

基于 Citespace 和 VOSviewer 可视化分析沉香研究的发展态势

何国浩¹, 杨 云^{1,2}, 曾 琳^{1,2}, 许利嘉^{1,2*}, 魏建和^{1,2*}, 肖培根^{1,2}

1. 中国医学科学院北京协和医学院 药用植物研究所, 中草药物质基础与资源利用教育部重点实验室/濒危药材繁育国家工程实验室, 北京 100193
2. 中国医学科学院北京协和医学院 药用植物研究所海南分所, 海南省南药资源保护与开发重点实验室/国家中医药管理局沉香可持续利用重点研究室, 海南 海口 570311

摘要: **目的** 通过对近 32 年沉香相关研究的文献分析, 探析沉香研究领域的相关热点与前沿。**方法** 以中国知网 (CNKI)、Web of Science (WOS) 等国内外数据库为数据源, 运用 Citespace 对数据进行处理筛选, 运用 VOSviewer、Citespace、COOC 等软件对文献年度发文量、机构、关键词、作者等方面进行分析, 绘制可视化图谱。**结果** 共纳入中文文献 981 篇, 英文文献 662 篇。文献数量整体呈增长趋势; 研究机构主要以中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所、中国热带农业科学院热带生物技术研究所和中国林业科学研究院热带林业研究所等为代表; 中英文关键词显示, 沉香的主要研究方向为沉香倍半萜、结香技术、化学成分、药理作用等; 目前沉香的研究热点主要为内生真菌、次生代谢产物、沉香四醇等。**结论** 沉香研究目前处于稳定发展阶段, 该领域的最新进展主要集中于对其结香技术的探究、药理作用的靶点、信号通路以及基因层面的深入研究等。

关键词: 沉香; 文献计量学; 结香技术; 沉香倍半萜; 可视化分析

中图分类号: G350; R282.71 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2024)20-7033-14

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.20.019

Visual analysis on development trend of *Aquilariae Lignum Resinatum* based on CiteSpace and VOSviewer

HE Guohao¹, YANG Yun^{1,2}, ZENG Lin^{1,2}, XU Lijia^{1,2}, WEI Jianhe^{1,2}, XIAO Peigen^{1,2}

1. Key Laboratory of Bioactive Substances and Resources Utilization of Chinese Herbal Medicine, Ministry of Education & National Engineering Laboratory for Breeding of Endangered Medicinal Materials, Institute of Medicinal Plant Development, Peking Union Medical College & Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100193, China
2. Hainan Key Laboratory of Resources Conservation and Development of Southern Medicine & Key Laboratory of Key Laboratory of Agarwood Sustainable Utilization of State Administration of Traditional Chinese Medicine, Hainan Branch of Institute of Medicinal Plant Development, Peking Union Medical College & Chinese Academy of Medical Sciences, Haikou 570311, China

Abstract: Objective To analyze the relevant hot spots and frontiers in the research field of *Chenxiang (Aquilariae Lignum Resinatum)* through literature analysis of *Aquilaria sinensis* related research in the past 32 years. **Methods** Using domestic and foreign databases such as CNKI and Web of science (WOS) as data sources, Citespace was used to process and screen the data, and VOSviewer, Citespace and COOC were used to analyze the annual number of publications, institutions, keywords, authors and other contents, and visualization maps were drawn. **Results** A total of 981 Chinese literatures and 662 English literatures were included, and the number of literature showed an overall increasing trend. The research institutions were mainly represented by Institute of Medicinal Plant Development, Chinese Academy of Medical Sciences and Peking Union Medical College, Institute of Tropical Bioscience and Biotechnology of the Chinese Academy of Tropical Agricultural Sciences and Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry. Keywords in both Chinese and English showed that the main research directions of *Aquilariae Lignum*

收稿日期: 2024-04-11

基金项目: 海南省院士创新平台科研项目 (YSPTZX202117)

作者简介: 何国浩, 硕士研究生, 研究方向为药食两用物质基础的研究。Tel: 13982393550 E-mail: 1262707460@qq.com

*通信作者: 魏建和, 研究员, 研究方向为药用植物基因资源与次生代谢调控。E-mail: jhwei@implad.ac.cn

许利嘉, 研究员, 研究方向为药用植物亲缘学及大健康产品研发。E-mail: ljxu@implad.ac.cn

Resinatum were agarwood sesquiterpenes, agarwood-induction technique, chemical composition, pharmacological action, etc. At present, the research focus of *Aquilariae Lignum Resinatum* mainly included endophytic fungi, secondary metabolites, agarotretol, etc.

Conclusion The research of *Aquilariae Lignum Resinatum* is currently in a steady development stage. The latest progress in this field mainly focuses on the exploration of agarwood-induction techniques, its targets and signaling pathways of pharmacological action and the deep research at the genetic level.

Key words: *Aquilariae Lignum Resinatum*; bibliometrics; agarwood-induction technique; agarwood sesquiterpenes; visual analysis

沉香为瑞香科植物白木香 *Aquilaria sinensis* (Lour.) Gilg 含有树脂的木材。其性辛、苦、微温，归脾、胃、肾经，具有行气止痛、温中止呕、纳气平喘的功效，用于胸腹胀闷疼痛、胃寒呕吐呃逆、肾虚气逆喘急^[1]。沉香作为药物记载，最早见于梁代陶弘景的《名医别录》^[2]，历代医典和本草如汉代《华佗神方》、魏晋南北朝《雷公炮炙论》等也对沉香的药效加以记载^[3]。现代研究发现，沉香主要含有倍半萜和色酮类化合物，具有镇静镇痛、抗菌、抗肿瘤和抑制乙酰胆碱酯酶等药理活性^[4]。近年来，随着中医药国际化步伐不断加快，沉香也逐渐成为香薰、药妆和药品的重要原料；同时，国内的沉香种植加工产业、大健康产业也初显轮廓，展示出良好的发展潜力。沉香产业链对科技研发和产品深加工技术的需求使研究者对沉香的关注再迎高潮^[5]。因此，对沉香研究现状以及未来发展趋势的分析对该领域研究者和相关产业从业者具有重要的参考价值。

文献计量学是一种描述和分析某一领域的动态与进展的计量方法^[6]，通过相关可视化与文献计量软件如 CiteSpace 和 VOSviewer 等的辅助可以用清晰明了的图谱来可视化文献分析结果^[7-8]。本研究采用文献计量学的方法，以中国知网 (CNKI) 及 Web of Science (WOS) 作为文献数据来源，以沉香为关键词对国内外的核心文献进行统计，采用 CiteSpace、VOSviewer、COOC 等文献计量学软件从整体产出、研究主体及合作网络、高被引文献、关键词共现及聚类分析等维度进行可视化分析^[9]，了解其研究热点及趋势，为未来的研究拓展提供参考和借鉴。

1 数据与方法

1.1 数据获取

中文文献研究数据来源于 CNKI，设置检索条件：主题(精确)“沉香”+“白木香”+“奇楠”；检索时间跨度为 1992—2024 年；检索期刊来源为 SCI、EI、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)，共检索文献 1 011 篇。排除诸如报纸、新闻、会议通知、人物专访这类机构无效、作者缺失等不符合标准的文献以及文学、电影、舞蹈、戏剧等针对中华优秀传统文化中特有形象“沉香”的文献后，共筛选文献 981 篇。数据采集时间为 2024 年 1 月 15 日。

英文文献研究数据来源于 WOS 核心合集数据库。检索条件：Topic = “agalloch eaglewood” OR “Chinese eaglewood wood” OR “Chinese eaglewood” OR “aloewood” OR “agarwood” OR “*Aquilaria sinensis*”；检索时间跨度为 1992—2024 年；排除重复文献后，获得英文文献 662 篇。数据采集时间为 2024 年 1 月 25 日。

1.2 数据预处理

将检索获得的中文文献以“Refworks”格式导出，文件重命名为“download_CNKI_txt”，新建 input 和 output 文件夹，转换为 CiteSpace 软件可以识别处理的格式；同时用 CiteSpace 软件转换为 WOS 相关格式，确保 VOSviewer 软件可以识别处理。将检索获得英文文献以制表符分隔文件形式导出，并以“download_WOS_txt”命名。

运用 Excel 软件分别对整体产出、文献时间分布特征及趋势、被引文献频次等进行记录、排序和筛选，运用 CiteSpace 和 VOSviewer 软件对上述所得到的文献数据进行可视化分析，分别对作者、机构、关键词等各节点类型进行可视化分析，绘制相应的知识图谱，挖掘沉香的研究热点及研究方向。

2 结果与分析

2.1 整体产出与特征分析

将检索获得的中英文文献导入 Excel 中，整理统计 1992—2024 年发表的中英文文献数据并对整体产出情况进行分析，结果见图 1。从 CNKI 和 WOS 文献数据库中共检索筛选获得文献 1 643 篇，其中来源于 CNKI 的中文文献 981 篇，占总发文量

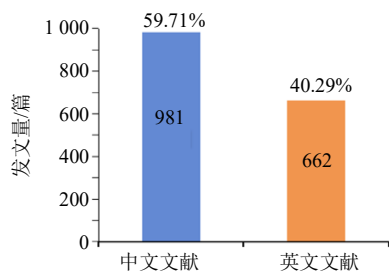


图 1 文献产出占比

Fig. 1 Percentage of publication output

的 59.71%；英文文献共 662 篇，占总发文量的 40.29%。

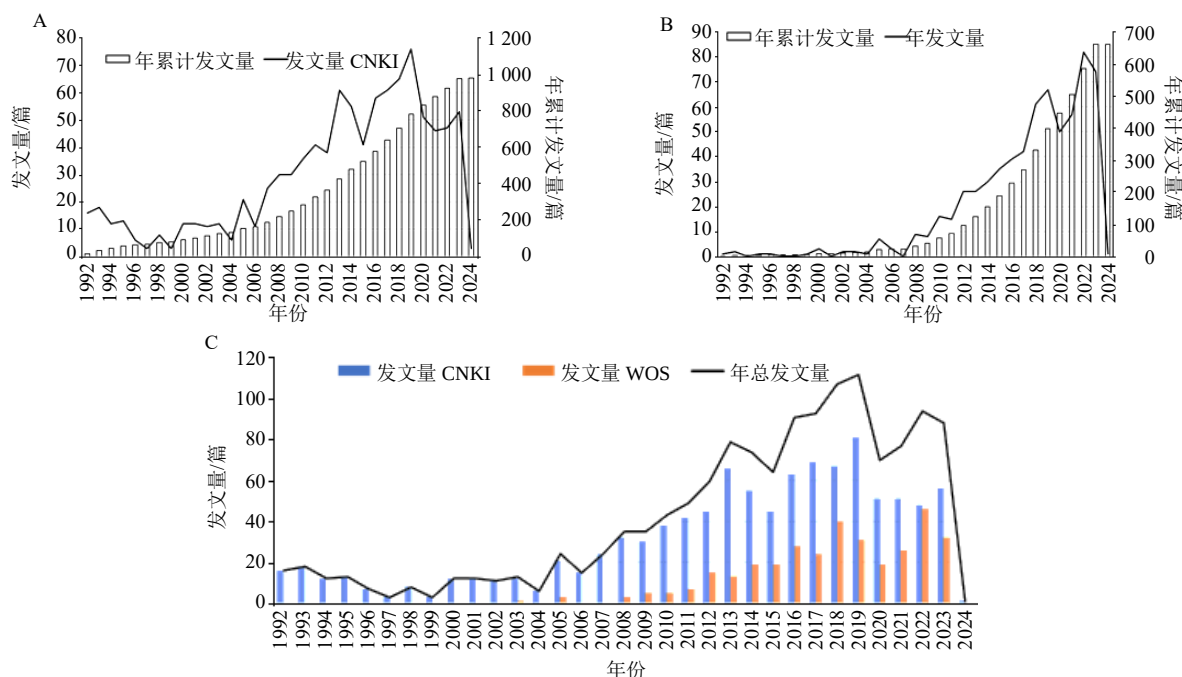
通过对 1992—2024 年国内产出文献的总体分析，可知共有 925 家机构参与沉香相关研究。其中，发文量前 5 的机构分别是中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所、中国林业科学研究院热带林业研究所、北京中医药大学、广东药科大学、青海大学；发文量较高的作者有梅文莉、戴好富、魏建和、杨云、高晓霞等。这些研究大多与中国知网分类的 10 个主要类别相关，分别为中药学、中医学、农作物、林业、化学、农业经济、一般化学工业、生物学、植物保护、有机化工。

通过对 1992—2024 年国际产出文献的总体分

析，可知主要发文地区集中在亚洲，欧美地区发文较少。共有 41 个国家、592 个机构参与了沉香相关研究。其中，发文量前 5 的国家分别是中国、马来西亚、美国、日本、泰国；发文量前 5 的机构分别是中国热带农业科学院、东华大学、北京协和医学院、博特拉大学（马来西亚）、北京中医药大学；发文量较高的作者有 Dai Hao-fu、Mei Wen-li、Li Wei、Wang Hao、Wei Jian-he 等。根据 WOS 的学科研究类别进行分类，国际学术研究环境中以沉香为主题的研究所涉及的高频研究类别有药物化学、植物学、药理学、分子生物学、化学综合、林业等。

2.2 文献时间分布特征及趋势特征

对中文文献产出时间分布特征进行分析，如图 2-A 所示。1992—2006 年沉香相关研究年发文量处于波动稳定期，除 2005 年发文量为 21 篇外，年发文量均在 20 篇以下。随着国家《中药材保护和发



A-中文文献发文量与年份的关系；B-英文文献发文量与年份的关系；C-文献产出数量-时间分布。

A-relationship between number of Chinese literature and year; B-relationship between number of English literature and year; C-quantity-time distribution of publications output.

图 2 沉香研究领域年度发文量

Fig. 2 Number of annual publications with *Aquilariae Lignum Resinatum* research

文量高峰期,查阅相关政策文件可知,2016 年广东省印发《广东省推动中药材保护和发展实施方案(2016—2020 年)》,建设濒危稀缺岭南中药材种植养殖基地;2023 年海南省将润森沉香系列产品加工项目列为“重大建设项目”;2023 年广西壮族自治区人民政府办公厅印发《广西万亿林业产业三年行动方案(2023—2025 年)》,加强培育广西沉香品牌。这些政策措施有效地激发了各机构、学者对沉香领域研究的热情。

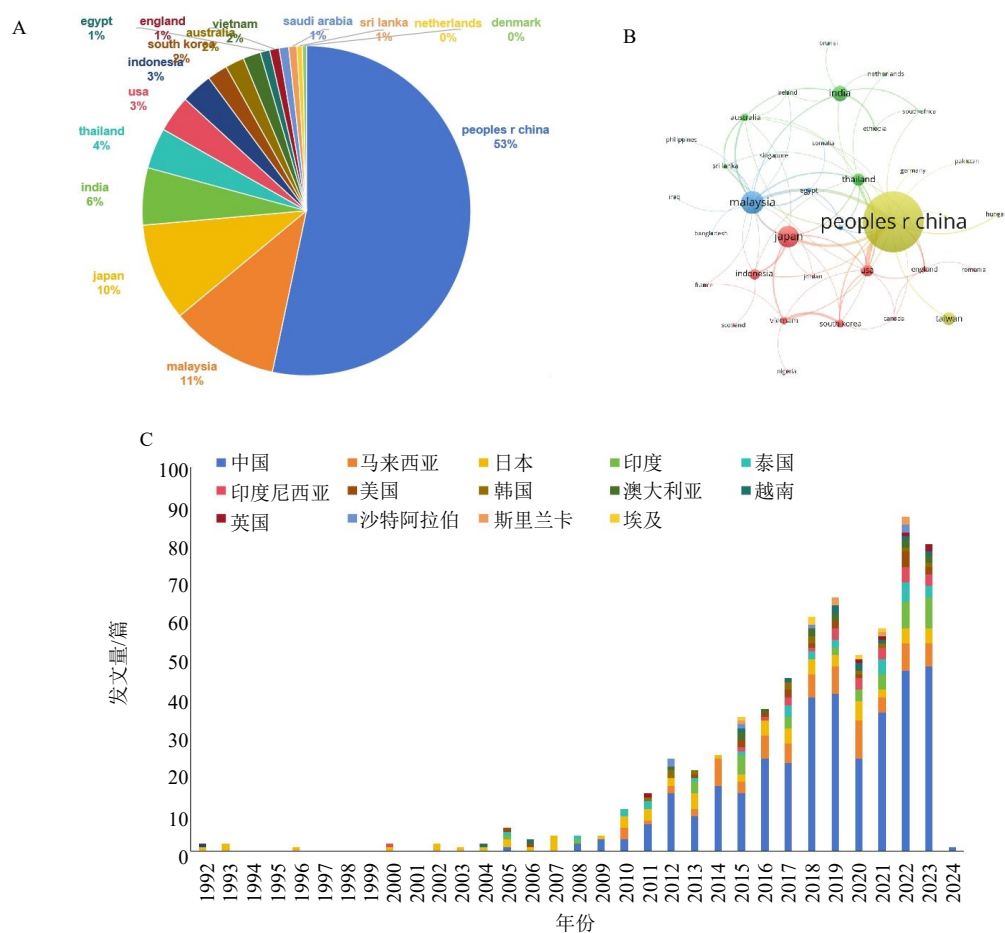
对英文文献产出进行分析,发现 1992—2007 年几乎没有与沉香有关的文献产出,在 2008 年突增,与中文文献在该段时间发文量变化特征一致,如图 2-B 所示。2008—2017 年,沉香相关文献发表量稳步提升。这与我国相关部门于 2008、2009 年相继颁布了《关于扶持中医药事业发展的若干政策措施》及《国务院关于扶持和促进中医药事业发展的若干

意见》紧密相关,该文件极大地促进了全国中医药事业的发展,使得中医药发展呈现多元化、高速度的发展特征。

2.3 沉香研究主体、合作网络及研究热点分析

运用 CiteSpaces 和 VOSviewer 文献计量学软件对中英文文献数据以国家、研究机构、作者为节点类型分别进行可视化分析。图中节点大小反映国家/机构/作者的文献产出量,节点之间的连线反映不同国家/机构/作者之间的合作关系,连线的粗细反映国家/机构/作者间合作关系的密切程度。

2.3.1 研究国家及合作特性 对英文文献进行分析,共有 14 个国家对沉香研究产出做出主要贡献(发文量 ≥ 4 篇),其中中国在该领域的研究产出占据绝对的优势地位。如图 3 所示,在全部 662 篇文献中,中国研究机构贡献的发文量共 400 篇,占全部发文量的 60.42%;其次亚洲国家马来西亚、日本、



A-主要研究国家; B-国家合作网络; C-高产国家年度发文量。

A-main research countries; B-country cooperation network; C-map of annual number of documents issued by high-yield countries.

图 3 国际沉香科学产出

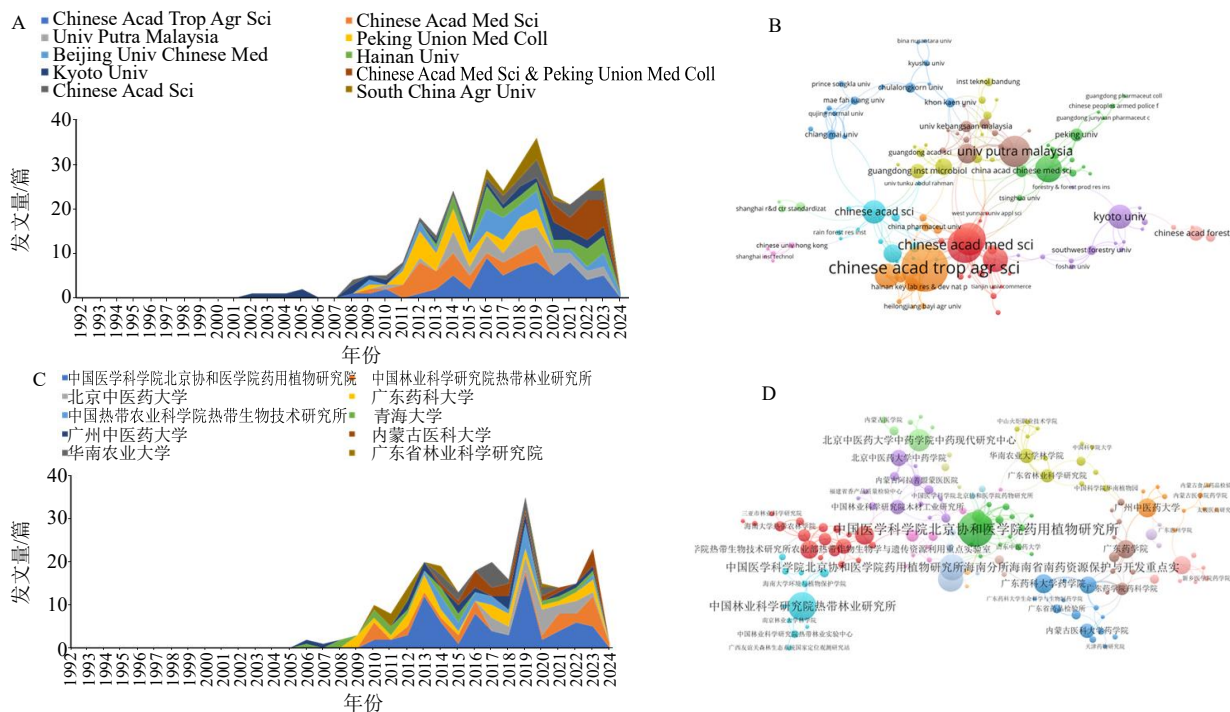
Fig. 3 International scientific output of *Aquilariae Lignum Resinatum*

印度的发文量也在 40 篇以上。沉香树木广泛分布在北回归线以南地区^[11], 包括我国南方地区、东盟国家, 如印度尼西亚、马来西亚、越南等国。其中, 印度尼西亚是沉香树种资源分布面积最大的国家; 菲律宾的沉香树品种类别最多^[5]; 目前我国也大力发展沉香产业, 在广东、广西、海南、福建、云南 5 省种植沉香资源。由图 3 可知, 中国为文献产出大国且与美国、日本、马来西亚、泰国的合作较为紧密; 而马来西亚在国际领域十分活跃, 与 15 个国家有所合作; 总体而言, 形成以中国、日本、马来西亚、泰国为核心的研究网络, 亚洲国家之间的合作较为密切。

2.3.2 研究机构分布及合作特性 分析英文文献各研究机构发文量可知, 沉香相关研究英文文献涉及全球 592 家研究机构, 主要为科研院所。但累计发文量 3 篇以上 (含 3 篇) 的仅有 113 家机构, 约占总数的 1/5, 说明本领域大多数机构的研究缺乏连续性。在以上研究机构中发文量较多的单位均地处亚洲, 这与沉香资源种植、分布情况不无关系, 这提示其他国家及地区可能受地域、研究方向、资源缺乏等影响而鲜少关注沉香的研究。

英文文献研究机构间的合作如图 4-A、B 所示, 网络密度较高, 说明国际机构之间存在一定的合作联系, 且存在以北京协和医学院、博特拉大学 (马来西亚)、京都大学 (日本)、广东药科大学、中国热带农业科学院等发文量大的机构为核心的机构合作群。但是合作群的交流大多限制在本国相关机构或大学交流, 跨国机构间的交流相对不足。

对中文文献各机构发文量进行分析, 如图 4-C、D 所示, 可知沉香相关研究中文文献涉及全国 925 家研究机构。累计发文量 10 篇以上的共有 22 家机构, 主力研究机构为各科研院所及大学, 但由排名前 3 的机构发文量占总体发文量的比例不足 11%, 表明我国研究沉香的机构众多, 呈现遍地开花态势。中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所、北京中医药大学、中国林业科学研究院热带林业研究所在沉香研究领域均有突出贡献, 且与地域临近机构或者大学紧密连接形成核心机构合作群。沉香作为著名南药之一, 其主产区分布在广东、海南, 因此沉香研究领域学术合作圈大部分集中在广东、海南及相邻位置, 中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所也有海南分所提供沉香样品供以研



A-国际高产机构年度发文量; B-英文文献研究机构合作网络; C-国内高产机构年度发文量; D-中文文献研究机构合作网络。

A-annual number of documents issued by international high-yield institutions; B-cooperation network of institutions in English literature; C-annual number of documents issued by domestic high-yield institutions; D-cooperation network of institutions in Chinese literature.

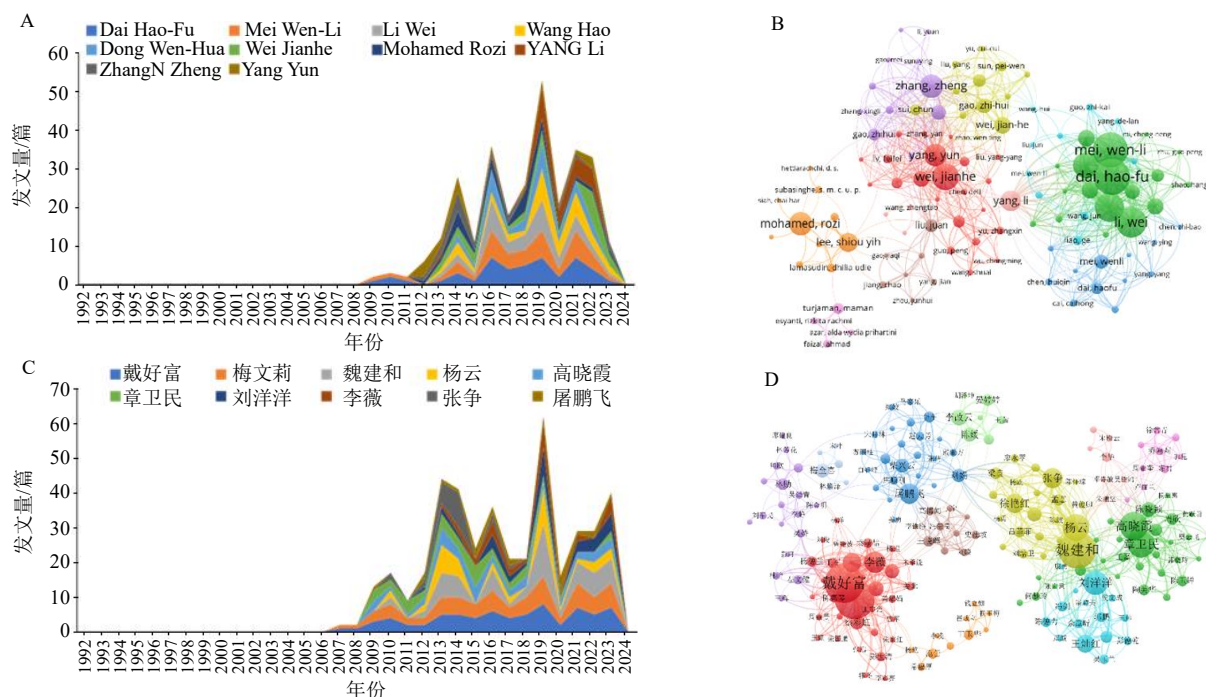
图 4 沉香领域各机构科学产出

Fig. 4 Scientific output of institutions in field of *Aquilariae Lignum Resinatum*

究。但沉香领域的各研究机构同时具有跨区域合作意识，与地处北方的北京、内蒙古相关机构及大学均有密切的合作关系。

2.3.3 核心作者及合作网络分析 英文文献各作者发文量超过 5 篇的有 80 位，且以中国作者为主，发文量前 20 的作者中有 17 名中国作者，其中发文量最多的学者为戴好富，发表沉香相关研究英文文献共 55 篇。如图 5-A、B 所示，同机构间的作者形成了多个合作组合。但组合间的联系不甚紧密。

由中文文献各作者发文量可知，共有 2 208 名作者参与到沉香相关研究中，中文文献发文量在 5 篇（包括 5 篇）以上的作者共 149 人。如图 5-C、D 所示，该领域活跃的学者构成的核心作者群在沉香资源保护、结香技术、化学成分、药理活性等方面有深入的研究。其中研究团队及研究规模较为显著的国内团队为戴好富与魏建和团队。各作者群间的联系较为分散，通常各作者与所处作者群内的作者联系更为紧密。



A-国际高产作者年度发文量；B-英文文献作者合作网络；C-国内高产作者年度发文量；D-中文文献作者合作网络。

A-annual number of documents issued by international high-yield authors; B-cooperation network of authors in English literature; C-annual number of documents issued by domestic high-yield authors; D-cooperation network of authors in Chinese literature.

图 5 沉香领域各作者科学产出

Fig. 5 Scientific output of authors in field of *Aquilariae Lignum Resinatum*

在多年的研究过程中，少数研究团队内部各自形成了较为稳定的合作子网络，子网络内各核心作者之间有着较强的学术联系，并在长期合作过程中形成了较为稳定的研究方向和特色，如戴好富、梅文莉之间的合作紧密，研究方向多为化学成分、基因表达等方面，著有“白木香 AsNAC22 基因的克隆及表达分析”“两种不同结香时间的栽培奇楠沉香化学成分研究”等论文；魏建和、杨云之间合作紧密，研究方向主要为结香机制、愈伤组织的形成、基因表达等，著有“白木香内生真菌的分离鉴定及诱导结香作用研究”“白木香转录因子 AsNAC2 的克隆及表达分析”等论文^[12-15]。这些作者共同提升

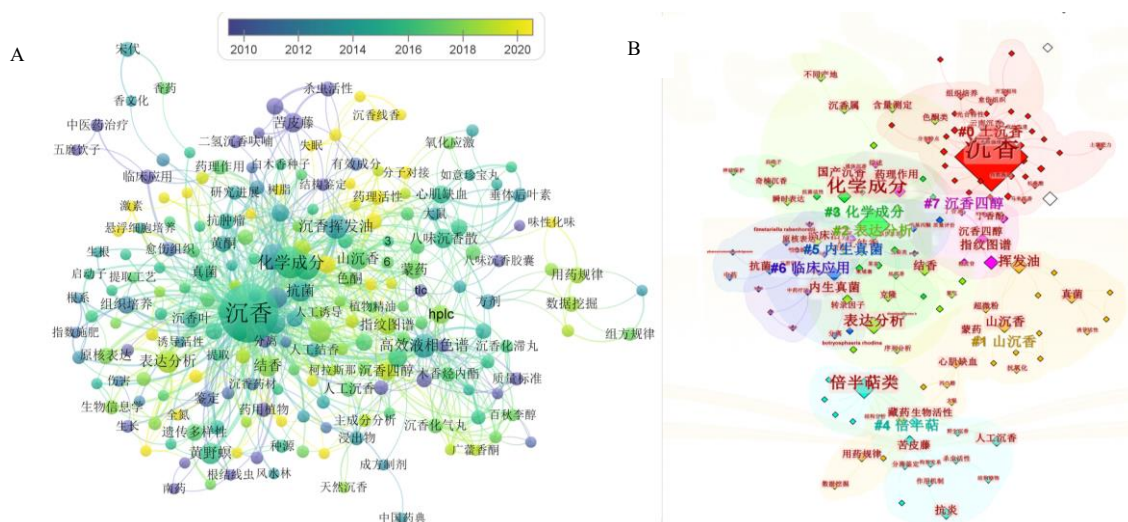
了沉香领域的科学研究深度。

综上所述，结合沉香相关文献的国家、机构、作者分析可知，中国多家科研机构及大学积极参与到沉香的相关研究中；大多数文献作者为中国人，发文机构集中在沉香的主产区海南、广东，可见中国是沉香研究的主要国家，亚洲其他国家同样在沉香领域做出了一定的贡献。国家间、机构间、作者间的合作在本国、本机构、本作者群之间的联系紧密，但是跨国、跨区域、跨作者组织间的联系较为松散，因此，在沉香研究的发展过程中，应强调跨背景、跨机构、跨国家的合作以及跨学科的作用，这有利于不同团队之间的相

互学习，有助于沉香研究领域的跨越式、多元化发展。

2.3.4 关键词共现聚类分析 运用 VOSviewer 文献计量学软件对收集所得中英文文献关键词进行分析、关键词提取后，生成关键词共现图谱，结果见图 6、7。图中每一节点对应 1 个关键词，节点大小对应该关键词在文献中出现的相对频率，节点间的连线对应二者的共现关系。为简便起见，将意义相同的关键词进行合并，如中文文献分析中将关键词“gc-ms”和“气相色谱-质谱联用”进行合并，均

以节点“气质联用”表示；英文文献分析中将关键词“agalloch eaglewood”“schinese eaglewood wood”“chinese eaglewood”“aloewood”等与“*Aquilaria sinensis*”进行合并，均以节点“agarwood”（沉香）表示等。运用 CiteSpace 文献计量学软件中 LSI 算法对文献的关键词进行聚类分析，中文文献得到含有 575 个节点和 1 188 条连线的聚类图谱，节点数前 9 的关键词聚类见表 1。英文文献得到含有 295 个结点和 1 255 条连线的聚类图谱，节点数前 10 的关键词聚类见表 2。

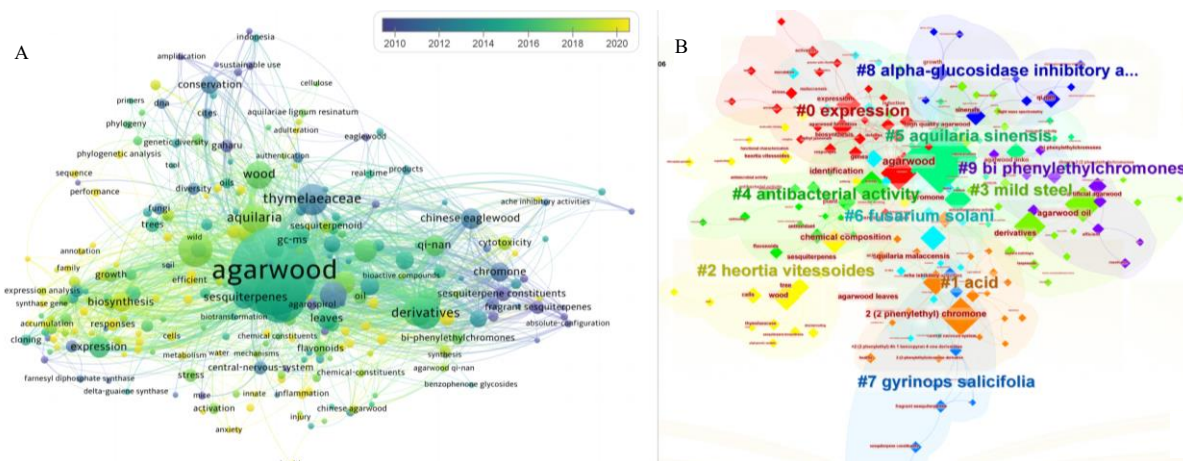


A-中文文献关键词共现图；B-中文文献关键词聚类网络。

A-co-occurrence map of keywords in Chinese literature; B-clustering network of keywords in Chinese literature.

图 6 中文文献关键词共现聚类分析

Fig. 6 Co-occurrence and clustering network analysis of keywords in Chinese literature



A-英文文献关键词共现图；B-英文文献关键词聚类网络。

A-co-occurrence map of keywords in English literature; B-clustering network of keywords in English literature.

图 7 英文文献关键词共现聚类分析

Fig. 7 Co-occurrence and clustering network analysis of keywords in English literature

表 1 排名前 9 的中文文献关键词聚类分析
Table 1 Analysis of top nine keywords clustering in Chinese literature

聚类名称	节点数	轮廓值	主要年份	主要关键词 (LSI)
#0 沉香	29	0.996	2010	化学成分、细胞毒活性、传统饮片
#1 化学成分	23	0.977	2017	化学成分、药理活性、网络药理学
#2 心肌缺血	18	0.990	2009	心肌缺血、八味沉香散、垂体后叶素
#3 倍半萜	15	0.962	2009	生物活性、次生代谢产物、分离鉴定
#4 结香	14	0.892	2015	表达分析、aox 基因、原核表达、通体结香技术
#5 天然沉香	11	0.982	2016	去氢木香内酯、木香烯内酯、沉香四醇、大黄素甲醚
#6 杀虫活性	7	0.933	2004	β -二氢芳香呋喃、结构修饰、醚类衍生物
#7 中医药治疗	7	0.996	1995	临床应用、中医药治疗、五磨饮子
#8 抗菌活性	6	0.922	2008	抗菌活性、内生真菌、药用植物

表 2 排名前 10 的英文文献关键词聚类分析
Table 2 Analysis of top 10 keywords clustering in English literature

聚类名称	节点数	轮廓值	主要年份	主要关键词 (LSI)
#0 expression	26	0.960	2016	identification, biosynthesis, responses
#1 acid	21	0.978	2009	2-(2-phenylethyl) chromone, central nervous system, agarospirol
#2 heortia vitessoides	20	0.922	2017	tree, cells, thymelaeaceae
#3 mild steel	20	0.923	2014	agarwood oil, derivatives, high quality agarwood
#4 antibacterial activity	19	0.989	2016	antibacterial activity, antimicrobial activity, optimization
#5 aquilaria sinensis	18	0.880	2006	sesquiterpene hydroperoxide, absolute configuration, trypanocidal constituent
#6 fusarium solani	18	0.944	2008	genes, diversity, conversations
#7 gyrynops salicifolia	10	0.972	2009	fragrant sesquiterpenes, alpha-glucosidase inhibition, sesquiterpene constituents
#8 alpha-glucosidase inhibitory activity	10	0.946	2016	chloroplast genome, qi-nan, agalwood jinko
#9 bi-phenylethylchromonrs	10	0.903	2016	artificial agarwood, classification, biological activity

由中文文献关键词共现图谱 (图 6-A) 可知, 中文文献共得到 2 086 个关键词, 其中词频 5 及以上的有 94 个。关键词词频在一定程度上反映了该领域的研究热度^[1]。关键词出现次数最多的是沉香, 此外, 出现次数较多的关键词还有化学成分、倍半萜、气质联用、高效液相色谱、沉香挥发油、表达分析、2-(2-苯乙基)色酮、结香、内生真菌等, 体现了中文文献对沉香化学成分分析 (尤其是萜类、黄酮类)、沉香挥发油的成分及作用、沉香结香机制这几个方面的研究热度较高。同时, 从节点的颜色可知国内近几年的研究主要在药理活性、次生代谢产物、转录因子、基因克隆等方面, 逐渐偏于分子生物学。从整体分析, 近 30 年沉香研究涉及多个方向, 包括品种鉴定、组方、有效成分提取分离、结

香机制探讨、药理作用机制、种质资源等。

将处理所得关键词通过 Citespace 进行聚类分析, 中文文献关键词聚类结果如图 6-B 所示, 其聚类模块值 (Q) 为 0.861 9 (>0.4), 说明聚类有效; 平均轮廓值 (S) 为 0.973 5 (>0.5), 说明网络同质性高, 关键词之间的联系紧密, 聚类合理。分析每个聚类所包含的主要关键词 (表 1 所示), #0 沉香、#1 化学成分、#3 倍半萜、#5 天然沉香的研究主体为沉香的化学成分、药理活性以及相关代谢产物; #4 结香侧重于研究人工结香方法以提高沉香的产量及品质; #6 杀虫活性、#8 杀菌活性的研究主体为沉香的药理活性, 主要方向是杀虫和抑菌; #2 心肌缺血、#7 中医药治疗的研究主体则为沉香的相关方剂以及中医药临床治疗。

由英文文献关键词共现图谱(图 7-A)可知,英文文献共得到 1 718 个关键词,词频 5 及以上的共有 56 个,其中出现次数最多的关键词也是沉香。此外,比较大的节点代表的关键词包括瑞香科(Thymelaeaceae)、2-(2-苯乙基)色酮类[2-(2-phenylethyl)chromone]、倍半萜(sesquiterpene)、气质联用(gc-ms)、细胞毒性(cytotoxicity)、沉香挥发油(agarwood oil)、保护(conservation)等,体现了英文文献中沉香在化学成分(尤其是黄酮、萜类)、植物保护等方面的研究热度较高。由节点的颜色可知,近几年主要研究方向为优化(optimization)、DNA 条形码(DNA barcoding)、查耳酮合成酶(chalcone synthase)、含脂材(chalcone synthase)、炎症(inflammation)等,关注其分子生物学与药理作用。

将处理所得关键词通过 Citespace 进行聚类分析,英文文献聚类结果如图 7-B,聚类模块化 Q 为 0.609 5 (>0.4), S 为 0.842 3 (>0.5),说明聚类情况有效且合理,结果具有可信度。分析每个聚类所包含的主要关键词可知(表 2),#0 expression、#1 acid、#5 aquilaria sinensis、#7 gyrinops salicifolia 的研究主体为沉香化学成分的鉴定与生物反应,其中重点为 2-(2-苯乙基)色酮、琼脂螺旋醇、芳香倍半萜等;#2 heortia vitessoides、#8 alpha-glucosidase inhibitory activity、#9 bi-phenylethylchromonrs 研究的主体为沉香的生物学特性,包括种属关系、人工沉香的培育、沉香的分类、高品质沉香奇楠等;#3 mild steel 的研究主体为沉香的衍生产品沉香精油;#4 antibacterial activity 的研究主体为沉香的药理作用,重点研究方向是抗菌活性及抗菌活性的最优化表达;#6 fusarium solani 涉及基因层面,揭示沉香内基因与性状品质的规律。

2.3.5 沉香研究热点分析 为了探索沉香领域的前沿研究,有必要研究发表文献的时间线分布和突现情况。

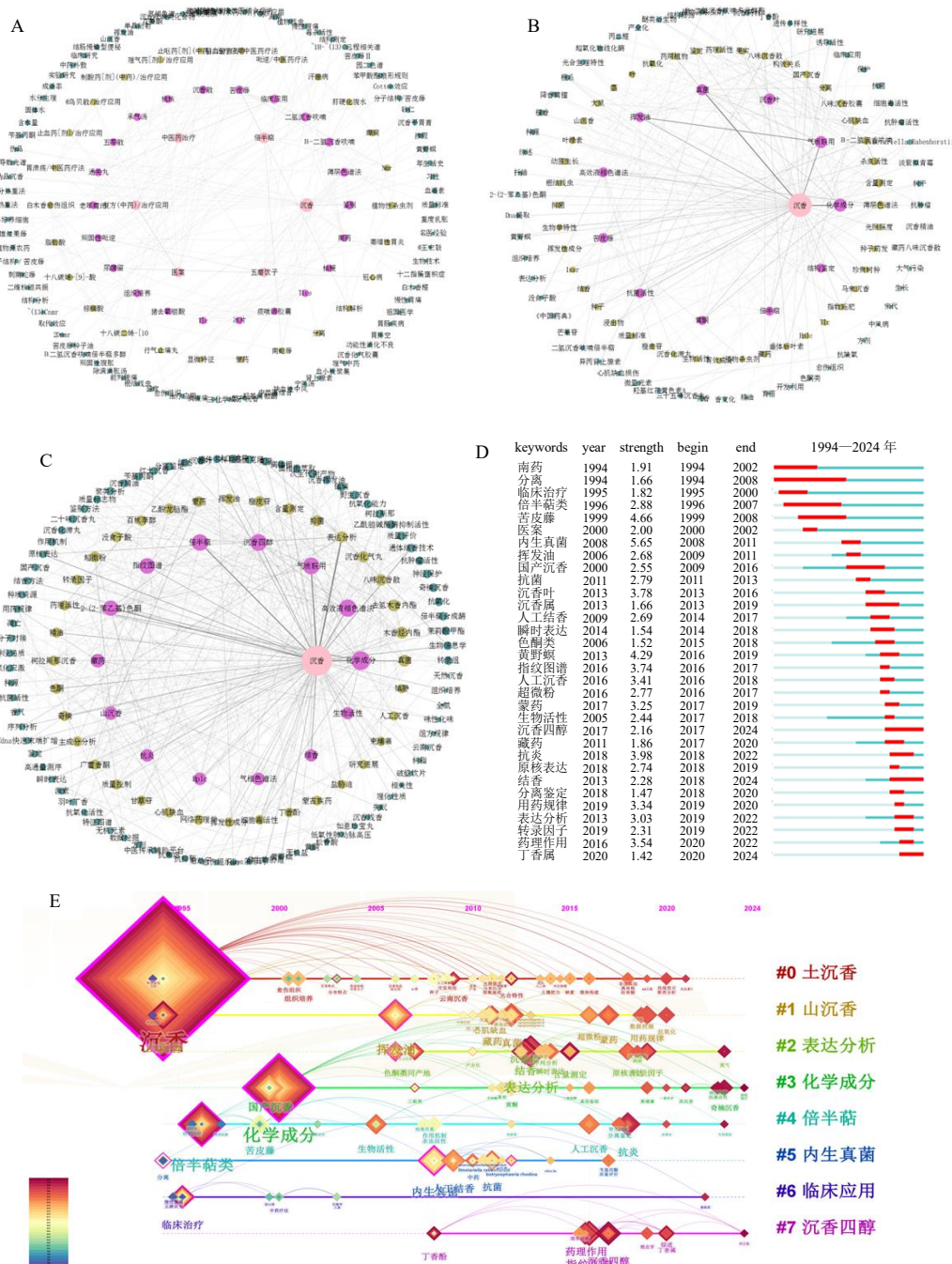
其中时间线视图 X 轴为聚类中关键词的出现年份, Y 轴为各关键词聚类,可进一步展示各聚类出现、结束和时间趋势,能体现某一聚类的重要程度及分布时间跨度;关键词突现分析主要是通过算法推导出能够反映时间段内兴起的或者持续受到关注的研究热点,反映研究领域内的热点变化及趋势^[16]。同时由于沉香相关文献数量较多,关键词较为庞大,本研究将中英文文献按时间各分为 3 份,分析关键词

共现聚类网络,以期探究热点变化。

在中文文献关键词共现的基础上进行时间线视图分析,见图 8-E。中文文献关键词的聚类主题#0 土沉香、#1 山沉香、#5 内生真菌均出现较早,且各聚类持续时间长且热度较高。结合时间线图,对中文文献的关键词进行分年度的分析并构建共现网络,结果如图 8-A~C 所示。中文文献分为 1992—2002 年、2003—2013 年、2014—2024 年 3 个时间段;通过 COOC 软件统计的数据可得,中文文献 1992—2002 年排名前 10 的关键词有沉香、中医药治疗、倍半萜、二氢沉香呋喃、鉴别、苦皮藤、B-二氢沉香呋喃、薄层色谱法、南药、五磨饮子;从关键词中医药往外延伸,可以寻找到相关药方如沉香散、承气汤、五苓散以及相关化学物质如二氢沉香呋喃等。2003—2013 年排名前 10 的关键词有沉香、化学成分、气质联用、沉香叶、真菌、挥发油、高效液相色谱法、苦皮藤、抗菌活性、黄酮。2014—2024 年排名前 10 的关键词有沉香、化学成分、高效液相色谱法、气质联用、沉香四醇、倍半萜、指纹图谱、2-(2-苯乙基)色酮、藏药、药理活性;从关键词沉香四醇往外延伸,可探寻到与沉香挥发油有关的物质如橙皮苷等。

在关键词共现的基础上分别调整 γ 值,进行关键词突现分析。中文文献突现强度较高、较早的关键词是南药、倍半萜类、临床治疗,提示一部分与沉香有关的早期研究并非研究沉香本身,而是从含有沉香的传统药方入手,寻找作为经典南药的沉香在古方中记载的临床价值等,如“含化膏治疗梅核气”“五磨饮子新用”“沉香祛癰汤治疗十二指肠壅积症”等,均记载了与沉香有关的古方的疗效与临床作用^[17-19];后续突现强度较高的关键词有抗炎、药理作用、结香,在沉香的药理方面以及人工诱导结香领域进行了深入研究。由此分析可得,国内学者对沉香的研究是从相关的中药方剂入手,并随着化学成分检测方法的进步逐渐偏向对沉香所含各类化学成分的研究,并在近些年更加深入地探究分子机制与回归民族药的探讨。

在英文关键词共现的基础上进行时间线视图分析,见图 9-E。英文关键词的聚类主题#1 acid、#4 antibacterial activity、#5 aquilaria sinensis 出现较早,而持续到现在的是#4 antibacterial activity。结合各聚类关键词表明,近年来关于沉香的主要研究内容是其药理活性与结香方法。



A-1992—2002 年中文文献关键词共现网络; B-2003—2013 年中文文献关键词共现网络; C-2014—2024 年中文文献关键词共现网络; D-中文文献关键词突现图; E-中文文献关键词时间线分布图。

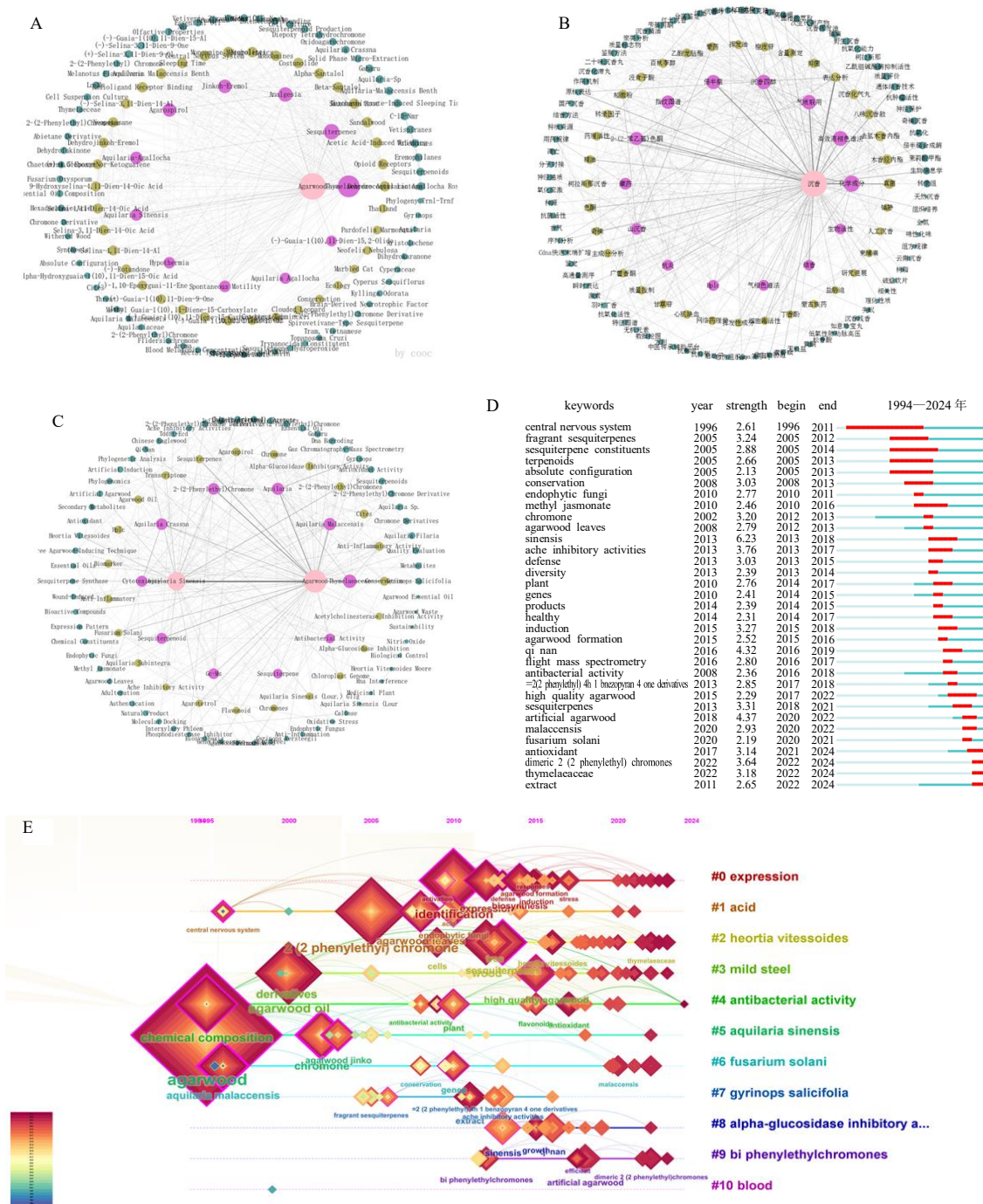
A-co-occurrence network of keywords in Chinese literature from 1992 to 2002; B-co-occurrence network of keywords in Chinese literature from 2003 to 2013; C-co-occurrence network of keywords in Chinese literature from 2014 to 2024; D-keyword emergence map of Chinese literature; E-time distribution of keywords in Chinese literatures.

图 8 时间视角下国内沉香热点分析

Fig. 8 Analysis of domestic research hotspots of *Aquilariae Lignum Resinatum* from time perspective

结合时间线图对英文文献的关键词进行分年度分析并构建共现网络, 结果如图 9-A~C 所示。英文文献由于 2006 年前发表文献较少, 故分为 1992—2006 年、2007—2015 年、2016—2024 年 3 个时间

段。通过 COOC 软件统计的数据可得, 英文文献 1992—2006 年出现较多的关键词有 thymelaeaceae、sesquiterpenes、analgesia 等; 2007—2015 年出现较多的关键词有 thymelaeaceae、GC-MS、sesquiterpene、



A-1992—2006 年英文文献关键词共现网络; B-2007—2015 年英文文献关键词共现网络; C-2016—2024 年英文文献关键词共现网络; D-英文文献关键词突现图; E-英文文献关键词时间线图。

A-co-occurrence network of keywords in English literature from 1992 to 2006; B-co-occurrence network of keywords in English literature from 2007 to 2015; C-co-occurrence network of keywords in English literature from 2016 to 2024; D-keyword emergence map of English literatures; E-time distribution of keywords in English literature.

图 9 时间视角下国际沉香热点分析

Fig. 9 Analysis of international research hotspots of *Aquilariae Lignum Resinatum* from time perspective

chromones 等; 2016—2024 年出现较多的关键词有 2-(2-phenylethyl)chromone、cytotoxicity、sesquiterpenoid、antibacterial activity 等。由此分析

可得, 国外学者长期以来多为关注沉香的化学成分与药理活性。

在关键词共现的基础上分别调整 γ 值, 进行关键

词突现分析。英文文献突现强度较高、较早的关键词是 *sinensis*、*qi nan*，提示国际上沉香有关的早期研究主要是沉香的种属情况，并对高品质沉香与人造沉香有所追求；后续突现强度较高的关键词有 *antioxidant*、*dimeric 2-(2-phenylethyl)chromone*、*sesquiterpene*，对沉香的各药理作用进行了深入的研究。

通过以上分析发现，转录因子、表达分析作为近几年来沉香相关高强度词汇，反映了目前沉香研究热点主要围绕其分子生物学、基因表达、转录组测序等展开。究其原因，其得益于近几年网络药理学、基因组学等新兴学科、技术的发展，利用其探

究沉香及其方剂治疗相关疾病的分子机制也逐渐成为热点，如暖宫七味散、八味沉香散、沉香化滞丸等^[20-22]。

2.4 高被引文献分析

被引频次是引文分析用于科技评价中最具代表性的科学计量指标^[23]，是衡量期刊论文质量和期刊等级评价的重要标志。对本研究收集的每篇文献的被引频次进行统计，分别选出中英文文献被引频次前 5 的文献。如表 3 所示，中文文献多集中于沉香的化学成分、植物培养、结香机制及药理作用研究等方面。

表 3 被引频次前 5 的中文文献
Table 3 Top five cited Chinese literature

序号	文献	期刊	被引频次	文章性质	发表时间
1	白木香结香机制研究进展及其防御反应诱导结香假说	中草药	158	研究论文	2010
2	不同施肥方法对马来沉香和土沉香苗期根系生长的影响	生态学报	138	研究论文	2011
3	五批国产沉香挥发性成分的 GC-MS 分析	中药材	134	研究论文	2007
4	国产沉香研究进展	中药材	129	综述	2005
5	沉香属植物研究进展	热带亚热带植物学报	101	综述	2009

通过查阅相关资料可知，沉香为我国稀缺资源，从古至今都处于供不应求的状态，80%的沉香需求都依赖其他国家进口^[24]。因此，国内学者对沉香资源的保护、对结香机制的研究在沉香研究领域占据相当重要的位置。沉香是沉香木在受到外部伤害以后，产生的油脂与木质部结合形成的含有树脂的木材，然而天然形成的沉香数量稀少且形成时间较长，难以满足市场需求，因此探究人工结香机制是国内沉香领域经久不衰的话题。其中由张争、杨云、魏建和等所著的“白木香结香机制研究进展及其防御反应诱导结香假说”在知网上有最高的被引频次。这篇文章主要总结了真菌侵染、物理伤害、化学伤害及激发子诱导白木香结香的作用机制，提出了“白木香防御反应结香假说”，为调控白木香结香过程、建立高效结香技术体系奠定了基础，同时也为揭示物理、化学伤害及真菌诱导其他物种产生药用次生代谢产物的分子机制积累数据^[25]，为之后研究结香机制的学者提供了参考。

英文文献多围绕沉香的化学成分及药理活性研究，结果见表 4，其中有 3 篇为综述。引用率最高的文献是 2011 年瑞士巴塞尔大学 Naef 等^[26]发表在 *Flavour and Fragrance Journal* 上的“The volatile

and semi-volatile constituents of agarwood, the infected heartwood of *Aquilaria* species: A review”，主要内容为探究沉香中的挥发性和半挥发性成分，并总结这些化合物的感官特性以及沉香相关烟雾化学的研究。此篇文章报道了沉香挥发油中近 70 种萜类化合物的结构、CAS 号及相关药理活性，且首次提出并探讨了沉香的“烟雾化学”，即探究沉香通过热解或燃烧后所得气体的成分。同时，对这些存在于精油或者沉香烟雾中的化学成分进行了感官描述。在后续沉香研究领域中，对化学成分、药理活性的探讨或对精油品质的把控提升或沉香相关衍生产品的感官评价大多会借鉴并引用此文。

综上所述，高被引中英文文献发表时间相近，2008—2014 年对沉香研究的结果丰硕且质量极高。在中英文文献中被引率最高的文献均为研究性论文，分别对沉香的结香机制与沉香精油的化学成分进行了研究，利于未来学者在这 2 个方面进行更加深入的研究学习。高被引中英文文献相比较可见，二者研究方向和热点基本相同，均致力于对沉香结香机制、结香技术、化学成分和药理作用的研究。同时中文文献在沉香资源品质鉴定等方面有所研究，这是英文文献涉及较少的领域。

表 4 被引频次前 5 的英文期刊
Table 4 Top five cited English literature

序号	文献	期刊	被引频次	文章性质	年份
1	The volatile and semi-volatile constituents of agarwood, the infected heart wood of Aquilaria species: A review	<i>Flavour and fragrance Journal</i>	238	综述	2011
2	Whole-tree agarwood-inducing technique: An efficient novel technique for producing high-quality agarwood in cultivated aquilaria sinensis trees	<i>Molecules</i>	143	研究论文	2013
3	Chemical constituents of agarwood originating from the endemic genus aquilaria plants	<i>Chemistry & Biodiversity</i>	137	综述	2012
4	<i>Aquilaria</i> spp. (agarwood) as source of health beneficial compounds: A review of traditional use, phytochemistry and pharmacology	<i>Journal of Ethnopharmacology</i>	125	综述	2016
5	Bio-assay guided isolation and identification of α -glucosidase inhibitors from the leaves of <i>Aquilaria sinensis</i>	<i>Phytochemistry</i>	125	研究论文	2011

3 讨论

沉香作为名贵南药，有“药中黄金”之称，已有 1 000 多年药用历史，是一种“药香”两用材，经济价值高、用途广，可用于制药、香熏、日化产品等。2015 年颁布的《中药材保护和发展规划》将沉香纳入其中，旨在建立中药资源动态监测网络与中药种质资源保护体系、加强沉香等濒危稀缺中药材种植养殖基地建设。各项政策的支持让沉香相关产业蓬勃发展，国内外各机构对于沉香领域的探究也愈发深入。“十二五”以来，对传统中医药理论内涵的科学认识不断深入，中医药防治重大疾病水平不断提升，沉香资源得到极大保护，相关品种得到开发，沉香精油等衍生产品市场价值巨大。

本研究基于中英文数据库融合分析 1992—2024 年沉香相关领域的科学产出并对其进行可视化分析，旨在明确沉香研究的趋势与热点内容，为沉香相关研究提供科学依据。结合沉香相关文献的国家、机构、作者分析可知，中国多家科研机构及大学积极参与到沉香的相关研究中；大多数文献作者为中国人，发文机构集中在沉香的主产区海南、广东，可见中国是沉香研究的主要国家，亚洲其他各国同样在沉香领域做出了一定的贡献。国家间、机构间、作者间的合作在本国、本机构、本作者群之间的联系紧密，但是跨国、跨区域、跨作者组织间的联系较为松散，因此，在沉香研究的发展过程中，应强调跨背景、跨机构、跨国家的合作以及跨学科的作用，这有利于不同团队之间的相互学习，有助于沉香研究领域的跨越式、多元化发展。

本研究使用多种文献计量软件对数据进行深入的挖掘和探索，国内对沉香的研究大致可分为 3 个

阶段，第 1 阶段（1992—2002 年）关注点侧重于沉香的临床疗效；第 2 阶段（2003—2013）研究热点为沉香的基础研究如化学成分、药理活性等；第 3 阶段（2014—2024）则由于市场、资源等种种原因，沉香结香机制研究成为热点。结合目前国家及各省、自治区的政策、研究热点趋势及沉香的广大市场需求，沉香研究的热度将持续攀升，且资源保护、种植生产、人工结香以及新兴技术的利用开发将被持续关注。国外对沉香的研究近 30 年来均较为关注其化学成分与药理活性，其中 2009 年以前发文量较少，2010—2019 年发文量上升，2020—2024 年发文量趋于平稳且保持较高数量。在中国这样一个对沉香需求量大的市场以及中国与东盟开展广泛合作的前提下，外国学者对沉香的研究将依然保持在相对较高的热度，对沉香的化学成分、药理活性进行更加深入的研究。

目前我国野生沉香资源已近灭绝，且全世界沉香属植物均列入了《濒危野生动植物种国际贸易公约》（CITES）附录 II，加之受到进出口贸易的影响，多年来我国沉香主要依靠从越南等国家进口，导致我国药用沉香市场充斥着较多伪品，严重影响用药安全^[27]。由此，近年来我国大力推动对中草药的保护与发展，对沉香等濒危植物的保护与资源区建设更是提上日程，这使得结香机制的研究逐渐成为国内外学者的重点研究方向。而沉香挥发油作为沉香发挥药效和呈香的关键物质基础，能够广泛应用于医药、宗教仪式、美容和香料等行业，且其所含化学成分种类多样且药理作用广泛，具有广阔的开发利用前景，这也使得众多学者对沉香挥发油的药理作用进行更加深入的研究。

然而,目前沉香研究领域的开发尚存在方向过于集中等问题,国内外大量资源投入到沉香的化学成分以及药理活性的研究中,对于这一传统名药的“食用化”研究涉及甚少。当前,“药食同源”思想是我国优秀传统文化和医药宝库的重要组成部分,蕴含了丰富的传统医药文化和健康保健知识。随着“健康中国”战略的提出,药食同源中药材备受关注和重视,其在防治慢性疾病和延缓衰老方面具有重要潜在价值,并有望成为健康重心下移和疾病防治关口前移的日常物质基础^[28]。因此,沉香的下一发展热点应紧抓当前风口,挖掘在沉香的漫长结香周期中其他附属产品如沉香叶的潜力,设计发展诸如沉香叶茶饮之类的沉香衍生产品。让沉香产业在“健康中国”战略的指引下发挥出重要作用。

4 结论

本研究基于文献计量学的方法,应用 Citespace、VOSviewer、COOC 等软件对国内外沉香相关研究的中英文文献进行可视化分析,直观地反映了 1992 年以来沉香的研究热点及研究现状。本研究为今后沉香研究的选题和前沿识别有一定的参考意义,本课题组将持续关注沉香研究领域相关动态,客观地分析该领域研究现状与发展趋势,让科技成果成为沉香产业的核心动力。

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: 185-186.
- [2] 李红念,梅全喜,陈宗良. 沉香本草考证 [J]. 亚太传统医药, 2013, 9(5): 30-33.
- [3] 邓乔华,范会云,吴江祝. 高贵而灵动的结晶: 沉香 [J]. 生命世界, 2021(6): 1.
- [4] 白发平,靳若宁,唐硕,等. 中药沉香化学成分、药理作用及其应用研究进展 [J]. 中国野生植物资源, 2022, 41(12): 61-66.
- [5] 卢诗剑,韦勇聪,黄卫萍,等. 中国与东盟国家沉香产业发展现状 [J]. 广西农学报, 2023, 38(3): 100-105.
- [6] Ellegaard O, Wallin J A. The bibliometric analysis of scholarly production: How great is the impact? [J]. *Scientometrics*, 2015, 105(3): 1809-1831.
- [7] van Eck N J, Waltman L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping [J]. *Scientom* 84(2): 523-538.
- [8] Chen C M. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature [J]. *J Am Soc Inf Sci*, 2006, 57(3): 359-377.
- [9] 刘娟娟,陈奕旻,张佳玲,等. 21 世纪全球视域下陇药红芪科学协作与热点前沿知识图谱构建及可视化分析 [J]. 中草药, 2023, 54(12): 3932-3948.
- [10] 海南省科学技术厅. 海南省科学技术厅发布《关于 2012 年海南省南药产业化示范基地的公示》[EB/OL]. (2013-02-18) [2024-01-15]. https://dost.hainan.gov.cn/xxgk/xxgkzl/xxgkml/201811/t20181116_851096.html.
- [11] 吕芳华,高维新. 沉香贸易现状及发展前景研究 [J]. 现代商贸工业, 2013, 25(6): 65-66.
- [12] 张玉秀,刘培卫,吕菲菲,等. 白木香转录因子 AsNAC2 的克隆及表达分析 [J]. 中草药, 2022, 53(15): 4807-4812.
- [13] 杨琢,蔡彩虹,曾军,等. 白木香 AsNAC22 基因的克隆及表达分析 [J/OL]. 分子植物育种 (2024-06-12) [2024-01-15]. <https://kns-cnki-net.webvpn.cams.cn/kcms/detail/46.1068.S.20231115.1429.020.html>.
- [14] 黄颖,何欣,李浩凌,等. 白木香内生真菌的分离鉴定及诱导结香作用研究 [J]. 中国现代中药, 2024, 26(2): 334-341.
- [15] 陈乐瑶,王雅丽,杨锦玲,等. 两种不同结香时间的栽培奇楠沉香化学成分研究 [J]. 中国热带农业, 2022(2): 43-49.
- [16] 和映玉,邓清月,李仙仙,等. 基于 VOSviewer 和 CiteSpace 的菟丝子知识图谱可视化分析 [J]. 中草药, 2023, 54(15): 4958-4972.
- [17] 包丽艳,李艳春. 沉香祛瘀汤治疗十二指肠壅积症 [J]. 吉林中医药, 1993(2): 15.
- [18] 李长华. 五磨饮子新用 [J]. 上海中医药杂志, 1992(5): 28-29.
- [19] 张耀祖,张杰. 含化膏治疗“梅核气” [J]. 河南中医, 1992, 12(2): 91.
- [20] 肖甜甜,钱冠名,姜儒. 沉香化滞丸国家评价性抽验微生物限度方法学适用性评价 [J]. 中成药, 2023, 45(8): 2702-2705.
- [21] 高彦全,刘卫东,梁国栋,等. 暖宫七味散中挥发性成分超临界 CO₂ 提取及定性定量研究 [J]. 中成药, 2023, 45(12): 4161-4165.
- [22] 岳栋芳,李彩霞,官敏,等. 基于网络药理学从线粒体自噬途径探讨八味沉香散抗缺血性心脏病的作用机制 [J]. 中国药理学通报, 2023, 39(10): 1957-1965.
- [23] 陈仕吉,江文森,康温和,等. 论文被引频次的影响因素研究 [J]. 情报杂志, 2020, 39(5): 83-88.
- [24] 黎多江. 海南沉香千亿级产业正在兴起 [N]. 经济参考报, 2023-02-01(006).
- [25] 张争,杨云,魏建和,等. 白木香结香机制研究进展及其防御反应诱导结香假说 [J]. 中草药, 2010, 41(1): 156-159.
- [26] Naef R. The volatile and semi-volatile constituents of agarwood, the infected heartwood of *Aquilaria* species: A review [J]. *Flavour Fragrance J*, 2011, 26(2): 73-87.
- [27] 周亚非,魏建和,孙佩文,等. 中国沉香科技创新与产业发展的现状及思考 [J]. 中国现代中药, 2017, 19(8): 1051-1056.
- [28] 黄璐琦,何春年,马培,等. 我国药食两用物品产业发展战略思考 [J]. 中国工程科学, 2022, 24(6): 81-87.

[责任编辑 潘明佳]