

基于 CiteSpace 可视化图谱分析川芎的研究动态及热点

龚恒佩^{1*}, 颜梅¹, 徐菲拉¹, 龚雪媛², 赵静芳²

1. 金华市中心医院, 浙江大学医学院附属金华医院 中药房, 浙江 金华 321000

2. 浙江省金华市食品药品检验检测研究院, 浙江 金华 321000

摘要: **目的** 通过 CiteSpace 软件对川芎 *Chuanxiong Rhizoma* 相关研究文献进行可视化分析, 系统梳理近年研究动态, 挖掘研究热点及未来趋势, 为川芎的深度研究与应用提供参考。 **方法** 以“川芎”为核心关键词, 系统检索中国知网、万方、维普及 Web of Science (WOS) 数据库。利用 NoteExpress 软件对检索结果进行去重与筛选。基于筛选后的文献数据集, 运用 Excel 和 CiteSpace 工具, 从年度发文量及国家分布、核心研究机构、高产作者群体、高频关键词及其聚类等维度, 对国内外川芎研究态势进行可视化呈现与计量分析。 **结果** 筛选后共纳入 8 809 篇中文文献, 1 076 篇英文文献; 其中, 年发文量呈先增后减的趋势, 发文量最多的国家是中国, 发文量最多的作者是王万铁、Peng Cheng (彭成), 作者合作网络显示团队内部合作较多, 团队间合作不足; 研究机构中以南京中医药大学和 Chengdu University of Traditional Chinese Medicine (成都中医药大学) 的发文量最多, 核心机构来自中医药类的高校与附属医院; 关键词分析显示中文文献的研究热点主要为化学成分分析、数据挖掘、临床研究等方面, 英文文献更偏向于药理作用、分子机制等方面。 **结论** 川芎在中医药领域的研究热度持续。现阶段, 川芎在冠心病、缺血性脑卒中、偏头痛等疾病中的临床应用价值挖掘及基于数据的规律探索构成研究热点。未来研究应积极融合多种现代技术手段, 深度挖掘川芎的应用潜力, 拓展其临床适应证范围, 推动其向多元化应用方向发展, 从而为该领域开辟新的研究路径。

关键词: 川芎; 中医药; CiteSpace; 文献计量学; 可视化分析; 冠心病; 缺血性脑卒中; 偏头痛

中图分类号: G350; R282 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2025)20-7498-14

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.20.020

Analysis of research trends and hotspots of *Chuanxiong Rhizoma* based on CiteSpace visualization map

GONG Hengpei¹, YAN Mei¹, XU Feila¹, GONG Xueyuan², ZHAO Jingfang²

1. Jinhua Municipal Central Hospital, Department of Chinese Pharmacy, Jinhua Hospital Affiliated to Zhejiang University School of Medicine, Jinhua 321000, China

2. Zhejiang Jinhua Institute for Food and Drug Control and Testing, Jinhua 321000, China

Abstract: Objective To systematically analyze the research landscape of Chuanxiong (*Chuanxiong Rhizoma*) using CiteSpace for visual bibliometric analysis, identifying research hotspots and future trends to inform its in-depth research and application. **Methods** Literature related to “Chuanxiong Rhizoma” was retrieved from the China National Knowledge Infrastructure (CNKI), Wanfang, VIP, and Web of Science (WOS) databases. NoteExpress software was used for deduplication and screening. Excel and CiteSpace were employed to visualize and analyze the screened dataset across dimensions including annual publication volume, country distribution, core institutions, productive authors, author collaboration networks, high-frequency keywords, and keyword clusters. **Results** A total of 8 809 Chinese literature and 1 076 English literature were included after screening. The annual number of published papers on *Chuanxiong Rhizoma* showed a fluctuating trend characterized by an initial increase followed by a decline. China contributed the highest number of publications. The authors with the largest number of published papers were Wang Wantie and Peng Cheng. The author cooperation network revealed stronger intra-team collaboration, while inter-team collaboration remained limited. Among research institutions, Nanjing University of Chinese Medicine and Chengdu University of Traditional Chinese Medicine had published the most papers. Core institutions predominantly originated from universities of Traditional Chinese Medicine and their affiliated

收稿日期: 2025-06-11

基金项目: 金华市中医药科技计划 (2024QN03)

*通信作者: 龚恒佩, 女, 硕士研究生, 研究方向为中药资源与中药药理学研究。E-mail: gonghengpei1994@163.com

hospitals. Keywords analysis indicated that research hotspots in Chinese literature focused primarily on chemical composition analysis, data mining, and clinical research, while English literature focused more on pharmacological effects, molecular mechanism etc.

Conclusion Research interest in *Chuanxiong Rhizoma* within traditional Chinese medicine remains strong. Current hotspots center on exploring its clinical value in diseases like coronary heart disease, ischemic stroke, and migraine, alongside data-driven pattern discovery. Future research should integrate diverse modern technologies to systematically explore *Chuanxiong Rhizoma*'s potential, broaden its clinical indications, and promote its diversification, thereby opening new research avenues.

Key words: *Chuanxiong Rhizoma*; traditional Chinese medicine; CiteSpace; bibliometrics; visual analysis; coronary heart disease; ischemic stroke; migraine

川芎始载于《神农本草经》，是伞形科植物川芎 *Ligusticum chuanxiong* Hort. 的干燥根茎。川芎味辛，性温，归肝、胆、心包经，长于活血行气、祛风止痛^[1]，被称为“血中之气药”。川芎生长于温和湿润环境，主产于中国四川（道地产区）、云南、贵州等地，亦分布于越南，并出口至日本、韩国及欧美多国^[2]。川芎所含化学成分主要为挥发油类、生物碱类、多糖类及有机酸类等。现代药理研究表明川芎具有调节血液循环、镇痛、抗组织纤维化、改善机体骨损伤状态、提高机体免疫、缺血后损伤保护等作用，尤其在心脑血管疾病、神经系统疾病、骨伤病等方面的疗效显著^[3-4]。

文献计量学作为一种定量分析方法，能够处理大量高度异质的文献数据，客观、直观地呈现学术研究的历史活动与成果，有助于减少人为因素导致的评价偏差。目前，该方法及其可视化技术已在众多领域广泛应用。在中药研究领域，已有大量文献计量学分析被用于梳理研究现状、识别热点、预测趋势，并为未来研究方向提供思路^[5-7]。尽管川芎研究已取得阶段性进展，但针对其有效成分及药理作用的文献计量分析仍较匮乏（仅于 2017 年发表 1 篇），而临床应用、靶点机制等关键领域的计量学研究尚属空白。因此，本研究采用文献计量学方法，借助 CiteSpace 软件，对截至 2025 年 4 月 30 日收录于中国知网（CNKI）、万方（Wanfang）、维普（VIP）及 Web of Science（WOS）数据库的川芎相关中英文文献进行可视化分析。分析维度包括发文量、国家分布、作者、研究机构及关键词等。本研究通过对该领域已有成果的系统分析，旨在厘清研究进展、预测发展趋势，帮助研究者把握川芎研究的脉络与前沿，从而为未来的研究方向和科学决策提供理论指导。

1 资料与方法

1.1 数据来源与检索策略

中文文献数据来自 CNKI、Wanfang、VIP 数据

库；英文文献数据来自 WOS 数据库。采集时间为 2025 年 5 月 1 日。川芎相关研究数量众多，主要集中在医药方面，为使研究结果更加精准，更好服务于医药相关工作者，本研究主要聚焦于川芎在医药领域的成果，因此在设置检索条件时对文献分类进行了一定限制。在 CNKI 数据库中，设置检索条件：主题=川芎，精确检索；文献分类：医药科技卫生；来源类别：北大核心、中文社会科学引文索引（Chinese Social Sciences Citation Index, CSSCI）、中国科学引文数据库（Chinese Science Citation Database, CSCD）。在 Wanfang 数据库中，设置检索条件：主题=川芎，精确检索；学科分类：医药卫生；文献类型：期刊论文；核心：北大核心、CSSCI、CSCD。在 VIP 数据库中，设置检索条件：题名=川芎 OR 关键词=川芎 OR 摘要=川芎，精确检索；学科限定：医药卫生；期刊范围：北大核心、CSSCI、CSCD。WOS 数据库使用检索式主题 = “chuanxiong” OR “*Chuanxiong Rhizome*” OR “*rhizoma ligustici wallichii*” OR “*szechwan lovage rhizome*” OR “*Ligusticum wallichii*” OR “*rhizome ligustici*”。文章类型：论文或综述文章。采集到的文献数据样本按照文献研究主题和研究对象是否为“川芎”与“中医药领域”进行筛选，最后确定纳入计算分析的文献数据。

1.2 数据统计及分析方法

在 CNKI 数据库检索得到 2 863 篇川芎领域相关中文文献，在 Wanfang 数据库检索得到 5 515 篇川芎领域相关中文文献，在 VIP 数据库检索得到 6 616 篇川芎领域相关中文文献，WOS 检索共得到 1 076 篇川芎领域相关英文文献，剔除重复文献和无关文献后最终纳入 8 809 篇中文文献和 1 076 篇英文文献。

2 结果

2.1 发文趋势

基于 CNKI、Wanfang、VIP 及 WOS 核心数据库的统计，近 37 年的学术成果演进呈现 3 阶段特

征(图1)。第1阶段(1989—2006年)为中文文献主导期,年度发文量呈周期性波动增长,2006年达到峰值486篇,此间国际学术交流尚未形成有效产出。第2阶段(2007—2014年)呈现双向演变格局,中文文献量从2007年的412篇逐步回调至2014年的213篇,反映国内研究进入成果沉淀阶段;与此同时,英文文献实现零的突破,至2014年已达到年度发文量51篇,标志着川芎研究国际化进程的实

质性推进。此阶段东西方学术对话机制的建立为后续发展奠定重要基础。第3阶段(2015—2024年)呈现全球化研究态势,总发文量稳定在年均300篇左右,其中英文文献增长显著(2015年51篇的基数至2024年已达107篇,2025年数据截至4月末未纳入统计)。这一趋势既体现国际学界对川芎药用价值的认可深化,也得益于高影响力期刊构建的学术传播体系。

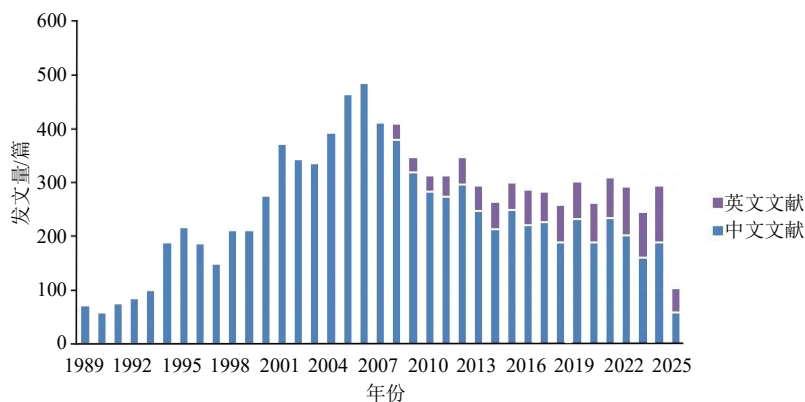


图1 1989—2025年川芎中、英文文献年度发文趋势

Fig. 1 Trends of annual publications in Chinese and English literature on *Chuanxiong Rhizoma* during 1989—2025

2.2 合作网络共现分析

2.2.1 研究国家 基于英文文献发文国家合作网络的可视化分析(图2和表1),全球共有40个国家参与川芎研究的英文文献发表。中国在该领域展现出显著学术影响力,其发文量达1 002篇(占国际总产出84.56%),印证本土学者通过外文期刊进行知识传播的战略选择。美国(45篇,3.80%)与韩国(30篇,2.53%)分列第2、3位,构成国际合作的次级枢纽。

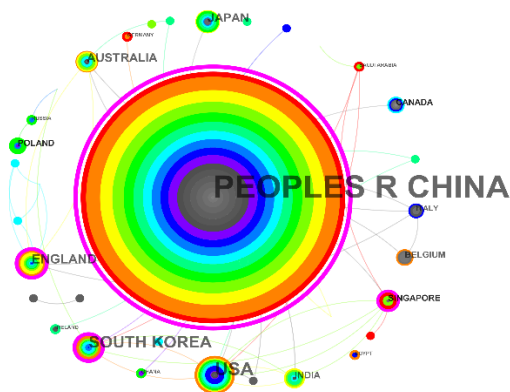


图2 川芎英文文献国家合作网络

Fig. 2 National cooperation network in English literature on *Chuanxiong Rhizoma*

表1 川芎英文文献发文量前6的国家

Table 1 Top six countries with highest number of publications in English literature on *Chuanxiong Rhizoma*

序号	国家	中心性	发文量/篇
1	中国	1.04	1 002
2	美国	0.07	45
3	韩国	0.26	30
4	英国	0.23	14
5	日本	0.00	11
6	澳大利亚	0.01	11

通过 CiteSpace 中心性测度发现,中国节点中心度达1.04(首位),远超美国的0.07与韩国的0.26。中心度指标揭示节点在网络拓扑结构中的中介功能,高值节点意味着更强的跨区域连接能力。3国中心度排序与其发文量梯度高度吻合,凸显其在知识流动中的双重优势——既作为主要知识生产者,又承担跨国合作的桥梁角色。

2.2.2 研究机构 本研究对纳入的川芎中医药研究领域的中英文文献分别进行了机构合作网络分析。中文文献涉及581个研究机构,表2列出了发文量不低于50篇的前13个机构,其中南京中医药大学(182篇)、成都中医药大学(177篇)和北京

表 2 川芎中文文献发文量前 13 的机构

Table 2 Top 13 institutions with highest number of publications in Chinese literature on *Chuanxiong Rhizoma*

序号	机构	发文量/篇
1	南京中医药大学	182
2	成都中医药大学	177
3	北京中医药大学	156
4	广州中医药大学	136
5	山东中医药大学	88
6	上海中医药大学	87
7	中国中医科学院西苑医院	85
8	河南中医药大学	79
9	浙江中医药大学	62
10	广州中医药大学第一附属医院	57
11	中国中医科学院中药研究所	56
12	甘肃中医药大学	52
13	中国中医科学院广安门医院	51

中医药大学（156 篇）位居前 3。英文文献共涵盖 309 个机构。由表 3 显示，英文文献发文量超过 20 篇的前 10 个机构中，成都中医药大学（77 篇）、南京中医药大学（73 篇）和中国中医科学院（67 篇）位列三甲。

值得注意的是，成都中医药大学在跨语言文献统计中表现突出，其中英文总发文量达 255 篇，位居各机构之首，推测其与川芎的道地产区有关。合作网络可视化图谱中，节点尺寸与连接线宽度分别表征机构的文献产出规模及合作强度。中文文献合作网络分析（图 3-A）显示，各节点中介中心性普遍偏低，机构间合作呈现显著地域局限性，主要表现为区域内的中医院院校与本地科研/医疗机构协同。相较

表 3 川芎英文文献发文量前 10 的机构

Table 3 Top 10 institutions with highest number of publications in English literature on *Chuanxiong Rhizoma*

序号	机构	发文量/篇	中心性
1	Chengdu University of Traditional Chinese Medicine（成都中医药大学）	77	0.11
2	Nanjing University of Chinese Medicine（南京中医药大学）	73	0.16
3	China Academy of Chinese Medical Science（中国中医科学院）	67	0.18
4	Beijing University Chinese Medicine（北京中医药大学）	49	0.06
5	Guangzhou University of Chinese Medicine（广州中医药大学）	35	0.04
6	Peking Union Medical College（北京协和医学院）	32	0.06
7	Shanghai University of Traditional Chinese Medicine（上海中医药大学）	32	0.03
8	Chinese Academy of Sciences（中国科学院）	30	0.10
9	Sichuan University（四川大学）	22	0.05
10	Chinese University of Hong Kong（香港中文大学）	21	0.09

而言，英文文献合作网络（图 3-B）中，Chengdu University Traditional Chinese Medicine（成都中医药大学）、Nanjing University of Chinese Medicine（南京中医药大学）、China Academy of Chinese Medical Science（中国中医科学院）及 Chinese Academy of Sciences（中国科学院）节点中介中心性值 ≥ 0.1 ，表明这些机构通过构建跨地域合作网络，在川芎研究领域形成了重要的学术影响力。

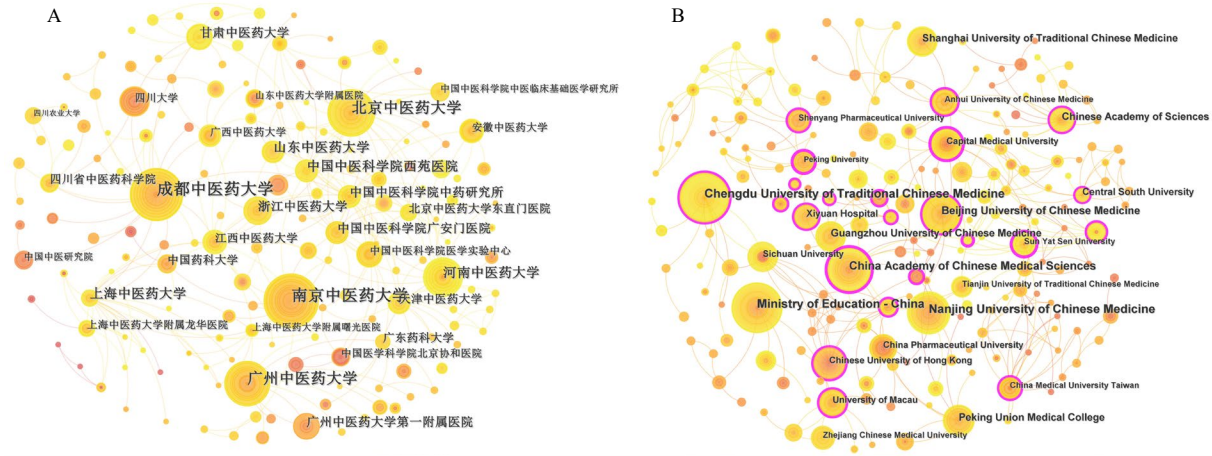


图 3 川芎中文 (A) 和英文 (B) 文献研究机构合作网络

Fig. 3 Cooperative networks of research institutions in Chinese (A) and English (B) literature on *Chuanxiong Rhizoma*

2.2.3 核心作者 对纳入的中、英文文献核心作者分别进行合作网络分析。中文文献合作网络分析结果显示共包含核心作者 1 720 位，产生了 2 625 条合作连线。发文量 ≥ 20 篇的中文作者共有 15 位，见表 4。其中，超过 30 篇的作者有 5 位，依次为王万铁、段金廛、唐于平、孙汉英、刘文励。合作网络中的节点大小和连接线粗细体现了各研究者文献产出量以及联系紧密程度。高产作者间有一定合作关系且形成了相对稳定的 5 个研究团队，见图 4-A。如以王万铁教授等为核心的研究团队系统揭示了川芎活性成分川芎嗪通过清除氧自由基^[8-10]、抑制脂质过氧化^[11]以及改善能量代谢^[12]来发挥保护肝脏缺血再灌注作用。此外，川芎嗪通过抑制氧自由基^[13]和细胞凋亡^[14]，改善肺缺血再灌注肺组织超微结构的改变；通过降低氧自由基水平、减轻钙超载、清除氧自由基^[15]及拮抗脂质过氧化反应^[16]来改善心肌缺血/再灌注。以冯怡教授等为核心的研究团队重点研究大川芎方多元释药系统中多成分的含

表 4 川芎中文文献发文量前 15 的核心作者
Table 4 Top 15 core authors of publications in Chinese literature on *Chuanxiong Rhizoma*

序号	作者	发文量/篇
1	王万铁	45
2	段金廛	44
3	唐于平	38
4	孙汉英	32
5	刘文励	31
6	徐晓玉	27
7	黄熙	26
8	任平	24
9	冯怡	24
10	修成奎	21
11	彭成	21
12	杨静	21
13	林丽娜	21
14	万海同	20
15	雷燕	20

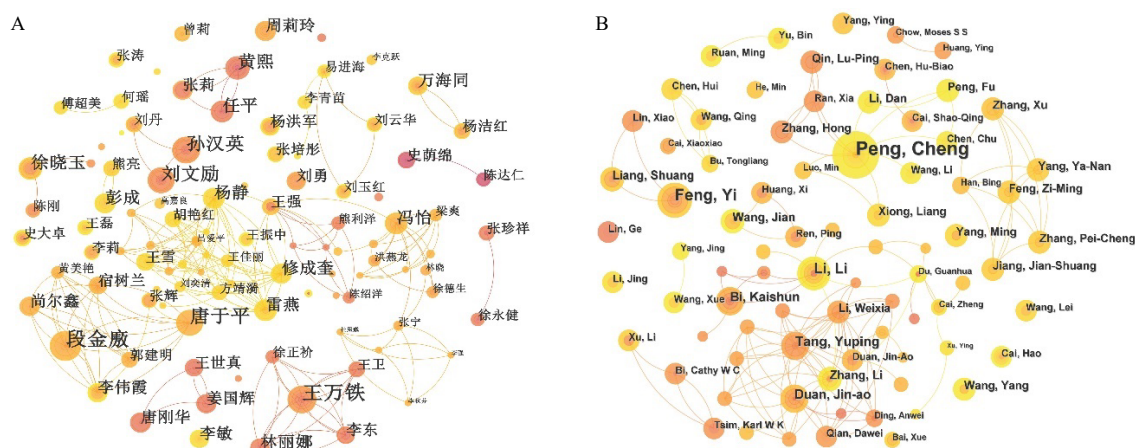


图 4 川芎中文 (A) 和英文 (B) 文献核心作者合作网络

Fig. 4 Cooperative networks of core authors in Chinese (A) and English (B) literature on *Chuanxiong Rhizoma*

量^[17-19]、体外释药特征^[20]和体内药动学研究^[21]。以段金廛和唐于平教授等为核心的研究团队着重研究川芎-当归药对的养血补血作用^[22-23]以及缓解痛经作用^[24-25]。

英文文献作者合作网络分析结果显示共包含作者 595 位，发文量 ≥ 6 篇的作者共 9 位，见表 5。其中，发文量 ≥ 10 篇的作者为 Peng Cheng (彭成)、Feng Yi (冯怡) 和 Li Li (李里)。高产作者形成了合作规模较大的 3 个研究团队，见图 4-B。如以成都中医药大学彭成教授等为核心的研究团队，团队规模最大，发文量最多，系统开展了川芎资源开发

与药理机制研究：通过 GC-MS 与 UHPLC 高分辨质谱完成挥发油特征成分鉴定及新型苯酞类化合物发现^[26-27]，阐明川芎嗪对心肝肺缺血再灌注损伤的多靶点保护机制，证实总生物碱通过 5-羟色胺 1B (5-hydroxytryptamine 1B, 5-HT1B) 受体/c-Jun 通路发挥抗偏头痛作用^[28-29]，揭示挥发油经核因子- κ B (nuclear factor- κ B, NF- κ B) 信号抑制神经炎症^[29]；完成挥发油急性毒性与皮肤刺激性评价^[26]；创新性实现药渣资源化利用制备重金属吸附材料^[30]，并构建脂质体递药系统改善增生性瘢痕^[31]；以冯怡教授等为核心的研究团队围绕川芎活性成分洋川芎内

表 5 川芎英文文献发文量前 9 的核心作者
Table 5 Top nine core authors of publications in English literature on *Chuanxiong Rhizoma*

序号	作者	发文量/篇
1	Peng Cheng	22
2	Feng Yi	13
3	Li Li	10
4	Tang Yuping	8
5	Duan Jinao	7
6	Bi Kaishun	7
7	Zhang Li	6
8	Liang Shuang	6
9	Wang Jian	6

酯 I 及苯酞类衍生物展开系统性研究, 阐明洋川芎内酯 I 通过激活核因子 E2 相关因子 2 (nuclear factor erythroid-2-related factor 2, Nrf2) /抗氧化反应元件 (oxidative response element, ARE) 通路减轻脑缺血再灌注损伤^[32]及偏头痛^[33-34]; 揭示大川芎方配伍治疗偏头痛的“祛风化痰”科学内涵^[35-36]; 完成洋川芎内酯 I 体内药动学表征及脑靶向分布特性^[34]; 设计合成 23 种新型苯酞衍生物, 并发现抗血小板聚集化合物及抗氧化等化合物的先导结构^[37]。以李里教授等为核心的研究团队聚焦川芎及其活性成分的药理机制与转化应用, 阐明脑得生方多靶点调控血管张力机制^[38], 揭示洋川芎内酯 I 抗紫外线皮肤损伤新通路^[39], 筛选川芎新型抗凝活性成分^[40], 证实川芎嗪保护肺血管内皮屏障作用^[41], 创新提出甲氨蝶呤-川芎嗪协同治疗方案。

2.3 研究热点与趋势
2.3.1 高频关键词共现网络分析 分析所纳入的中文文献得到 597 个关键词, 频次≥100 的关键词见表 6, 共现网络见图 5-A。除“川芎”这一关键词外, 中文文献高频关键词主要聚焦于以川芎为代表的活血祛瘀剂的治疗应用, 通过中医药疗法探究其调控机制及临床应用效果; 重点关注川芎以及川芎-当归药对的活性成分, 如川芎嗪(出现 1 833 次)、阿魏酸、洋川芎内酯 I; 研究技术体系强调高效液相

表 6 中文文献中出现次数≥100 的关键词

Table 6 Keywords with frequency ≥ 100 in Chinese literature			
序号	关键词	中心性	频次
1	川芎嗪	0.31	1 833
2	川芎	0.41	909
3	阿魏酸	0.09	363
4	中医药疗法	0.06	348
5	中药	0.12	197
6	高效液相色谱法	0.10	197
7	数据挖掘	0.22	195
8	当归	0.22	182
9	用药规律	0.04	180
10	大鼠	0.81	162
11	活血祛瘀剂/治疗应用	0.12	120
12	丹参川芎嗪注射液	0.06	119
13	藁本内酯	0.16	114
14	临床应用	0.11	108
15	指纹图谱	0.28	104
16	含量测定	0.02	100

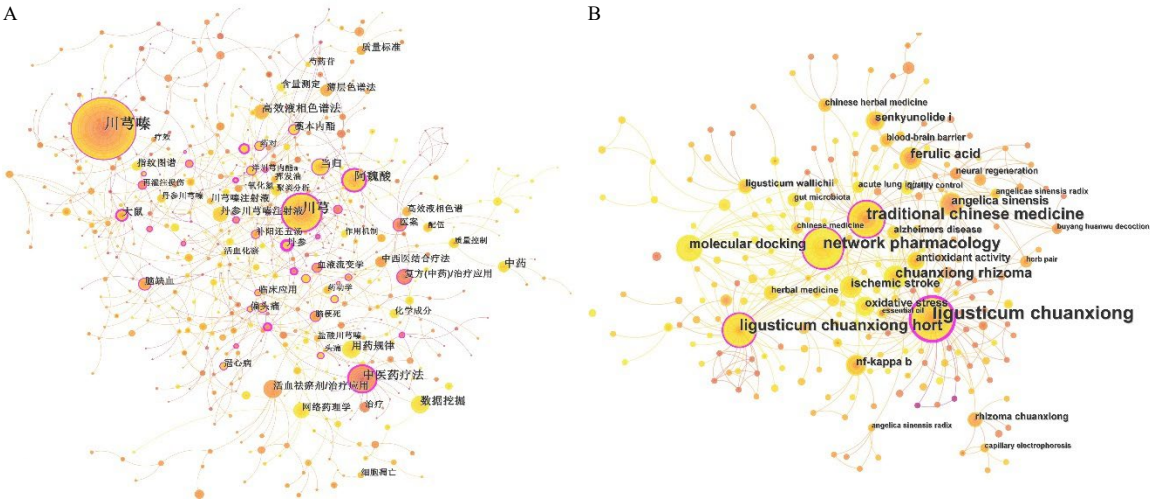


图 5 川芎中文 (A) 和英文 (B) 文献关键词共现网络
Fig. 5 Co-occurrence networks of keywords in Chinese (A) and English (B) literature on *Chuanxiong Rhizoma*

色谱法结合指纹图谱技术进行多组分含量测定,并运用数据挖掘方法系统分析复方配伍的用药规律;实验模型多基于大鼠开展药效验证,代表性制剂包括丹参川芎嗪注射液。其中,川芎嗪、阿魏酸、洋川芎内酯 I、指纹图谱、数据挖掘、高效液相色谱法、活血祛瘀剂/治疗应用作为高频核心关键词,表明基于现代分析技术(如 HPLC-指纹图谱)与数据挖掘手段,深度解析川芎-当归类复方中活性成分(如川芎嗪、阿魏酸、洋川芎内酯 I)的质量控制、用药规律及其在活血祛瘀治疗中的临床应用机制是当前川芎现代化研究的关键方向。

分析所纳入的英文文献得到 397 个关键词,频次 ≥ 10 的关键词见表 7,共现网络见图 5-B。除高频关键词川芎(*Ligusticum chuanxiong*、*Ligusticum chuanxiong* Hort、*Chuanxiong Rhizoma*)以及中医药(traditional Chinese medicine)外,英文文献高频关键词(出现频次 ≥ 10)主要侧重于氧化应激(oxidative stress)相关机制的研究,如抗氧化活性(antioxidant activity)、NF- κ B 信号通路的调节等关键生物学指标与过程;而研究对象集中于川芎以及常用药对当归 *Angelica sinensis* 及其主要活性成分,如阿魏酸(ferulic acid)、洋川芎内酯 I(senkyunolide I);高频的疾病研究重点关注在缺血性脑卒中(ischemic stroke)上;多运用网络药理学(network pharmacology)结合分子对接(molecular docking)技术,系统分析其药效物质基础及多靶点作用机制。其中,网络药理学(network pharmacology)、阿魏酸(ferulic acid)、分子对接(molecular docking)、当归(*Angelica sinensis*)、缺血性脑卒中(ischemic stroke)、NF- κ B、洋川芎内酯 I(senkyunolide I)和氧化应激(oxidative stress)作为核心关键词,表明基于网络药理学和分子对接技术,深入探究其活性成分如阿魏酸、洋川芎内酯 I 通过调控 NF- κ B 通路及抑制氧化应激来干预缺血性脑卒中的作用机制,是当前川芎研究的重要方向之一。

相比于中文文献的高频关键词,英文文献的高频关键词多已深入到川芎相关作用机制研究,且疾病研究更为突出与集中。同时,中英文文献研究对象均聚焦在川芎主要成分(以川芎嗪为代表)以及川芎-当归药对上。

2.3.2 关键词热点聚类分析 中文文献关键词聚类图谱共 20 个聚类标签,见图 6-A,聚类模块值

表 7 英文文献中出现次数 ≥ 10 的关键词Table 7 Keywords with frequency ≥ 10 in English literature

序号	关键词	中心性	频次
1	network pharmacology	0.18	57
2	ferulic acid	0.07	25
3	molecular docking	0.05	23
4	<i>Angelica sinensis</i>	0.04	16
5	ischemic stroke	0.03	15
6	NF- κ B	0.03	14
7	senkyunolide I	0.03	13
8	oxidative stress	0.01	13
9	antioxidant activity	0.04	11

(Q)=0.873 8 (>0.3),表明聚类结果的网络结构是显著的;聚类平均轮廓值(S)=0.960 3 (>0.7),表明聚类结果具有可信度。各聚类团块之间存在相互交错重叠的现象,表明它们之间联系比较紧密。各聚类标签所含主要关键词一定程度上可反映其主要研究内容,见表 8。其中,聚类#1、#2、#4、#13、#14、#16、#18 以川芎及其衍生制剂(如丹参川芎嗪注射液)为核心,利用高效液相色谱法分析化学成分(如川芎嗪、阿魏酸、川芎嗪),建立含量测定与质量控制体系;聚类#0、#5、#7、#11、#17 聚焦冠心病、脑缺血、偏头痛等疾病模型的建立,通过检测细胞凋亡及丙二醛等氧化损伤标志物,揭示川芎类方剂的作用机制;聚类#3、#6、#8、#9、#10、#12、#15、#19 通过网络药理学挖掘及正交试验优化,系统解析川芎治疗心脑血管病的组方规律与用药规律,结合对照组设计推动中西医结合疗法在临床的精准应用。

关键词聚类时间线图可以揭示特定领域或主题随时间的演变过程,帮助研究者识别研究趋势和转折点。由图 7 可知,中文文献聚类关键词横跨 1980—2025 年,其中关键词较多且排列密集,聚类#2 川芎嗪和#7 脑缺血关键词较多,聚类#12 网络药理学、#19 作用机制这些聚类主题一直持续到 2025 年 4 月,表明这些主题相关研究受到较多关注,预示其为未来研究焦点。

英文文献关键词聚类图谱共形成 12 个聚类标签,见图 6-B, $Q=0.742 3$ (>0.3),表明聚类结果的网络结构是显著的; $S=0.926 7$ (>0.7),表明聚类结果具有可信度。各聚类团块之间相互交错重叠度更高,表明它们之间联系更为紧密。聚类结果见表 9,聚类#0 *Ligusticum chuanxiong*、#2 *Ligusticum*

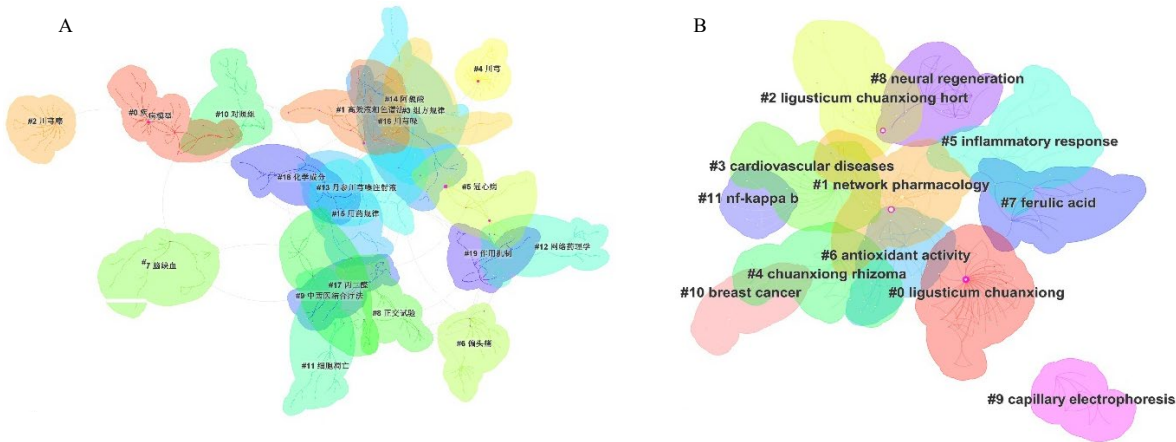


图 6 川芎中文 (A) 和英文 (B) 文献关键词聚类分析
Fig. 6 Cluster analysis of keywords in Chinese (A) and English (B) literature on *Chuanxiong Rhizoma*

表 8 川芎中文文献关键词聚类分析

Table 8 Cluster analysis of keywords in Chinese literature on *Chuanxiong Rhizoma*

聚类名称	节点数	轮廓值	主要关键词
#0 疾病模型	36	0.965	疾病模型; 大鼠; 动物; 再灌注损伤; 内皮素
#1 高效液相色谱法	33	0.927	高效液相色谱法; 薄层色谱法; 藁本内酯; 川芎嗪; 含量测定
#2 川芎嗪	33	1.000	川芎嗪; 川芎; 内皮细胞; 数据挖掘; 预防
#3 组方规律	29	0.986	组方规律; 聚类分析; 当归; 关联规则; 主成分分析
#4 川芎	27	1.000	川芎; 川芎嗪; 白芷; 挥发油; 天麻
#5 冠心病	26	0.955	冠心病; 心绞痛; 药对; 丹参; 中西医结合治疗
#6 偏头痛	26	0.946	偏头痛; 头痛; 川芎茶调散; 中医疗法; 疗效观察
#7 脑缺血	26	0.980	脑缺血; 磷酸川芎嗪; 药理学; 微透析; 中草药
#8 正交试验	24	0.928	正交试验; 临床应用; 提取工艺; 补阳还五汤; 盐酸川芎嗪
#9 中西医结合疗法	24	0.937	中西医结合疗法; 脑梗死; 血液流变学; 投药; 人参-三七-川芎提取物
#10 对照组	24	0.979	对照组; 总有效率; 治疗组; 川芎嗪注射液; 网状 Meta 分析
#11 细胞凋亡	24	0.972	细胞凋亡; 丹参酮 II _A ; 凋亡; 迷迭香酸; 丹参素
#12 网络药理学	23	0.987	网络药理学; 中药; 经典名方; 质量标志物; 川芎嗪
#13 丹参川芎嗪注射液	22	0.919	丹参川芎嗪注射液; Meta 分析; 急性脑梗死; 丹参川芎嗪; 糖尿病肾病
#14 阿魏酸	21	0.869	阿魏酸; 高效液相色谱; 配伍; 反相高效液相色谱法; 脑梗塞
#15 用药规律	21	0.944	用药规律; 数据挖掘; 川芎嗪; 名医经验; 中医药
#16 川芎嗪	21	0.916	川芎嗪; 活血祛瘀药; 痛经; 分子对接; 中医药
#17 丙二醛	20	0.961	丙二醛; 超氧化物歧化酶; 一氧化氮; 一氧化氮合酶; 百草枯
#18 化学成分	20	0.979	化学成分; 实验; 大孔树脂; 药理学; 中药复方
#19 作用机制	18	0.937	作用机制; 研究进展; 中药单体; 慢性阻塞性肺疾病; 骨关节炎

chuanxiong Hort、#4 *Chuanxiong Rhizoma* 集中研究川芎及标志性成分#7 ferulic acid; 聚类#1 network pharmacology 与#9 capillary electrophoresis 整合解析多靶点机制; 聚类#3 cardiovascular diseases、#5 inflammatory response、#6 antioxidant activity、#8 neural regeneration、#10 breast cancer、#11 NF-κB 重点揭示川芎治疗心血管疾病的机制, 包括抑制炎症反应、增强抗氧化活性、调控 NF-κB 通路以促进神

经再生, 并延伸至乳腺癌 (breast cancer) 应用。以上表明当前川芎研究聚焦三大方向: 成分分析、心血管/乳腺癌治疗中的抗炎、抗氧化与 NF-κB 调控机制、多技术融合的药效物质基础研究。
由图 8 可知, 英文文献的聚类关键词主要分布在 1996—2025 年。聚类#3 cardiovascular diseases、#4 *chuanxiong rhizoma*、#5 inflammatory response、#6 antioxidant activity、#10 breast cancer 主题一直持

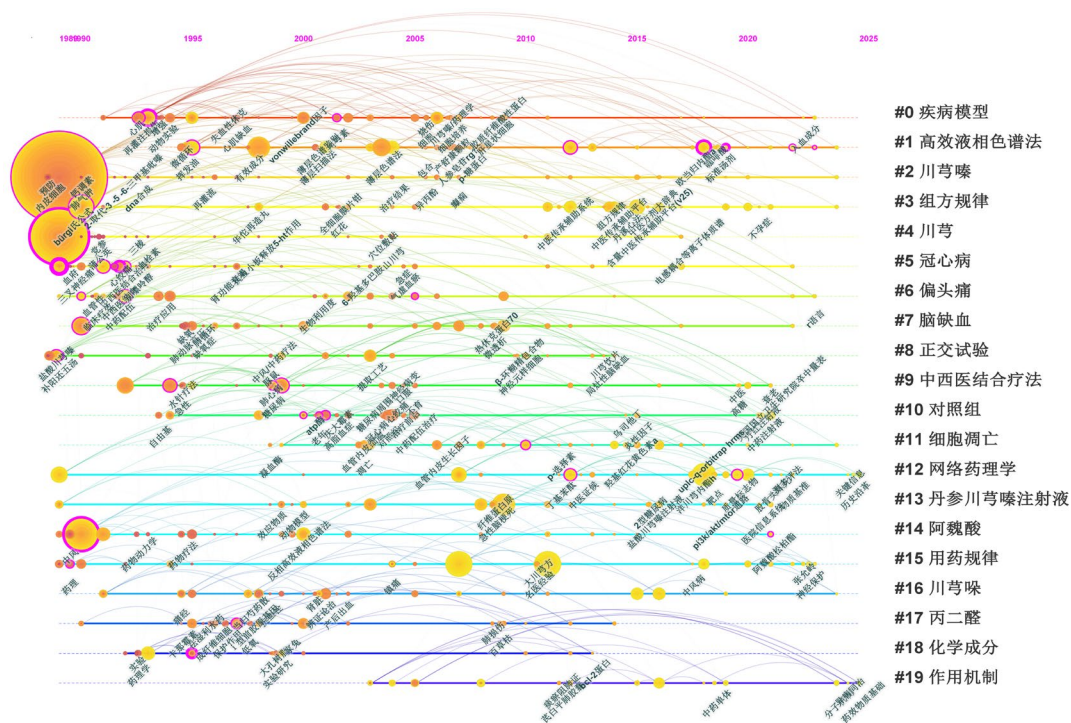


图 7 中文文献关键词时间线图
Fig. 7 Timeline map of keywords in Chinese literature

表 9 川芎英文文献关键词聚类分析

Table 9 Cluster analysis of keywords on English literature on *Chuanxiong Rhizoma*

聚类名称	节点数	轮廓值	主要关键词
#0 <i>Ligusticum chuanxiong</i>	51	0.960	<i>Ligusticum chuanxiong</i> ; <i>cnidium officinale</i> ; network pharmacology; herb pair; high performance liquid chromatography
#1 network pharmacology	34	0.867	network pharmacology; molecular docking; <i>Ligusticum wallichii</i> ; ischemic stroke; neuropathic pain
#2 <i>Ligusticum chuanxiong</i> Hort	33	0.988	<i>Ligusticum chuanxiong</i> Hort; borneol; cell cycle; <i>Ligusticum chuanxiong</i>
#3 cardiovascular diseases	27	0.836	cardiovascular diseases; traditional Chinese medicine; systematic review; calcium channel; <i>Ligusticum chuanxiong</i>
#4 <i>Chuanxiong Rhizoma</i>	24	0.919	<i>Chuanxiong Rhizoma</i> ; <i>Angelica sinensis</i> ; <i>Angelicae Sinensis Radix</i> ; <i>Angelica sinensis</i> radix; MS
#5 inflammatory response	23	0.870	inflammatory response; Chinese medicine; antioxidant effect; herbal medicine; levistolide a
#6 antioxidant activity	18	0.928	antioxidant activity; Alzheimers disease; antimicrobial activity; Guan-Xin-Ning Injection; quality control
#7 ferulic acid	17	0.962	ferulic acid; senkyunolide I; pharmacokinetics; blood-brain barrier; nitric oxide
#8 neural regeneration	17	0.946	neural regeneration; nerve regeneration; grants-supported pape; neuroregeneration; cerebral ischemia
#9 capillary electrophoresis	10	0.998	capillary electrophoresis; amperometric detection; phenolic acids; <i>Rhizoma Chuanxiong</i> ; carbon nanotube
#10 breast cancer	8	0.941	breast cancer; Chinese herbal medicine; drug resistance; cancer stem cells; Shenqi Yimu Tang
#11 NF-κB	7	0.994	NF-κB; EGF; bovine endometrial epithelial cell; adhesion molecule; sencar mice



图 8 英文文献关键词时间线图

Fig. 8 Timeline map of keywords in English literature

续到 2025 年 4 月，表明这些主题相关研究近几年受到较多关注，预示其为未来研究焦点。

2.3.3 关键词突现分析 突现强度 (strength) 排名前 20 的突现词见图 9-A。突现强度越高表示该关键词在突变时间段的影响力越大。其中，强度前 3 的突现词为“中医药疗法”“数据挖掘”和“用药规律”。由川芎中文文献突现分析可知，1980—2025 年川芎研究主要聚焦于其活性成分（阿魏酸、洋川芎内酯 A、藁本内酯）的药效机制与临床转化；从高效液相色谱法建立质量标准、指纹图谱解析化学成分，逐步转向网络药理学与分子对接驱动的作用机制研究；同时，丹参川芎嗪注射液等制剂的药动学行为及中医药疗法的临床应用（如总有效率评价）将成分-机制-疗效串联成完整证据链。未来研究热点将持续深耕中西医结合疗法优化方案，并通过数据挖掘、关联规则、聚类分析深入研究用药规律，使川芎在活血化瘀领域的创新研究维持高热度。

经川芎英文文献关键词突现分析，突现强度前 20 的突现词见图 9-B。“network pharmacology”（网络药理学）、“molecular docking”（分子对接）、“angelica sinensis”（当归）为强度前 3 的突现词。根据 1994—2025 年川芎英文文献关键词突现，可将川芎研究分为 2 个阶段：2008—2013 年的研究热点主要为川芎成分以及川芎-当归药对的神经再生作用；2013—2025 年则在川芎成分治疗缺血性脑卒

中相关活性成分及机制的深入研究方面有着很高的热度。突现分析表明，关键词“ischemic stroke”（缺血性脑卒中）、“protects”（保护作用）、“inflammation”（炎症）、“network pharmacology”（网络药理学）、“rat model”（大鼠模型）和“molecular docking”（分子对接）将持续受到关注。表明川芎对缺血性脑卒中及其炎症反应的影响，以及基于网络药理学的作用机制研究将是未来的核心方向。

3 讨论

3.1 研究概况

本研究基于 CNKI、Wanfang、VIP 及 WOS 数据库的中英文文献，运用 CiteSpace 软件及文献计量学方法，对川芎研究领域的发文量、国家、机构、作者及关键词进行了可视化分析。结果表明，川芎研究自 20 世纪 80 年代起持续活跃，发文量稳步增长，截至 2025 年 4 月热度不减，且呈现向 SCI 期刊转移的显著趋势。中国在该领域占据全球绝对主导地位，核心研究力量高度集中于成都中医药大学、南京中医药大学等顶尖中医药院校及其附属医院。研究团队方面，以王万铁、彭成等学者为代表的核心团队已形成并展现出高效的内部协作，为深化研究奠定了基础；然而，跨团队、跨机构（尤其是跨区域、跨国）的合作网络薄弱，阻碍了学术资源（如高水平平台、多中心临床数据）与产区优势的有效整合，限制了研究视野拓展和重大问题的联

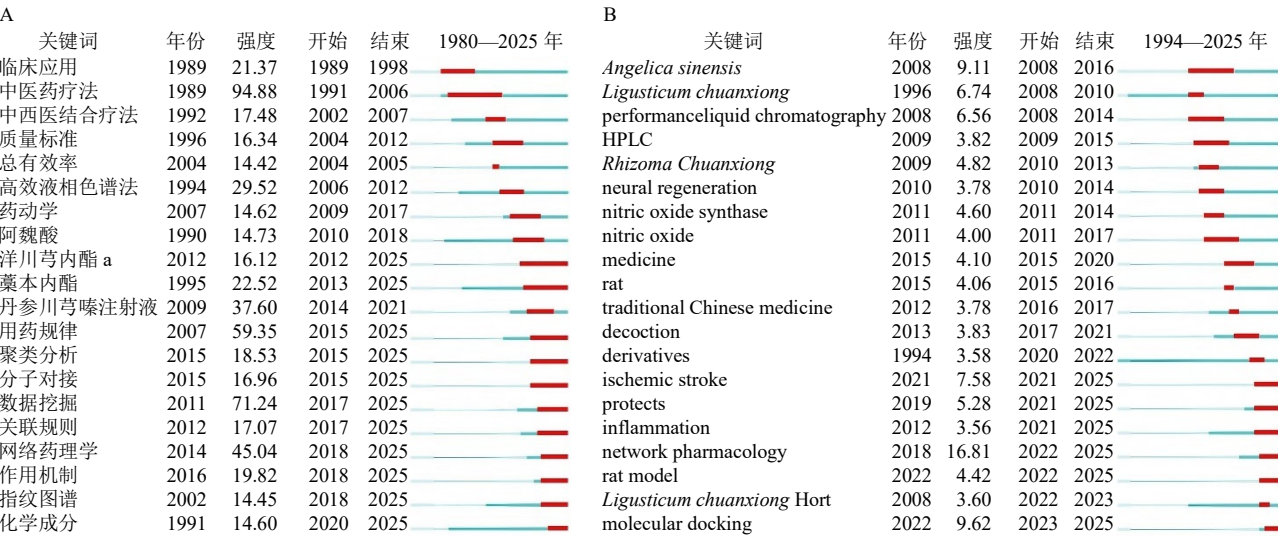


图 9 川芎中文 (A) 和英文 (B) 文献关键词突现图谱
Fig. 9 Burst mapping of keywords in Chinese (A) and English (B) literature on Chuanxiong Rhizoma

合攻关。关键词分析显示中英文文献均聚焦于川芎嗪、洋川芎内酯等活性成分的化学分析及其药对配伍（尤其在心血管疾病治疗领域）的药理作用机制；突现词分析进一步表明，网络药理学、作用机制深度解析、数据挖掘技术及化学成分深度开发正成为前沿热点。综上，未来亟需构建开放协作机制，促进多中心、多学科团队联合，整合基础研究与临床资源，并实质性加强国际合作，以全面提升川芎研究的整体水平和国际影响力。

3.2 川芎在中医药领域的研究热点及趋势

3.2.1 数据挖掘 数据挖掘技术（如关联规则、聚类分析）已成为整合川芎古今文献、临床经验与实验数据的核心工具，在揭示高频药对配伍规律（如川芎-当归、川芎-防风）、量化剂量应用差异（如针对不同病症）及解析“异病同治”科学内涵等方面成效显著^[42]。尤其在与网络药理学结合后，其潜力得到进一步拓展，例如通过构建“川芎嗪-靶点-通路”模型，揭示了川芎嗪调控 PI3K/Akt 信号通路改善脊髓损伤的潜在机制^[43]，为阐释川芎复方作用机制提供了新视角。展望未来，该领域的研究趋势正朝着“多组学数据整合”与“动态疗效预测”方向深化：一方面，利用机器学习融合基因组学、代谢组学等多维数据，深度解析川芎“一药多效”背后的复杂分子网络；另一方面，基于真实世界大数据开发智能处方系统，实现对川芎在复杂病症（如兼夹证）中配伍方案的动态优化。这两大方向的突破，是推动中医药研

究迈向精准化与智能化的关键路径。

3.2.2 化学成分及含量测定 关键词分析表明，川芎的化学成分与含量测定始终是研究核心。其研究手段经历了显著演进：从早期依赖传统方法及薄层色谱、液相色谱进行成分分离、鉴定、提取工艺与质量评价，发展至当前广泛应用高通量筛选、气质联用（GC-MS）、液质联用（LC-MS）及数据挖掘等先进技术。这一技术升级显著深化了对川芎道地性物质基础的理解。武梦园等^[44]通过建立指纹图谱结合化学计量学，筛选并验证了区分四川道地川芎（尤以都江堰产为著）与非道地样品的关键差异性成分（如 Z-藁本内酯等），成功确定了道地性标志物。刘华等^[45]利用 GC-MS 分析 10 个产区川芎挥发油，鉴定出 43 种化合物；结果表明，不同产区虽均含苯酞类、烯萜类及醇类等主要成分，但其含量存在显著差异。此外，分离技术亦取得进展，Zhong 等^[46]采用二乙胺甲基琼脂糖阴离子交换色谱与高分辨气相色谱，从川芎中分离出多糖组分 LCXP-1a 和 LCXP-3a；其单糖组成分析显示 LCXP-1a 含鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸和葡萄糖；LCXP-3a 由甘露糖、鼠李糖、葡萄糖醛酸、半乳糖醛酸、葡萄糖等组成^[47]。

综上，现代分析技术的迭代与应用，不仅精准解析了川芎的化学物质组成及其道地性特征，也为系统评价其质量、深入挖掘其药效物质基础及开发新型活性组分提供了坚实的科学依据与技术支撑。

3.2.3 药理作用及其作用机制 对川芎化学成分的系统解析,尤其是其关键活性成分(如川芎嗪、洋川芎内酯 I、藁本内酯及阿魏酸等)的精准识别与表征,构成了理解其多维度药理效应的化学基础。这些成分被证实是川芎发挥心脑血管保护、神经保护等核心生物活性的关键药效物质基础。围绕这些成分的抗炎、抗氧化、抗凋亡等核心药理机制研究已取得重要进展,并在脑卒中、冠心病等疾病中展现出明确治疗价值^[48-50]。具体而言,川芎嗪作为主要活性单体,其注射液可高效扩张小动脉、抑制血小板聚集及改善微循环。现代研究证实,它通过激活 PI3K/Akt 信号通路,提升超氧化物歧化酶活性,减少氧自由基生成,显著降低心肌缺血再灌注损伤中的心肌细胞凋亡^[51-52]。藁本内酯在神经保护方面作用突出,其显著增强金属蛋白酶 10 活性,促进淀粉样前体蛋白的非淀粉样途径加工,减少 β -淀粉样蛋白生成并抑制斑块沉积,从而改善阿尔茨海默病^[53];同时,通过激活 PTEN 诱导激酶 1 (PTEN-induced putative kinase 1, PINK1)/Parkin (由 PARK2 基因编码的 E3 泛素-蛋白连接酶)介导的线粒体自噬通路,改善线粒体功能障碍,减轻缺血性脑损伤^[54]。洋川芎内酯 I 则展现出多器官保护潜力, Yang 等^[55]发现其通过调节血红素氧合酶-1 (heme oxygenase-1, HO-1) 表达及抗氧化通路减轻肝脏缺血再灌注损伤;同时,通过上调醌氧化还原酶 1 (quinone oxireductase 1, NQO1) 表达、降低活性氧生成,减轻肾脏炎症反应并抑制细胞凋亡,保护肾脏免受缺血再灌注损伤^[56]。此外,张敏等^[57]采用网络药理学构建“药物-疾病-成分-靶点”多维互作网络,系统阐释了川芎活性成分治疗帕金森病和阿尔茨海默病的潜在机制。

因此,深入解析川芎关键活性成分(如川芎嗪、藁本内酯等)在多靶点、多通路层面介导的抗炎、抗氧化应激等核心药理机制,不仅是对其传统功效的科学诠释,更是推动中医药研究从经验积累向机制阐明和精准干预范式转变的关键基石,为创新药物开发和复杂疾病防治策略提供了坚实的理论依据与物质基础。

4 结论与展望

为系统梳理川芎研究领域的全貌,本研究采用 CiteSpace 对海量文献进行计量学与可视化分析,清晰呈现了全球研究力量分布、核心研究团队、热点主题演变及前沿发展趋势。首先,川芎研究的发展

脉络可划分为 3 个递进阶段:第 1 阶段聚焦临床应用,着重总结中医药疗法治疗疾病的经验及川芎的用药规律;第 2 阶段深入至化学成分分析与鉴定,以此为完善质量标准,并初步探索其药理作用与药效评价;第 3 阶段则借助网络药理学等方法,筛选治疗冠心病、缺血性脑卒中等特定疾病的关键活性成分及作用靶点,再通过细胞和动物模型深入探究如调控 PINK1/Parkin 等信号通路的具体作用机制。其次,研究格局清晰但协作需加强。中国在川芎研究中占据绝对核心地位,顶尖中医药院校及附属医院是研究的主力军,核心研究团队内部协作紧密。然而,跨区域、跨机构的深度合作网络尚未形成,这在一定程度上限制了资源整合与重大突破的实现。再次,研究热点突出且受技术驱动不断演进。研究多围绕川芎嗪、洋川芎内酯 I 等关键活性成分的心脑血管与神经保护机制,以及冠心病、偏头痛、脑卒中核心疾病的临床价值展开。数据挖掘与网络药理学已成为解析配伍规律和作用网络的核心工具,且与多组学、人工智能技术融合,推动研究朝着系统化、精准化、智能化方向发展。最后,转化存在瓶颈,递送技术是关键。川芎活性成分普遍存在生物利用度低、靶向性差等药动学问题,这是阻碍其临床转化的核心难题,而新型药物递送系统,尤其是纳米靶向技术^[58-59]被认为是突破该瓶颈的关键。

基于上述发现并结合突现关键词(网络药理学、数据挖掘、作用机制)及合作网络分析揭示的迫切需求,本研究认为川芎研究的深化与突破亟需协同推进以下战略方向。(1)深化机制与整合研究:运用系统生物学和多学科交叉方法,深入解析川芎多组分协同作用的复杂分子网络,特别是其“活血行气、祛风止痛”传统功效的科学内涵及其在核心适应证中的作用机制;(2)突破递送瓶颈与拓展应用:大力发展智能化、精准化的药物递送技术(如脑靶向纳米载体、响应型递送系统),显著提升关键活性成分的生物利用度和靶向性,并探索其在神经退行性疾病等新领域的治疗潜力;(3)驱动智能研发与循证升级:深度融合人工智能技术,优化复方配伍设计、预测临床疗效、指导精准用药;同时,基于严格循证医学方法开展高质量临床研究,确证川芎及其复方在目标适应证中的疗效优势与安全性,推动中医药现代化与国际化;(4)构建开放协作生态:建立跨学科、跨机构、跨国界的开放协作

平台,整合基础研究、临床资源、产业技术和道地药材优势,共同攻克川芎研究与应用中的关键科学问题与转化难题。只有通过这种深度融合与协同创新,方能系统解析川芎复杂体系的作用本质,突破关键成分的转化瓶颈,最终开发出更安全、有效、智能的创新药物与治疗策略,显著提升川芎在重大疾病防治中的贡献度。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 42.
- [2] Kong Q H, Niu Y S, Feng H, *et al.* *Ligusticum chuanxiong* Hort.: A review of its phytochemistry, pharmacology, and toxicology [J]. *J Pharm Pharmacol*, 2024, 76(11): 1404-1430.
- [3] 殷越, 牟春燕, 沈子芯, 等. 川芎化学成分及药理作用研究进展 [J]. 环球中医药, 2025, 18(3): 635-641.
- [4] 龙宇, 张定堃, 郑川, 等. 川芎治疗脑卒中的理论溯源及研究进展 [J]. 中草药, 2024, 55(18): 6372-6382.
- [5] Qu F L, Wang G W, Wen P, *et al.* Knowledge mapping of immunotherapy for breast cancer: A bibliometric analysis from 2013 to 2022 [J]. *Hum Vaccin Immunother*, 2024, 20(1): 2335728.
- [6] 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.
- [7] 麦麦提敏·麦提萨伍尔, 赖梦亭, 段金廛, 等. 基于文献计量学和专利分析的板蓝根研究现状剖析及产业化前景展望 [J]. 中草药, 2024, 55(2): 563-574.
- [8] 王万铁, 林丽娜, 徐正, 等. 氧自由基在肝缺血再灌注损伤中的作用及川芎嗪的影响 [J]. 中国病理生理杂志, 1999, 15(1): 39-41.
- [9] 王万铁, 徐正衿, 林丽娜, 等. 川芎嗪抗肝缺血-再灌注损伤作用机制的实验研究 [J]. 中国中西医结合急救杂志, 2002, 9(4): 216-218.
- [10] 陈瑞杰, 王万铁, 金可可, 等. 川芎嗪联用维生素 C 对实验性缺血-再灌注损伤肝脏能量代谢的影响 [J]. 中国新药与临床杂志, 2007, 26(6): 443-445.
- [11] 王万铁, 林丽娜, 吴进泽, 等. 川芎嗪联用异丙酚对围手术期缺血-再灌注损伤肝脏的保护作用 [J]. 中国中西医结合杂志, 2006, 26(3): 205-208.
- [12] 王万铁, 金可可, 王卫, 等. 川芎嗪联用左旋精氨酸抗肝缺血-再灌注损伤作用机制的实验研究 [J]. 中国急救医学, 2004, 24(12): 887-888.
- [13] 王晓杨, 毛宇飞, 张波, 等. 肺缺血-再灌注氧化应激反应对超微结构的影响及川芎嗪的作用 [J]. 中国老年学杂志, 2009, 29(9): 1052-1053.
- [14] 王晓杨, 王万铁, 郝茂林, 等. 肺缺血再灌注损伤中 Fas/FasL 系统的表达及川芎嗪的影响 [J]. 中国病理生理杂志, 2007, 23(10): 1973-1976.
- [15] 王万铁, 郝卯林, 王方岩, 等. 川芎嗪联用 L-精氨酸对缺血/再灌注损伤兔心肌线粒体功能的影响 [J]. 中国应用生理学杂志, 2007, 23(2): 134-137.
- [16] 王万铁, 李东. 川芎嗪对家兔心肌缺血再灌注损伤的保护作用 [J]. 基础医学与临床, 1997, 17(4): 68-71.
- [17] 沈岚, 林晓, 梁爽, 等. HPLC-DAD-MSⁿ 联用技术表征大川芎方效应组分中主要化学成分 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2012, 18(7): 128-134.
- [18] 洪燕龙, 冯怡, 徐德生, 等. 挤出滚圆法制备大川芎方速释微丸的处方工艺研究 [J]. 中药材, 2007, 30(12): 1596-1600.
- [19] 魏元锋, 张宁, 冯怡. HPLC-DAD 法同时测定大川芎复方释药系统中阿魏酸与天麻素的含量 [J]. 中国中医药信息杂志, 2009, 16(7): 46-48.
- [20] 马诗瑜, 沈岚, 王清清, 等. 大川芎方多组分制剂释药特性的评价 [J]. 中成药, 2017, 39(5): 939-945.
- [21] 王强, 沈岚, 房鑫, 等. 大川芎方沿体外-血浆-脑脊液-脑组织的移行成分研究 [J]. 中成药, 2013, 35(11): 2364-2371.
- [22] 李伟霞, 唐于平, 郭建明, 等. 当归-川芎药对及其组成药味对 3 种血虚模型补血作用的比较研究 [J]. 中国中药杂志, 2011, 36(13): 1808-1814.
- [23] 李伟霞, 唐于平, 郭建明, 等. 比较评价当归川芎配伍对急性血瘀大鼠血液流变学及凝血功能的影响 [J]. 中国中西医结合杂志, 2012, 32(6): 806-811.
- [24] 李伟霞, 华永庆, 唐于平, 等. 归芍药对小鼠离体子宫收缩活动的影响 [J]. 南京中医药大学学报, 2010, 26(2): 120-122.
- [25] 朱敏, 段金廛, 唐于平, 等. 四物汤及其组方药对与药味对小鼠原发性痛经模型的影响 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2010, 16(18): 109-112.
- [26] Zhang H, Han T, Yu C H, *et al.* Analysis of the chemical composition, acute toxicity and skin sensitivity of essential oil from rhizomes of *Ligusticum chuanxiong* [J]. *J Ethnopharmacol*, 2012, 144(3): 791-796.
- [27] Liu J, Feng R, Dai O, *et al.* Isoindolines and phthalides from the rhizomes of *Ligusticum chuanxiong* and their relaxant effects on the uterine smooth muscle [J]. *Phytochemistry*, 2022, 198: 113159.
- [28] Pu Z H, Peng C, Xie X F, *et al.* Alkaloids from the rhizomes of *Ligusticum striatum* exert antimigraine effects through regulating 5-HT_{1B} receptor and c-Jun [J]. *J Ethnopharmacol*, 2019, 237: 39-46.
- [29] Zuo J, Zhang T H, Peng C, *et al.* Essential oil from *Ligusticum chuanxiong* Hort. alleviates lipopolysaccharide-induced neuroinflammation: Integrating network pharmacology and molecular mechanism evaluation [J]. *J Ethnopharmacol*, 2024, 319(Pt 3): 117337.
- [30] Wang C J, Qiao J X, Yuan J D, *et al.* Novel chitosan-modified biochar prepared from a Chinese herb residue for multiple heavy metals removal: Characterization, performance and mechanism [J]. *Bioresour Technol*, 2024, 402: 130830.
- [31] Zhang H, Ran X, Hu C L, *et al.* Therapeutic effects of liposome-enveloped *Ligusticum chuanxiong* essential oil on hypertrophic scars in the rabbit ear model [J]. *PLoS*

- One, 2012, 7(2): e31157.
- [32] Hu Y Y, Duan M Y, Liang S, *et al.* Senkyunolide I protects rat brain against focal cerebral ischemia-reperfusion injury by up-regulating p-Erk1/2, Nrf2/HO-1 and inhibiting caspase 3 [J]. *Brain Res*, 2015, 1605: 39-48.
- [33] Wang Y H, Liang S, Xu D S, *et al.* Effect and mechanism of senkyunolide I as an anti-migraine compound from *Ligusticum chuanxiong* [J]. *J Pharm Pharmacol*, 2011, 63(2): 261-266.
- [34] He C Y, Wang S, Feng Y, *et al.* Pharmacokinetics, tissue distribution and metabolism of senkyunolide I, a major bioactive component in *Ligusticum chuanxiong* Hort. (Umbelliferae) [J]. *J Ethnopharmacol*, 2012, 142(3): 706-713.
- [35] Huang Y L, Ni N, Hong Y L, *et al.* Progress in traditional Chinese medicine for the treatment of migraine [J]. *Am J Chin Med*, 2020, 48(8): 1731-1748.
- [36] Wang L, Zhang J M, Hong Y L, *et al.* Phytochemical and pharmacological review of da Chuanxiong formula: A famous herb pair composed of *Chuanxiong Rhizoma* and *Gastrodiae Rhizoma* for headache [J]. *Evid Based Complement Alternat Med*, 2013, 2013: 425369.
- [37] Fang X, Ma Q, Feng Y, *et al.* (±)-6-3'a,7-6'-isowallichilide: A pair of enantiomeric phthalide dimers from *Ligusticum chuanxiong* with new 6-3'a,7-6' dimerization sites [J]. *Chin Chem Lett*, 2020, 31(5): 1251-1253.
- [38] Chen S H, Niu Z R, Shen Y J, *et al.* Naodesheng decoction regulating vascular function via G-protein-coupled receptors: Network analysis and experimental investigations [J]. *Front Pharmacol*, 2024, 15: 1355169.
- [39] Wei Q, He F X, Rao J Y, *et al.* Targeting non-classical autophagy-dependent ferroptosis and the subsequent HMGB1/TfR1 feedback loop accounts for alleviating solar dermatitis by senkyunolide I [J]. *Free Radic Biol Med*, 2024, 223: 263-280.
- [40] Huang C C, Zhao Y, Huang S Y, *et al.* Screening of anti-thrombin active components from *Ligusticum chuanxiong* by affinity-ultrafiltration coupled with HPLC-Q-Orbitrap-MSⁿ [J]. *Phytochem Anal*, 2023, 34(4): 443-452.
- [41] Min S M, Tao W T, Ding D S, *et al.* Tetramethylpyrazine ameliorates acute lung injury by regulating the Rac1/LIMK1 signaling pathway [J]. *Front Pharmacol*, 2023, 13: 1005014.
- [42] 施超琼, 庄逸洋, 卢茵茵, 等. 基于数据挖掘技术分析肖纯治疗头痛用药规律 [J]. *新中医*, 2025, 57(6): 1-6.
- [43] Tao B, Wang Q, Cao J G, *et al.* The mechanisms of *Chuanxiong Rhizoma* in treating spinal cord injury based on network pharmacology and experimental verification [J]. *Ann Transl Med*, 2021, 9(14): 1145.
- [44] 武梦园, 彭成, 蒙春旺, 等. 基于指纹图谱和含量测定结合化学计量学发现川芎道地性标志物 [J]. *中国中药杂志*, 2025, 50(1): 152-171.
- [45] 刘华, 匡海学, 杨春娟, 等. GC-MS 联用法分析不同产地川芎挥发油成分 [J]. *化学工程师*, 2017, 31(2): 29-31.
- [46] Zhong C, Liu Z J, Zhang X Y, *et al.* Physicochemical properties of polysaccharides from *Ligusticum chuanxiong* and analysis of their anti-tumor potential through immunoregulation [J]. *Food Funct*, 2021, 12(4): 1719-1731.
- [47] 帕热哈提·艾合买提, 赛德艾合买提, 许珊珊, 等. 川芎多糖分离提取的工艺探究 [J]. *科学之友*, 2011(12): 3-4.
- [48] 徐倩倩, 周梅林, 赵苏敏, 等. 川芎中促进视网膜血管内皮细胞增殖的化学成分 [J]. *中药材*, 2022, 45(11): 2643-2647.
- [49] 刘洁, 冯梦晗, 杨晓芹, 等. 川芎化学成分研究 [J]. *中药材*, 2022, 45(4): 848-852.
- [50] Lobiuc A, Pavál N E, Mangalagiu I I, *et al.* Future antimicrobials: Natural and functionalized phenolics [J]. *Molecules*, 2023, 28(3): 1114.
- [51] Su Q, Lv X W, Ye Z L. Ligustrazine attenuates myocardial injury induced by coronary microembolization in rats by activating the PI3K/Akt pathway [J]. *Oxid Med Cell Longev*, 2019, 2019: 6791457.
- [52] 陈乘波, 陈天宝, 许友榜. 川芎嗪通过 JAK2/STAT3 信号通路调节线粒体自噬减轻心肌缺血再灌注损伤的机制研究 [J]. *中国免疫学杂志*, 2021, 37(7): 819-823.
- [53] Kuang X, Chen Y S, Wang L F, *et al.* Klotho upregulation contributes to the neuroprotection of ligustilide in an Alzheimer's disease mouse model [J]. *Neurobiol Aging*, 2014, 35(1): 169-178.
- [54] Mao Z G, Tian L Y, Liu J, *et al.* Ligustilide ameliorates hippocampal neuronal injury after cerebral ischemia reperfusion through activating PINK1/Parkin-dependent mitophagy [J]. *Phytomedicine*, 2022, 101: 154111.
- [55] Yang Q, Zhao Z Z, Xie J, *et al.* Senkyunolide I attenuates hepatic ischemia/reperfusion injury in mice via anti-oxidative, anti-inflammatory and anti-apoptotic pathways [J]. *Int Immunopharmacol*, 2021, 97: 107717.
- [56] Zhu Y L, Huang J, Chen X Y, *et al.* Senkyunolide I alleviates renal ischemia-reperfusion injury by inhibiting oxidative stress, endoplasmic reticulum stress and apoptosis [J]. *Int Immunopharmacol*, 2022, 102: 108393.
- [57] 张敏, 李学, 袁志臻, 等. 基于网络药理学和体外实验的川芎抗 SH-SY5Y 细胞氧化损伤研究 [J/OL]. *天然产物研究与开发*, [2025-05-21]. <https://link.cnki.net/urlid/51.1335.q.20250521.1528.008>.
- [58] 陈泳霖, 张文君, 张国锋, 等. 川芎嗪治疗心脑血管疾病的纳米载药系统的研究进展 [J]. *中国现代应用药学*, 2022, 39(22): 3038-3044.
- [59] Chavda V P, Nalla L V, Balar P, *et al.* Advanced phytochemical-based nanocarrier systems for the treatment of breast cancer [J]. *Cancers*, 2023, 15(4): 1023.

[责任编辑 潘明佳]