上显得较为松散, 团队规模普遍较小。而中文文献则更倾向于多位作者之间的紧密协同合作, 通常涉及规模更大的研究团队, 并且跨机构合作项目也更为常见。

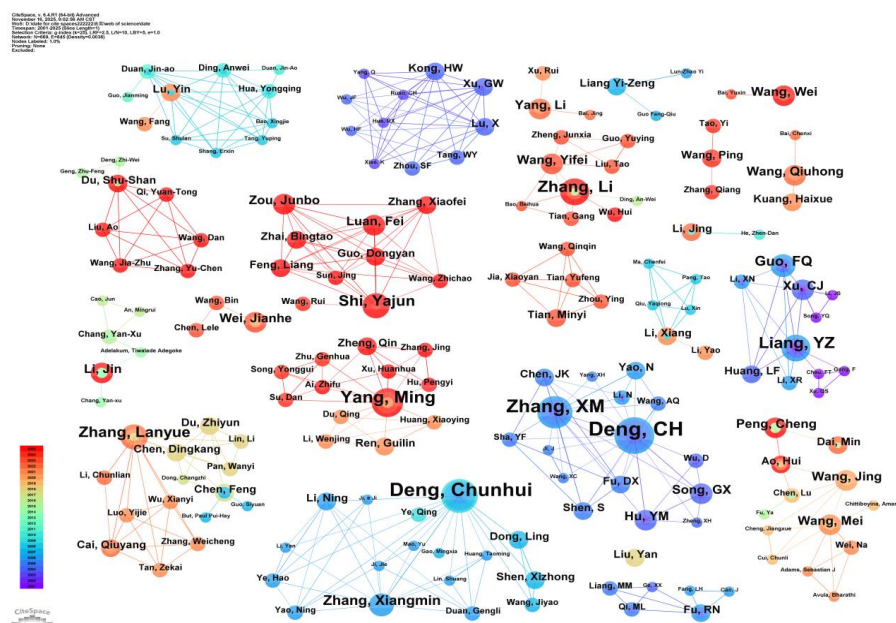


图 7 英文文献作者合作网络

Fig. 7 English literature author collaboration network

2.5 关键词

2.5.1 关键词共现分析 关键词作为文献主题的核心要素, 借助关键词共现分析方法, 能够更为深入地洞察不同文献主题之间的关联特性, 这不仅有助于剖析某一学科的结构体系, 而且能够助力研究者快速把握该领域的研究热点^[13]。运用 VOSviewer 生成中、英文文献关键词共现图谱, 节点圆圈尺寸对应相关文献发表量, 圆圈越大, 发表量越多; 连线粗细代表关键词共现频率, 连线越粗共现越频繁; 节点颜色深浅关联研究时间远近, 颜色越红研究时间越接近当前。

中文文献关键词出现频次超 50 的有 36 个 (表 3), 关键词共现图谱见图 8。出现频次排名前 3 的

依次为挥发油 (2 634 次)、气相色谱-质谱联用 (1 563 次)、化学成分 (718 次), 其中“挥发油 (2 634 次)”为中文最高频关键词, 其出现频次远远高于其他关键词, 该结果与本研究聚焦中药挥发油的检索主题高度相符。挥发油是中药材发挥药理活性的核心物质之一, 是该研究方向重点关注的对象, 因此在检索文献库时, 该内容被频繁提及。分析表明, 研究内容涵盖 4 个方面: (1) 成分分析与检测: 以具备高分离与鉴别效能的 GC-MS 为核心进行挥发油组成成分或主成分分析; (2) 提取工艺探究: 研究 SD、超临界 CO₂ 萃取等提取方式, 并优化提取工艺, 提高中药挥发油提取效率与产量; (3) 质量控制: 进行质量标志物确定, 建立质量评价标准体

表 3 中文文献中出现频次≥50 的关键词
Table 3 Keywords with frequency ≥ 50 in Chinese literature

序号	关键词	频次	序号	关键词	频次	序号	关键词	频次
1	挥发油	2 634	13	炮制	97	25	石菖蒲	62
2	气相色谱-质谱联用	1 563	14	当归	94	26	含量测定	62
3	化学成分	718	15	抗炎	89	27	当归挥发油	62
4	药理作用	279	16	气相色谱法	83	28	稳定性	57
5	水蒸气蒸馏	234	17	药理活性	81	29	白术	57
6	挥发性成分	168	18	超临界 CO ₂ 萃取	76	30	艾叶	56
7	指纹图谱	138	19	川芎	72	31	主成分分析	55
8	抗氧化	130	20	研究进展	71	32	质量标准	53
9	抑菌活性	115	21	质量控制	69	33	提取	53
10	质量标志物	111	22	成分分析	69	34	苍术	51
11	正交试验	105	23	网络药理学	67	35	质量评价	50
12	提取工艺	105	24	β-环糊精	64	36	临床应用	50

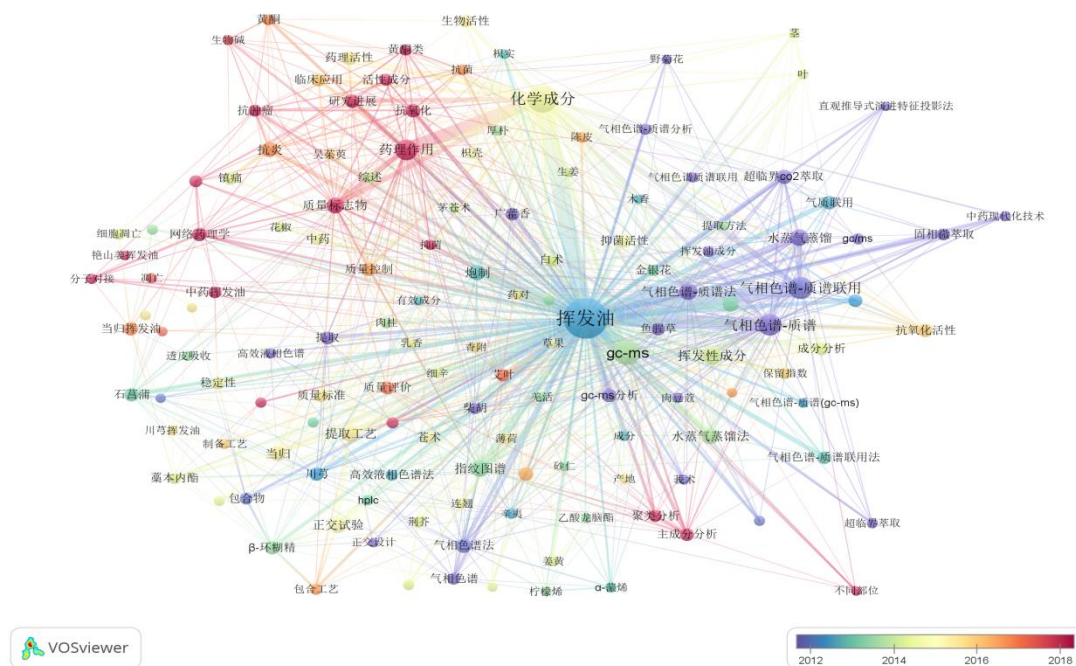


图 8 中文文献关键词共现网络
Fig. 8 Cooccurrence network of keywords in Chinese literature

系，对中药挥发油的质量进行全面把控；（4）药理活性与应用：研究中药挥发油抗氧化、抑菌、抗炎等药理活性及作用机制与效果。色带分析显示，当前中药挥发油研究主要集中于药理与质量控制。在药理方面，采用网络药理学、分子对接等方法，深入探究其抗氧化、抗炎、抗肿瘤、镇痛、抑菌等多方面的药理作用及其机制。在质量领域，则着重关注质量控制以及质量标志物的研究，致力于提高中药挥发油的整体质量水平。

英文文献关键词出现频次超 50 的有 12 个（表

4），关键词共现图谱见图 9。出现频次排名前 4 的依次为 essential oil(s) (359 次)、phytochemistry (112 次)、antioxidant (108 次)、constituents (97 次)。分析表明，研究内容涵盖 4 个方面：（1）成分与植物化学：专注于其化学成分、成分鉴定及组成研究，借助 GC-MS 等先进技术解析化学构成，同时深入探讨提取工艺；（2）药理活性与机制：开展抗氧化、抗菌、抗炎等活性研究，探究其在氧化应激、细胞凋亡、炎症等过程中的作用机制，通过体外实验解析对细胞信号通路和基因表达的调控作用；（3）质

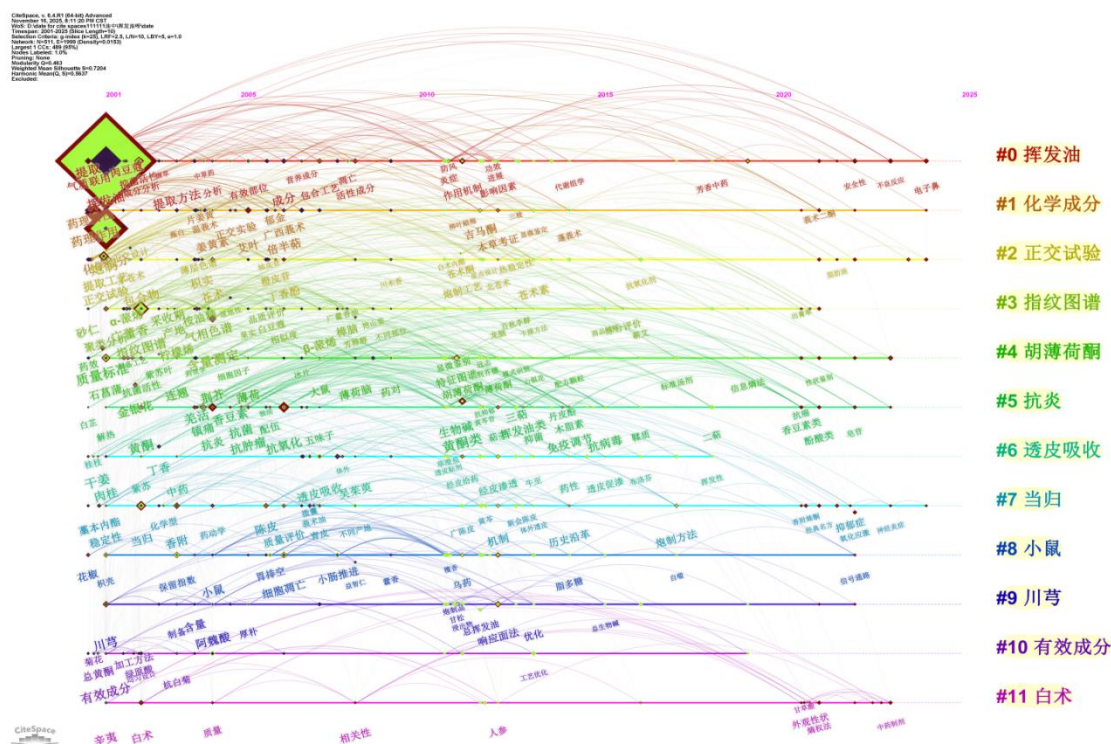


图 10 中文文献关键词聚类时间线图

Fig. 10 Keywords clustering timeline map of Chinese literature

表 5 中文文献关键词聚类信息

Table 5 Keyword clustering information of Chinese literature

聚类序号	S 值	聚类名称	聚类包含关键词
#0	0.657	挥发油	挥发油、气质联用、抑菌活性、成分分析提取、
#1	0.788	化学成分	化学成分、药理作用、药理活性、挥发油、研究进展
#2	0.678	正交试验	正交试验、提取工艺、炮制、苍术、药理作用
#3	0.760	指纹图谱	指纹图谱、含量测定、气相色谱、气相色谱法、 β -萘烯
#4	0.729	胡薄荷酮	胡薄荷酮、质量标准、石菖蒲、荆芥、薄荷
#5	0.767	抗炎	抗炎、镇痛、抗肿瘤、抗氧化、黄酮类
#6	0.733	透皮吸收	透皮吸收、肉桂、经皮渗透、促渗剂、干姜
#7	0.717	当归	当归、藁本内酯、陈皮、稳定性、质量评价
#8	0.890	小鼠	小鼠、胃排空、细胞凋亡、小肠推进、自噬
#9	0.897	川芎	川芎、阿魏酸、响应面法、浸出物、制备
#10	0.630	有效成分	有效成分、均匀设计、绿原酸、菊花、总黄酮
#11	0.654	白术	白术、相关性、辛夷、人参、外观性状

($Q>0.3$), S 为 0.766 9 (>0.7), 这表明该聚类结果合理且显著。聚类#0 essential oil 和#1 gas chromatography-mass spectrometry 专注于中药挥发油化学成分的分析。聚类#2 cardiovascular diseases、#4 NF- κ B、#5 network pharmacology、#6 phytochemistry、#7 neuroinflammation、#10 inhalation 等则聚焦于抗氧化、镇静催眠等药理作用及其作用机制与临床转化应用的研究。聚类#3 quality control

着重于中药挥发油的精准质量控制。聚类#8 pressurized hot water extraction 围绕新型绿色提取技术展开聚类。聚类#9 synergism 则关注挥发油活性成分间的协同作用。#2 cardiovascular diseases、#5 network pharmacology、#7 neuroinflammation、#9 synergism、#10 inhalation 持续至今, 显示出中药挥发油提取方法的优化创新、药理作用及机制的深入挖掘是当前及未来的研究热点。

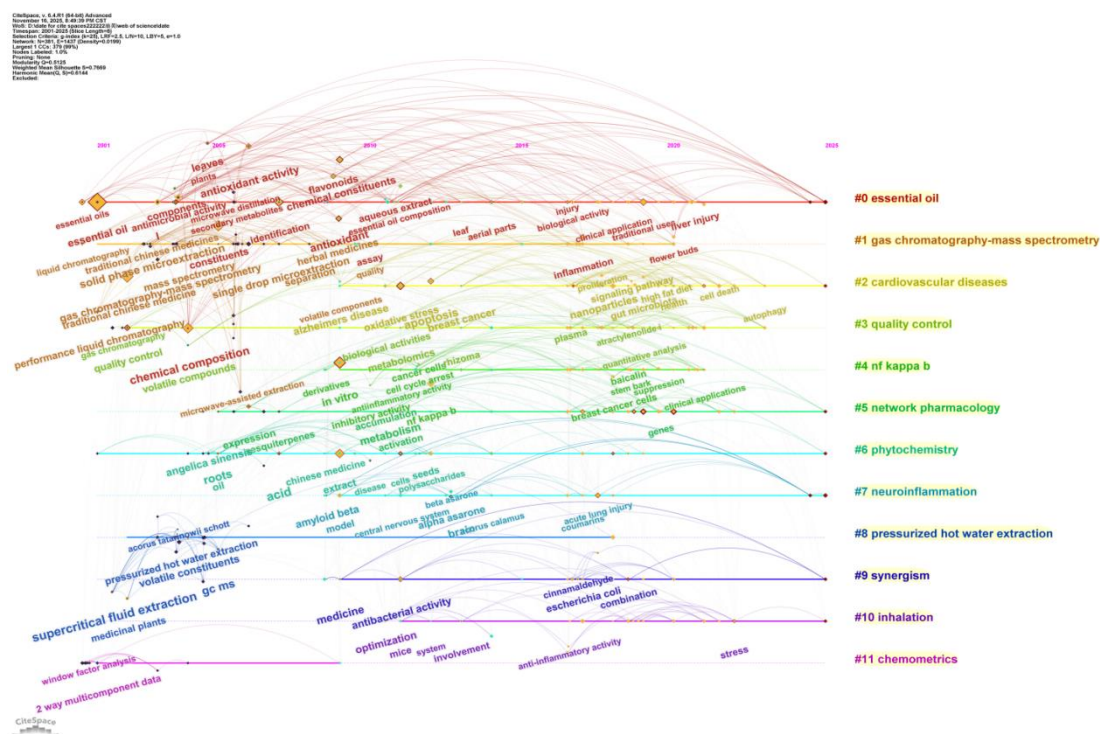


图 11 英文文献关键词聚类时间线图

Fig. 11 Keywords clustering timeline map of English literature

表 6 英文文献关键词聚类信息

Table 6 Keywords clustering information of English literature

聚类序号	S 值	聚类名称	聚类包含关键词
#0	0.734	essential oil	essential oil、chemical composition、artemisia annua、antioxidant activity、biological activity
#1	0.753	gas chromatography-mass spectrometry	gas chromatography-mass spectrometry、traditional Chinese medicines、headspace solid-phase microextraction、microwave-assisted extraction
#2	0.647	cardiovascular diseases	cardiovascular diseases、salvia miltiorrhiza bunge、pharmacokinetic、liposomes
#3	0.775	quality control	quality control、volatile compounds、medicinal plant、atractylodes lancea、biological activities
#4	0.787	nf kappa b	nf kappa b、beta-elemene、curcuminoids、curcumin、terpenoids essential oil、pogostemon cablin、natural product
#5	0.814	network pharmacology	network pharmacology、molecular docking、artemisia argyi、transcriptional regulation
#6	0.938	phytochemistry	phytochemistry、pharmacology、clinical applications、scutellaria baicalensis Georgi、polysaccharides
#7	0.880	neuroinflammation	neuroinflammation、anticonvulsant activity、essential oil of Acori Tatarinowii Rhizoma、olfactory disorders、olfactory inflammation
#8	0.773	pressurized hot water extraction	pressurized hot water extraction、extraction method、medicinal plants、traditional medicine、fructus amomi
#9	0.967	synergism	Synergism、litsea、ginger rhizome、magnolia bark、acorus tatarinowii volatile oil
#10	0.740	inhalation	inhalation、sedative and hypnotic effects、perilla frutescens
#11	0.693	chemometrics	chemometrics、cinnamyl acetate、evolving window orthogonal projection、gas chromatography-mass spectrometry、notoptergium incium

2.5.3 关键词突现分析 关键词突现指短时间内特定关键词出现频次显著增长,该现象能表征此时间段受关注的研究内容,据此可判断研究领域热点及趋势转向^[15]。中文文献的 25 个突现关键词图谱见图 12-A,突现性最高的关键词是“药理作用”,突现值为 37.34,其次是作用机制(突现值 13.92)和聚类分析(突现值 10.66),生物碱的研究持续时间长,在 2016 年至 2025 年期间占主导地位。中文突现关键词总结分析显示,自 2001 年至今,中药挥发油研究的发展历程可分为 2 个阶段,研究重心逐渐由技术应用转向机制探究,且从单一领域延伸至多元领域。(1)早期阶段(2001—2015 年):经典技术的应用和多领域的初步探索,主要聚焦于 2 方面:①检测技术奠基:通过 GC-MS 等手段,对中药挥发油的物质基础进行分析,实现成分的分离与测定;②工艺与质量控制:围绕“包合工艺”等关键技术,进行制剂工艺的优化及质量标准的构建。(2)近期阶段(2016—2025 年):专注于实验方法的优化,以及对药理学作用及其机制的深入研究,包括 2 个方面:①实验方法创新融合:以“正交实验”“响应面法”“分子对接”等技术为支撑,优化实验设计;②药理作用与机制探究:围绕“作用机制”“药理作用”“抗氧化”“抗肿瘤”等关键点,深度挖掘中药挥发油的作用及其机制,为临床应用奠定基础。中药挥发油的实验方法与技术持续优化,研究从宽泛的物质分析逐步深入至药理作

用及机制研究,呈现出“机制深化+领域拓展+方法创新”的研究方向。近年来,生物碱、聚类分析、作用机制、药理作用以及质量控制等领域的研究持续至今,预计这些领域将成为未来的研究热点。

英文文献的 25 个突现关键词图谱见图 12-B,突现性最高的关键词是 gas chromatography-mass spectrometry,突现值 8.60,其次是 traditional uses(突现值 6.52)和 rapid determination(突现值 5.70),gas chromatography 的研究持续时间长,在 2002 年至 2017 年期间占据主导地位。从 2001 年至今,研究大概分 2 阶段。(1)早期阶段(2001—2010 年):①中药/天然产物成分探究,traditional Chinese medicines、volatile constituents、volatile compounds 是核心研究对象,聚焦成分鉴定;②早期核心技术,以 gas chromatography、gas chromatography-mass spectrometry、supercritical fluid extraction、solid-phase microextraction 的关键词强度高、持续时间长,表明早期聚焦分离分析技术在中药挥发油领域的运用。2012—2015 年为前后 2 个阶段的平缓过渡期,因该时期无明显突现的关键词,故未展开论述。此阶段色谱、萃取类经典分离技术仍有热度,生物合成相关关键词首次出现。(2)近期阶段(2016—2025 年):①成熟技术的衰退与迭代:传统技术逐渐延伸出细分方向,且分子生物学与组学技术开始渗透;②从成分分析转向机制研究、功能探索及应用拓展,研究焦点逐渐集中于抗菌活性、网络药理

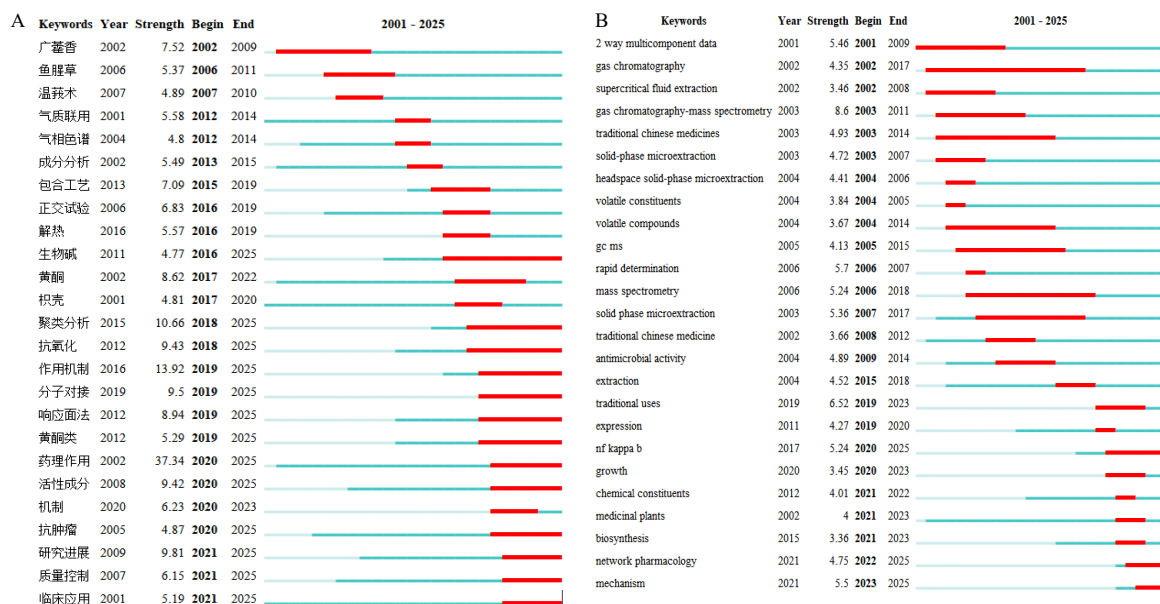


图 12 中文 (A)、英文 (B) 文献关键词突现图谱

Fig. 12 Keywords emergence map of Chinese (A) and English (B) literature

学及作用机制,彰显了由“成分表征”向“药效验证与作用机制解析”的应用导向性转变,显示中药挥发油从实验室研究到临床应用的转化过程。英文研究早期以分离、分析技术和中药成分研究为核心,近年来逐渐拓展至分子机制、网络药理学等领域,并持续至今,预计这些方向将成为未来的主要研究方向。

3 讨论

3.1 研究领域现状

本研究采用文献计量学方法,借助 CiteSpace、VOSviewer 等专业化软件工具,深入探究中药挥发油研究的演变历程及当前发展态势,并对未来研究热点趋势进行前瞻性展望。该领域中文文献的发文量整体呈现出先增后减的趋势,而英文文献则始终保持上升趋势。以中国为首的 52 个国家共同参与该领域的研究,构建了合作共赢的多维度合作格局。国内医药类高等院校、科研院所及重点实验室作为主要研究机构,彼此间已建立稳固的合作关系,并形成了结构稳固、协作紧密的核心研究团队,成为推动中药挥发油研究百花齐放的中流砥柱。

3.2 研究热点基趋势

3.2.1 挥发油提取技术的多维度优化与绿色革新传统的挥发油提取技术存在能耗高、提取时间长、效率低下以及后处理过程复杂等问题^[16]。挥发油新型提取技术的研发刻不容缓,诸如亚临界流体萃取、微波辅助提取(MAE)、酶法辅助提取(EAE)、减压或无溶剂微波提取(SFME)、失沸精馏提取(ADE)等技术在近年来已受到深入探讨与研究。孟利娜^[17]等用 EAE 提取北苍术挥发油,可使挥发油产率提高 20.82%,酶解后苍术酮和 β -桉叶醇的相对含量分别提高 32.79% 和 34.61%。MAE 被认为是一种相较于其他萃取方法具有有效降低成本、缩短萃取时间、减少能耗以及降低二氧化碳排放等众多优势的技术^[18], Xu 等^[19]通过将天然深晶溶剂与微波辅助加氢蒸馏技术结合提取姜黄精油,在该最优条件下姜黄精油的最高得率可达 0.85%。Boukhatem 等^[20]发现传统提取柠檬草精油方法需大量溶剂,过程危险且不环保,故对 MAE 与 SD 提取柠檬草精油进行对比研究,发现 MAE 提取 15min 精油得率达 0.6%,与 SD 提取 120 min 的得率相当。Mohanty^[21]等采用传统水蒸馏和 SFME 2 种方法,对泽泻叶姜黄、芳香姜黄和黄根姜黄的根茎进行精油提取,结果表明 SFME 效率在多方面均优于 SD,具体表现为节省能

源消耗,提取时间更短,精油得率更高,水资源用量更少,产生的废弃物数量更少。

3.2.2 新型递药系统构建与挥发油稳定化技术的协同创新挥发油化学性质高度不稳定,易受光照、温度、氧气等的影响,发生氧化、变质或挥发等,严重影响制剂品质与临床疗效^[22],挥发油稳定化技术的积极创新成为该领域的研究焦点。张潇文等^[23]研究表明环糊精包合技术、乳化技术、微囊包封技术、多孔吸附技术、脂质体技术等可提高挥发油的稳定性。吴广通等^[24]系统梳理挥发油主要采用的包合物及微载体技术以改善其稳定性,研究手段涉及环糊精包合物、微囊、微乳、脂质体及纳米粒等给药系统等。王晓禹等^[25]综述滴丸、软胶囊、微乳、凝胶膏剂、微囊、微球、脂质体、聚合物胶束等是挥发油的新型制剂,可实现鼻腔给药、经皮给药、结肠定位给药等多种给药方式,从而达到提高挥发油稳定性和生物利用度。近年来,新型递药系统受到广泛关注,de Assis 等^[26]发现微封装与纳米封装系统已被证实比茶树精油本身更耐热,且具有更优异的抗菌、抗真菌、抗寄生虫及杀幼虫效果,纳米封装技术还能降低精油的毒性,因此在制药行业展现出良好前景。胡恢权等^[27]发现,根据“药辅合一”理念设计药物输送系统可减少制剂辅料的使用,降低制剂成本,同时具有协同增效、靶向递送、多组分同步递送、降低药物毒性、增加药物溶解性和生物相容性等优势。

3.2.3 精准质控与质量标志物预测挥发油质量稳定是保证临床疗效及安全性的前提。因中药成分复杂、有效成分多、含量差异大,且挥发油前处理、提取工艺、设备无统一标准,导致其质量难控,同种药材不同产地、厂家、批次存在质量差异^[28]。柳小莉等^[29]采用 GC-MS 检测当归挥发油化学成分,网络药理学构建成分-靶点网络、蛋白质-蛋白质相互作用网络、成分-靶点-通路网络、靶点-组织分布网络预测当归挥发油质量标志物为藁本内酯和丁烯基酞内酯。Wang 等^[30]通过多种技术分析大量薰衣草精油样品,提出“Q-指数”新方法并研究鉴定出 14 种标志性化合物,结果表明纯正薰衣草精油 Q-指数值较(>100),掺假或劣质样品则较低(<100)。李欠等^[31]通过低共熔溶剂辅助微波水蒸气蒸馏法提取独活挥发油,采用 GC-MS 对其挥发油的化学成分进行分析,并通过网络药理学和分子对接分析预测独活挥发油的质量标志物可能是红没药醇和

α -蛇床烯。朱丽云等^[32]对共有成分进行网络药理学分析确定陈皮挥发油的质量标志物为 *D*-柠檬烯和 γ -萜品烯。

3.2.4 药理作用多向延伸

(1) 抗肿瘤的分子靶点与通路网络：恶性肿瘤发病率逐年上升，威胁人类健康。化疗是核心治疗手段之一，但杀灭肿瘤细胞时也常损伤正常细胞。现有研究显示，挥发油安全性高且有抗肿瘤作用。挥发油抗肿瘤机制主要包括诱导肿瘤细胞凋亡，抑制肿瘤血管形成，抑制肿瘤细胞增殖，诱导肿瘤细胞分化，干扰多药耐药性，调节机体免疫功能等^[33]。杨超等^[34]研究发现蒲公英挥发油对 MCF-7 乳腺癌细胞有显著抑制作用，体内能够显著缩小肿瘤体积，肿瘤细胞排列较为稀疏且数量明显减少，凋亡作用显著增强。广藿香挥发油中的活性成分常通过外源性及内源性凋亡途径抑制肿瘤增殖。在外源性途径中，其激活 Caspase-8 通路；在内源性途径中，则调控 B 细胞淋巴瘤-2 家族蛋白而增加线粒体膜通透性，释放细胞色素 C，诱发 Caspase 级联反应，最终促进细胞凋亡^[35-37]。肉桂挥发油可调控 MDA-MB-231 细胞增殖、迁移、侵袭、凋亡、等恶性生物学进程显著抑制乳腺癌细胞增殖^[38]。生姜挥发油可体外抑制环境雌激素双酚 A 诱导的 MCF-7 乳腺癌细胞生长增殖，体内抑制雌激素干预下的乳腺肿瘤的增长^[39]发挥抗肿瘤作用。

(2) 抗氧化应激的时序性调控：“抗氧化”本质是通过抑制体内“自由基”的过度活跃，减少其对细胞的损伤，从而维持身体正常生理功能，化学抗氧化剂的广泛使用会危害人体健康。研究发现，芳香植物的挥发油作为良好的天然活性物质，具有良好的抗氧化活性和抑菌活性^[40]。肉豆蔻挥发油能显著提高细胞内谷胱甘肽的含量和超氧化物歧化酶活性，降低丙二醛含量，从而清除细胞内有害自由基，发挥细胞抗氧化能力^[41]。蔓荆子挥发油可通过清除自由基，有效保护细胞，延缓机体衰老进程^[42]。连翘种子挥发油对有机自由基和超氧阴离子自由基的清除率高于 90%，具有作为天然抗氧化剂的潜质^[43]。

(3) 神经保护与调节改善：现代药理学研究表明，挥发油因其脂溶性较强、易于穿透血脑屏障，在神经系统疾病的干预和神经保护调节方面具有较高的药用价值。该类物质可通过抗氧化应激、抑制神经细胞凋亡、调节神经递质平衡以及促进神经

发生等多种途径，对癫痫、阿尔茨海默病、帕金森病等疾病发挥显著的干预作用。石菖蒲挥发油主要成分 β -细辛醚可能通过上调或下调 α -烯醇化酶、钙/钙调蛋白依赖蛋白激酶、尿激酶型纤溶酶原激活物和 P53 抑癌基因等蛋白质的表达量，参与促进大鼠海马受损神经元保护作用^[44]。积雪草挥发油具有较强的抗氧化和乙酰胆碱酯酶抑制活性，对 SH-SY5Y 细胞有明显的促生长作用，对 β -淀粉样蛋白和 1-甲基-4-苯基-吡啶离子诱导的 SH-SY5Y 神经细胞损伤有显著的改善作用^[45]。苍艾挥发油能改善高原环境下大鼠脑海马 CA3 区的神经元损伤，促进保护海马神经元纤维完整性并改善神经细胞形态，通过调节炎症因子的平衡来抑制炎症反应，减轻神经损伤，促进神经恢复^[46]。

(4) 抗炎效应的动态调节机制：挥发油可通过抑制炎症介质（如组胺、前列腺素等）释放、抑制酶活性，调节炎症相关信号通路，减轻炎症。玫瑰挥发油活性成分香叶醇，可通过抑制细胞间黏附分子-1、白细胞介素-1 β 、核因子 κ B 水平及髓过氧化物酶、糖原合成酶激酶-3 β 活性发挥抗炎、抗绞痛作用；还能降低前列腺素 E2 水平减轻结肠水肿、充血及溃疡程度；提升过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 表达并增加其蛋白含量，进而缓解结肠炎症^[47]。牛至精油的抗炎活性主要通过抑制核因子- κ B 的转录活性和抑制花生四烯酸代谢级联反应两种途径实现^[48]。丁香精油对耐药性幽门螺杆菌菌株具有抗菌作用，还具备抗生物膜与抗炎活性，有望成为临床治疗中一种极具潜力的天然替代方案^[49]。体外实验显示 150 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ 的豆蔻精油有显著抗弓形虫活性，经其处理后感染小鼠第 9 天的死亡率和寄生虫载量显著下降，且该精油能有效恢复肝脏氧化酶与抗氧化酶水平，显著提升细胞因子表达量^[50]。

(5) 抗菌效应的系统重构：抗菌研究是当前生命科学与医学领域的核心难题和热点，众多科研团队挖掘天然产物中抗菌活性成分，以寻找更安全有效的抗菌方案。从植物挥发油中筛选抗菌活性物质是重要研究方向，其成分来源广泛、抗菌机制独特。当前抗菌挥发油可破坏细胞质膜结构、增强膜通透性、破坏膜蛋白、抑制 ATP 合成以及影响脂质层稳定、溶解胞体中的脂肪体、影响菌体的群体感应活性等机制达到抗菌作用^[51]。Warnke 等^[52]发现癌症患者的恶臭性坏死性溃疡会致社交隔离、降低生活质量，且现有的药物与局部疗法降低恶臭效果欠

佳,故对晚期头颈部癌症合并恶臭性坏死性溃疡患者先接受标准疗程的口服或全身抗生素治疗,再每日 2 次用含桉树油的抗菌精油混合物冲洗溃疡部位,治疗第 3 天或第 4 天,恶臭完全消失。

(6) 透皮促渗构建与治疗潜力:皮肤的屏障作用,尤其是皮肤最表面的角质层屏障,是中药在经皮外用过程中透皮吸收的主要障碍。目前,最常用的解决办法是添加透皮吸收促进剂^[53-54]。挥发油普遍具有良好的透皮促渗作用,且自身药理活性显著,往往兼具治疗和促渗双重功效^[55]。顾琦等^[56]通过网络药理学分析发现,辛热中药挥发油中倍半萜类成分质量分数高于辛温中药挥发油,且外用时更易滞留在皮内,是决定其透皮促渗能力的关键成分,且辛热中药挥发油作用于前列腺素内过氧化物合酶 1、前列腺素内过氧化物合酶 2 和白细胞介素-6 靶点发挥抗炎作用。只有相对分子量、熔点以及油水分配系数适宜的药物才能透过皮肤屏障,黄森兰等^[57]考察后发现高良姜油、干姜油、薄荷油、胡椒油均具有一定透皮促渗作用,其中以高良姜油促渗效果最好。挥发油对药物促透作用强、对皮肤刺激小、不良反应小,具有“药辅合一”功效,如梁丽萍^[58]研究表明桂枝挥发油对双氯芬酸钠的经皮吸收和体外透皮均有促进作用,且部分中药挥发油联合使用促渗透效果更佳。

3.2.5 多组学技术驱动的生物合成机制深度解析未来研究将不再局限于挥发油的化学成分鉴定,而是会更多地整合转录组学、代谢组学等多种技术,深入挖掘其生物合成途径中的关键酶基因与调控因子。宁艳梅等^[59]发现苍术-白芷挥发油经鼻黏膜“免疫-代谢”交互作用,增强黏膜对病原体的中和能力(“正气”)、阻断病毒入侵通路(“除邪”),从分子层面诠释香囊“芳香辟秽”作用“香-气-正”内涵的现代转化。彭媛媛等^[60]采用整合微生物代谢组学、网络分析和分子对接方法发现薄荷挥发油对金黄色葡萄球菌细胞形态和完整性有显著影响,在 $0.1 \times \text{MIC}$ MEO 暴露下,金黄色葡萄球菌细胞中多个代谢物发生显著变化,主要涉及肌醇磷酸代谢、能量代谢(三羧酸循环、丙酮酸代谢)、氨基酸代谢和氧化应激损伤。芦殿香等^[61]从网络药理学和转录组学角度初步阐明了肉豆蔻挥发油能够通过干预细胞周期信号通路,进而干预低氧性肺动脉高压的发生。

3.2.6 食品、农业绿色升级的跨界运用 化学防腐

剂可消除或减少微生物的影响,但其对食品或环境均有不利影响,故绿色、天然抑菌剂尤其是植物精油受到广泛关注。Cao 等^[62]综述了精油在果实贮藏保鲜中的研究进展,发现精油作为一类天然抑菌物质,已被证实具有较强的抗菌活性,且毒性低、环境友好,还能诱导果实产生对微生物的抗性,可作为化学杀菌剂的替代品之一。袁康等^[63]发现紫苏精油对橘灰青霉和尖孢镰刀菌的主要作用机制在于改变其细胞膜结构,增加细胞膜的通透性,降低 ATP 酶活性,并破坏菌体表面结构,导致内含物流出,最终实现杀菌效果,从而有效保护稻谷在储运过程中免受微生物侵染,减少霉变的发生。

Tang 等^[64]以玉米醇溶蛋白和酪蛋白酸钠为载体制备的可包埋生姜精油的高效抗菌纳米乳剂可通过破坏细胞膜,对金黄色葡萄球菌和铜绿假单胞菌两种常见食源致病菌起到灭活作用。

随着化学农药在农业生产中的广泛应用,其导致的生态环境保护压力和病虫害抗药性问题日益严重,植物源农药的研发已成为新型农药开发领域的核心方向。李甜甜等^[65]发现小茴香挥发油能促进拟南芥的生长发育,对地下部根的促进作用较强,能够显著促进主根与侧根的发育。王波等^[66]研究发现黑胡椒精油对梨黑斑病菌、西瓜枯萎病菌、小麦赤霉病菌、辣椒枯萎病菌以及番茄灰霉病菌均有一定的抑制作用。赵娜娜等^[67]研究发现青花椒、肉桂、八角等 7 种植物精油对尖孢镰刀菌具有较强的抑菌活性。

4 结论

中药挥发油领域的研究呈现出“持续进步、多点突破”的特征,整体研究体系日臻完善,不断取得新突破并持续精进。以中国为核心的研究群体引领全球协同发展,构建了全球研究协作网络,带动了印度、日本、韩国等区域研究力量的成长,共同为该领域的发展注入持续动能。中药挥发油在医药研发、健康产业等领域的应用潜力不断释放,展现出广阔的发展前景。从当前研究趋势来看,未来重点将集中在提取工艺的绿色革新、稳定性的提升及新制剂的研发、成分精准鉴定与质量控制体系完善、多重药理作用的探索与机制解析、新应用领域的拓展等方面,将共同推动中药挥发油研究领域的持续发展。为打破单一领域研究的壁垒,充分激发中药挥发油的应用潜力,需加强搭建“跨地域协同、跨学科整合、跨机构联动”的创新合作机制,推动其从“理论研究层面”向“实际应用场景”快速转化。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 吴梦琪, 徐焕华, 胡鹏翼, 等. 中药挥发油安全性研究进展 [J]. 中草药, 2022, 53(20): 6626-6635.
Wu M Q, Xu H H, Hu P Y, et al. Research progress on safety of essential oils from traditional Chinese medicine [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2022, 53(20): 6626-6635.
- [2] 郭园园, 李慧婷, 杨明, 等. 中药挥发油分离纯化技术的研究进展 [J]. 中草药, 2025, 56(14): 5311-5323.
Guo Y Y, Li H T, Yang M, et al. Research progress on separation and purification technologies of essential oils in traditional Chinese medicine [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2025, 56(14): 5311-5323.
- [3] 吴意, 万娜, 刘阳, 等. 中药挥发油稳定性影响因素、变化机制及保护策略 [J]. 中草药, 2022, 53(21): 6900-6908.
Wu Y, Wan N, Liu Y, et al. Influencing factors, changing mechanisms and protection strategies of volatile oil from traditional Chinese medicine [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2022, 53(21): 6900-6908.
- [4] 王佳华, 汪莲芳, 柯刚, 等. 中药挥发油治疗脑胶质瘤的作用机制及其纳米制剂的研究进展 [J]. 药学报, 2025, 60(4): 929-938.
Wang J H, Wang L F, Ke G, et al. Researches on the anti-glioma mechanism of volatile oil from traditional Chinese medicines and nano-preparation applications [J]. Acta Pharm Sin, 2025, 60(4): 929-938.
- [5] 刘富梅, 郑昊卓, 侯景, 等. 植物源中药挥发油的提取和药理活性研究进展 [J]. 江西化工, 2025, 41(4): 10-15.
Liu F M, Zheng H Z, Hou J, et al. Research progress in the extraction and pharmacological activity of volatile oils from plant-derived traditional Chinese medicines [J]. Jiangxi Chem Ind, 2025, 41(4): 10-15.
- [6] 刘文君, 冷佳蕾, 王智权, 等. 中药挥发油的稳定化技术研究现状 [J/OL]. 中华中医药学刊, 1-14 [2025-12-01]. <https://link.cnki.net/urlid/21.1546.R.20250912.1305.026>.
Liu W J, Leng J L, Wang Z Q, et al. Stabilization technology research status of volatile oils in traditional Chinese medicine [J/OL]. Chin Arch of Tradit Chin Med, 1-14 [2025-12-01]. <https://link.cnki.net/urlid/21.1546.R.20250912.1305.026>.
- [7] 刘傲蕾, 杨艳芳, 孙赛宇, 等. 抗幽门螺杆菌活性挥发油的筛选、药效物质分析及其作用机制预测 [J]. 药物评价研究, 2024, 47(6): 1199-1216.
Liu A L, Yang Y F, Sun S Y, et al. Screening of anti-*Helicobacter pylori* active volatile oils, analysis of pharmacodynamic substances and prediction of their mechanism of action [J]. Drug Eval Res, 2024, 47(6): 1199-1216.
- [8] 梅佳华, 王勇森, 查学志, 等. 基于文献计量学的小檗碱研究动态及焦点可视化分析 [J]. 中草药, 2025, 56(17): 6317-6333.
Mei J H, Wang Y S, Zha X Z, et al. Visualization analysis of research dynamics and focus of berberine based on bibliometrics [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2025, 56(17): 6317-6333.
- [9] 卿莹, 林薇, 陈元惠, 等. 基于文献计量学和全球专利的莪术研究进展可视化分析 [J]. 中草药, 2025, 56(8): 2869-2884.
Qing Y, Lin W, Chen Y H, et al. Visual analysis of research progress on *Curcumae Rhizoma* based on bibliometrics and global patents [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2025, 56(8): 2869-2884.
- [10] 郭旭东, 晏伟, 席少阳, 等. 21 世纪全球视域下的黄芩科研知识图谱构建及可视化分析 [J]. 中草药, 2023, 54(16): 5296-5311.
Guo X D, Yan W, Xi S Y, et al. Construction and visual analysis of scientific knowledge map of *Scutellaria baicalensis* from global perspective in 21st century [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2023, 54(16): 5296-5311.
- [11] 王悦宸, 侯亚威, 王振国. 基于文献计量学的丹参研究现状与热点分析 [J]. 中草药, 2025, 56(4): 1318-1337.
Wang Y C, Hou Y W, Wang Z G. Research status and hotspot analysis of *Salviae Miltiorrhizae Radix et Rhizoma* based on bibliometric [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2025, 56(4): 1318-1337.
- [12] 郭齐, 孙明瑜, 田昕, 等. 基于文献计量学的丹皮酚研究领域全景分析 [J]. 中国中医基础医学杂志, 2016, 22(5): 687-689.
Guo Q, Sun M Y, Tian X, et al. Panoramic analysis of paeonol research based on bibliometrics [J]. Chin J Basic Med Tradit Chin Med, 2016, 22(5): 687-689.
- [13] 赵清玉, 何莲花, 严倩倩, 等. 类风湿关节炎相关间质性肺病药物治疗现状和研究热点的可视化分析 [J]. 中草药, 2025, 56(10): 3626-3636.
Zhao Q Y, He L H, Yan Q Q, et al. Visual analysis of treatment status and research hotspots concerning medications treatment for rheumatoid arthritis-associated interstitial lung disease [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2025, 56(10): 3626-3636.
- [14] 张会择, 赖宇. 基于 CiteSpace 的医学免疫学实验教学研究现状、热点及发展趋势的可视化分析 [J]. 中国免疫学杂志, 2024, 40(6): 1271-1275, 1282.

- Zhang H Z, Lai Y. A CiteSpace-based visual analysis on research progress, focuses and trends of medical immunology experimental teaching [J]. Chin J Immunol, 2024, 40(6): 1271-1275, 1282.
- [15] 张雪岩, 李娜, 张国琴, 等. 基于 CiteSpace 知识图谱的中药旋覆花研究现状的可视化分析 [J]. 中国现代应用药学, 2024, 41(15): 2136-2146.
- Zhang X Y, Li N, Zhang G Q, et al. Visual analysis of the research status of traditional Chinese medicine in *ula Japonica* based on CiteSpace knowledge map [J]. Chin J Mod Appl Pharm, 2024, 41(15): 2136-2146.
- [16] 邹小兵, 陶进转, 夏之宁, 等. 微波辅助提取挥发油的研究进展 [J]. 中成药, 2010, 32(6): 1014-1020.
- Zou X B, Tao J Z, Xia Z N, et al. Research progress of microwave-assisted extraction of volatile oil [J]. Chin Tradit Pat Med, 2010, 32(6): 1014-1020.
- [17] 孟利娜, 于敬, 许静, 等. 酶法辅助提取北苍术挥发油的工艺及成分分析 [J]. 中成药, 2013, 35(4): 844-847.
- Meng L N, Yu J, Xu J, et al. Optimization of enzymatic-assisted extraction and chemical composition analysis of volatile oil from *Atractylodes chinensis* [J]. Chin Tradit Pat Med, 2013, 35(4): 844-847.
- [18] Cardoso-Ugarte G A, Juárez-Becerra G P, SosaMorales M E, et al. Microwave-assisted extraction of essential oils from herbs [J]. J Microw Power Electromagn Energy, 2013, 47(1): 63-72.
- [19] Xu F X, Zhang J Y, Jin J, et al. Microwave-assisted natural deep eutectic solvents pretreatment followed by hydrodistillation coupled with GC-MS for analysis of essential oil from turmeric (*Curcuma longa* L.) [J]. J Oleo Sci, 2021, 70(10): 1481-1494.
- [20] Boukhatem M N, Ferhat M A, Rajabi M, et al. Solvent-free microwave extraction: An eco-friendly and rapid process for green isolation of essential oil from lemongrass [J]. Nat Prod Res, 2022, 36(2): 664-667.
- [21] Mohanty S, Ray A, Naik P K, et al. Variation in yield, chemical composition and biological activities of essential oil of three *Curcuma* species: A comparative evaluation of hydrodistillation and solvent-free microwave extraction methods [J]. Molecules, 2023, 28(11): 4434.
- [22] 管祺临, 明良山, 钟志坚, 等. 中药挥发油稳定化机制研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2026, 51(2): 400-412.
- Guan Q L, Ming L S, Zhong Z J, et al. Research progress on stabilization mechanism of TCM volatile oil [J]. China J Chin Mater Med, 2026, 51(2): 400-412.
- [23] 张潇文, 黄俊峰, 谢子鸿, 等. 中药挥发油稳定化技术及其制剂应用研究进展 [J]. 中草药, 2025, 56(14): 5258-5266.
- Zhang X W, Huang J F, Xie Z H, et al. Research progress on stabilization techniques of volatile oils from traditional Chinese medicine and their preparations application [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2025, 56(14): 5258-5266.
- [24] 吴广通, 张夏华, 李凤前. 改善中药挥发油稳定性的制剂学研究进展 [J]. 药学服务与研究, 2008, 8(3): 197-200.
- Wu G T, Zhang X H, Li F Q. Advances in pharmaceutical studies on improvement of stability of volatile oils of Chinese materia medica [J]. Pharm Care Res, 2008, 8(3): 197-200.
- [25] 王晓禹, 吴国泰, 杜丽东, 等. 中药挥发油新型制剂及其质量控制的研究现状 [J]. 中国药房, 2021, 32(20): 2551-2555.
- Wang X Y, Wu G T, Du L D, et al. Research status of new preparations of volatile oil from traditional Chinese medicine and its quality control [J]. China Pharm, 2021, 32(20): 2551-2555.
- [26] de Assis K M A, de A Rêgo R I, de Melo D F, et al. Therapeutic potential of *Melaleuca alternifolia* essential oil in new drug delivery systems [J]. Curr Pharm Des, 2020, 26(33): 4048-4055.
- [27] 胡恢权, 程国旺, 吴一峰, 等. “药辅合一”理念在中药制剂递药系统设计中的应用研究 [J]. 中国中药杂志, 2023, 48(7): 1800-1807.
- Hu H Q, Cheng G W, Wu Y F, et al. Conversion of traditional Chinese medicine (TCM) into nanomedicine: Application of theory of unification of medicines and excipients [J]. China J Chin Mater Med, 2023, 48(7): 1800-1807.
- [28] 刘媛, 臧振中, 伍振峰, 等. 中药挥发油质量控制的现状、问题与对策 [J]. 中草药, 2018, 49(24): 5946-5951.
- Liu Y, Zang Z Z, Wu Z F, et al. Current status, problems and countermeasures of quality control of volatile oils from Chinese materia medica [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2018, 49(24): 5946-5951.
- [29] 柳小莉, 黄小英, 张小飞, 等. 基于 GC-MS 成分分析结合网络药理学预测当归挥发油质量标志物(Q-Marker) [J]. 中草药, 2021, 52(9): 2696-2706.
- Liu X L, Huang X Y, Zhang X F, et al. Q-Marker prediction of volatile oil of *Angelicae Sinensis Radix* based on GC-MS analysis combined with network pharmacology [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2021, 52(9): 2696-2706.
- [30] Wang M, Zhao J P, Ali Z, et al. A novel approach for lavender essential oil authentication and quality assessment [J]. J Pharm Biomed Anal, 2021, 199: 114050.
- [31] 李欠, 尹转霖, 丁小琴, 等. 独活挥发油低共熔溶剂辅

- 助微波水蒸气蒸馏法提取及质量标志物 (Q-Marker) 研究 [J]. 中草药, 2024, 55(4): 1167-1177.
- Li Q, Yin Z L, Ding X Q, et al. Study on extraction of volatile oils from *Angelicae Pubescentis Radix* by deep eutectic solvents assisted microwave steam distillation and its quality markers [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2024, 55(4): 1167-1177.
- [32] 朱丽云, 柳小莉, 郑琴, 等. 陈皮挥发油质量标志物预测及 GC-MS 定量分析 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(24): 6403-6409.
- Zhu L Y, Liu X L, Zheng Q, et al. Prediction of Q-markers of *Citri Reticulatae Pericarpium* volatile oil and GC-MS based quantitative analysis [J]. China J Chin Mater Med, 2021, 46(24): 6403-6409.
- [33] 汪镇朝, 张海燕, 宋远斌, 等. 中药挥发油抗肿瘤作用机制及其研究进展 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2020, 26(24): 219-226.
- Wang Z C, Zhang H Y, Song Y B, et al. Anti-tumor mechanism and development of volatile oil of traditional Chinese medicine [J]. Chin J Exp Tradit Med Form, 2020, 26(24): 219-226.
- [34] 杨超, 闫庆梓, 唐洁, 等. 蒲公英挥发油成分分析及其抗炎抗肿瘤活性研究 [J]. 中华中医药杂志, 2018, 33(7): 3106-3111.
- Yang C, Yan Q Z, Tang J, et al. Study on chemical composition of volatile oil from *Taraxaci Herba* and its anti-inflammatory and anti-tumor activities [J]. China J Tradit Chin Med Pharm, 2018, 33(7): 3106-3111.
- [35] Liang C Y, Chang K F, Huang Y C, et al. Patchouli alcohol induces G₀/G₁ cell cycle arrest and apoptosis in vincristine-resistant non-small cell lung cancer through ROS-mediated DNA damage [J]. Thorac Cancer, 2023, 14(21): 2007-2017.
- [36] Homayoun M, Sajedi N, Soleimani M. In vitro evaluation of the pogostone effects on the expression of PTEN and DACT1 tumor suppressor genes, cell cycle, and apoptosis in ovarian cancer cell line [J]. Res Pharm Sci, 2022, 17(2): 164-175.
- [37] Chang K F, Lai H C, Lee S C, et al. The effects of patchouli alcohol and combination with cisplatin on proliferation, apoptosis and migration in B16F10 melanoma cells [J]. J Cell Mol Med, 2023, 27(10): 1423-1435.
- [38] 廖正根, 温佳豪, 徐希强, 等. 肉桂挥发油化学成分及其体外抗菌、抗氧化、抗肿瘤生物活性研究 [J]. 中药药理与临床, 2024, 40(1): 69-76.
- Liao Z G, Wen J H, Xu X Q, et al. Chemical constituents and *in vitro* antibacterial, antioxidant, and antitumor biological activities of essential oil from *Cinnamomum cassia* presl [J]. Pharmacol Clin Chin Mater Med, 2024, 40(1): 69-76.
- [39] 罗祺玮, 钟萍, 孟钢, 等. 生姜与干姜挥发油化学成分及药理作用研究进展 [J]. 生物化工, 2024, 10(3): 184-188.
- Luo Q W, Zhong P, Meng G, et al. Advance on chemical constituents and pharmacological effects of fresh gingers and dried gingers essential oil [J]. Biol Chem Eng, 2024, 10(3): 184-188.
- [40] 霍归国. 艾叶挥发油抗氧化活性及其抑菌机制研究 [D]. 兰州: 西北师范大学, 2022.
- Huo G G. Study on antioxidant activity and antibacterial mechanism of volatile oil from *Artemisia argyi* leaves [D]. Lanzhou: Northwest Normal University, 2022.
- [41] 马可, 南星梅, 苏姗姗, 等. 肉豆蔻挥发油对低氧诱导肺动脉平滑肌细胞增殖的抑制作用及其抗氧化活性 [J]. 中国药理学与毒理学杂志, 2018, 32(7): 535-542.
- Ma K, Nan X M, Su S S, et al. Inhibitory effect of volatile oil from *Myristica fragrans* on hypoxia induced proliferation of pulmonary artery smooth muscle cells and its antioxidant activity [J]. Chin J Pharmacol Toxicol, 2018, 32(7): 535-542.
- [42] 刘红燕. 蔓荆子挥发油体外化学模拟抗氧化活性的研究 [J]. 抗感染药学, 2014, 11(2): 119-121.
- Liu H Y. Study on antioxidative activity of essential oil from *Fructus Viticis in vitro* [J]. Anti Infect Pharm, 2014, 11(2): 119-121.
- [43] 魏希颖, 徐慧娴, 杨小军, 等. 连翘种子油 GC-MS 分析及抗氧化活性研究 [J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2010, 38(1): 70-74.
- Wei X Y, Xu H X, Yang X J, et al. Analysis of essential oil of *Forsythia suspense* (Thunb.) Vahl. by GC-MS and its antioxidant activities [J]. J Shaanxi Norm Univ Nat Sci Ed, 2010, 38(1): 70-74.
- [44] 江湧, 方永奇, 李小兵, 等. β -细辛醚对 AD 大鼠海马神经元蛋白质组图谱的影响 [J]. 现代生物医学进展, 2007, 7(9): 1300-1302.
- Jiang Y, Fang Y Q, Li X B, et al. Protective effect of β -asarone on apoptosis of rat models with Alzheimer disease induced by amyloid-beta protein intra-hippocampal injection [J]. Prog Mod Biomed, 2007, 7(9): 1300-1302.
- [45] 梁金月, 李亚娟, 刘亚月, 等. 积雪草挥发油的神经保护作用及其化学成分的研究 [J]. 华西药理学杂志, 2022, 37(1): 53-57.
- Liang J Y, Li Y J, Liu Y Y, et al. Neuroprotection related activities and chemical constituents of *Centella asiatica* essential oil [J]. West China J Pharm Sci, 2022, 37(1): 53-57.

- [46] 马露. 苍艾挥发油对高原低压低氧自然环境下大鼠脑海马的保护作用探究 [D]. 昆明: 云南中医药大学, 2022.
- Ma L. The protective effect of Cang Ai Volatile Oil on the damage of hippocampal CA3 region in rats in a high-altitude hypobaric hypoxic natural environment [D]. Kunming: Yunnan University of Chinese Medicine, 2022.
- [47] 冯金涛, 叶向露, 张宁, 等. 中药挥发油治疗炎症性肠病的药理研究进展 [J]. 中成药, 2024, 46(5): 1577-1582.
- Feng J T, Ye X L, Zhang N, et al. Pharmacological research progress of volatile oil from traditional Chinese medicine in the treatment of inflammatory bowel disease [J]. Chin Tradit Pat Med, 2024, 46(5): 1577-1582.
- [48] Borges R S, Ortiz B L S, Pereira A C M, et al. *Rosmarinus officinalis* essential oil: A review of its phytochemistry, anti-inflammatory activity, and mechanisms of action involved [J]. J Ethnopharmacol, 2019, 229: 29-45.
- [49] Elbestawy M K M, El-Sherbiny G M, Moghannem S A. Antibacterial, antibiofilm and anti-inflammatory activities of eugenol clove essential oil against resistant *Helicobacter pylori* [J]. Molecules, 2023, 28(6): 2448.
- [50] Abdullah D A. *Elettaria cardamomum* essential oil; immunomodulatory, antioxidant, and anti-inflammatory effects for controlling acute *Toxoplasma gondii* infection [J]. Trop Biomed, 2023, 40(4): 453-461.
- [51] 王梁凤, 李慧婷, 陈青垚, 等. 中药挥发油抗菌作用的研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2021, 46(5): 1026-1033.
- Wang L F, Li H T, Chen Q Y, et al. Research progress on antibacterial activity of herbal volatile oil [J]. China J Chin Mater Med, 2021, 46(5): 1026-1033.
- [52] Warnke P H, Sherry E, Russo P A J, et al. Antibacterial essential oils in malodorous cancer patients: Clinical observations in 30 patients [J]. Phytomedicine, 2006, 13(7): 463-467.
- [53] 宋芝超, 黄森兰, 祝茜茜, 等. 热性中药挥发油透皮促渗不同成分的规律性研究 [J]. 南京中医药大学学报, 2025, 41(1): 58-65.
- Song Z C, Huang S L, Zhu X X, et al. Study on the regularity of essential oils from traditional Chinese medicine with hot property in enhancing skin permeability of different components [J]. J Nanjing Univ Tradit Chin Med, 2025, 41(1): 58-65.
- [54] 陈军, 刘培, 蒋秋冬, 等. 中药挥发油作为透皮吸收促进剂的现状与展望 [J]. 中草药, 2014, 45(24): 3651-3655.
- Chen J, Liu P, Jiang Q D, et al. Current situation and future outlook on essential oils from Chinese materia medica as penetration enhancers [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2014, 45(24): 3651-3655.
- [55] 代俊萍, 蒲雪. 中药挥发油透皮促渗效果与药性相关性研究 [J]. 中医学报, 2019, 34(1): 103-106.
- Dai J P, Pu X. Study on the correlation between the transdermal penetration promoting effect of volatile oil of Chinese medicine and medicinal properties [J]. China J Chin Med, 2019, 34(1): 103-106.
- [56] 顾琦, 魏旭超, 刘露, 等. 基于网络药理学探讨辛热中药挥发油外用的药效物质基础及潜在分子机制 [J]. 中草药, 2021, 52(5): 1383-1392.
- Gu Q, Wei X C, Liu L, et al. Pharmacodynamic material basis and potential molecular mechanism for external use of essential oils from “hot” pungent Chinese materia medica based on network pharmacology [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2021, 52(5): 1383-1392.
- [57] 黄森兰, 祝茜茜, 陆姗姗, 等. 中药挥发油透皮促渗苷类成分效果与经皮水分散失量的相关性研究 [J]. 南京中医药大学学报, 2024, 40(5): 503-509.
- Huang S L, Zhu Q Q, Lu S S, et al. Research on the correlation between transepidermal glycoside penetration enhancement effect and transepidermal water loss values of essential oils from traditional Chinese medicine [J]. J Nanjing Univ Tradit Chin Med, 2024, 40(5): 503-509.
- [58] 梁丽萍. 中药桂枝及蔓荆子挥发油促透皮吸收的研究 [D]. 广州: 广东药科大学, 2018.
- Liang L P. Study on transdermal penetration enhancement of volatile oil from *Cinnamomi Ramulus* and *Viticis Fructus* [D]. Guangzhou: Guangdong Pharmaceutical University, 2018.
- [59] 宁艳梅, 完玛草, 吴溪玮, 等. 基于“TLR3-ACE2-代谢”网络探讨香囊药对“苍术-白芷”挥发油的鼻黏膜免疫防御效应 [J]. 中草药, 2025, 56(21): 7859-7882.
- Ning Y M, Wan M C, Wu X W, et al. Exploration of nasal mucosal immune defense effect of volatile oils from sachet herb pair “*Atractylodis Rhizoma-Angelicae Dahuricae Radix*” based on “TLR3-ACE2-metabolism” network [J]. Chin Tradit Herb Drugs, 2025, 56(21): 7859-7882.
- [60] 彭媛媛, 武艺, 胡文毅, 等. 基于微生物代谢组学研究薄荷挥发油抗金黄色葡萄球菌的机制 [J]. 食品与发酵工业, 2025, 51(16): 26-35, I0001-I0004.
- Peng Y Y, Wu Y, Hu W Y, et al. Study on mechanism of *Mentha* essential oil against *Staphylococcus aureus* using microbial metabolomics [J]. Food Ferment Ind, 2025, 51(16): 26-35, I0001-I0004.
- [61] 芦殿香, 张虹波, 梁焯森, 等. 基于转录组学和网络药理学探讨肉豆蔻挥发油干预低氧性肺动脉高压的作用机制 [J]. 中草药, 2024, 55(10): 3375-3387.
- Lu D X, Zhang H B, Liang Z S, et al. Mechanism of

- volatile oil from *Myristica fragrans* on hypoxic pulmonary hypertension based on transcriptome and network pharmacology [J]. *Chin Tradit Herb Drugs*, 2024, 55(10): 3375-3387.
- [62] Cao Z X, Zhou D D, Ge X M, et al. The role of essential oils in maintaining the postharvest quality and preservation of peach and other fruits [J]. *J Food Biochem*, 2022, 46(12): e14513.
- [63] 袁康, 胡振阳, 卢臣, 等. 紫苏精油对两种霉菌的抑菌活性效果研究 [J]. *粮食科技与经济*, 2019, 44(11): 85-89.
- Yuan K, Hu Z Y, Lu C, et al. Study on antibacterial activity of *Perilla* essential oil against two kinds of molds [J]. *Grain Sci Technol Econ*, 2019, 44(11): 85-89.
- [64] Tang M M, Liu F, Wang Q, et al. Physicochemical characteristics of ginger essential oil nanoemulsion encapsulated by zein/NaCas and antimicrobial control on chilled chicken [J]. *Food Chem*, 2022, 374: 131624.
- [65] 李甜甜. 小茴香挥发油促进拟南芥生长的机制研究 [D]. 昆明: 云南中医药大学, 2023.
- Li T T. Study on the mechanism of volatile oils from *Foeniculum vulgare* promoting *Arabidopsis thaliana* growth [D]. Kunming: Yunnan University of Chinese Medicine, 2023.
- [66] 王波, 陈红兵, 韩巨才, 等. 黑胡椒精油抑菌活性研究 [J]. *山西农业大学学报(自然科学版)*, 2012, 32(2): 150-153.
- Wang B, Chen H B, Han J C, et al. Study on inhibition activity of the essential oil in black pepper [J]. *J Shanxi Agric Univ Nat Sci Ed*, 2012, 32(2): 150-153.
- [67] 赵娜娜, 卢若滨, 加米古丽·木斯尔汗, 等. 11 种植物精油对 2 种棉花病原菌的抑菌活性 [J]. *新疆农业科学*, 2020, 57(4): 679-685.
- Zhao N N, Lu R B, Jamguli Musierhan, et al. Fungicidal activities of 11 essential oils derived from common spices against two cotton diseases [J]. *Xinjiang Agric Sci*, 2020, 57(4): 679-685.

[责任编辑 孙英杰]