

基于 CiteSpace 的石斛属植物研究知识图谱可视化分析

刘 蓉^{1,4}, 李朝海^{1,4}, 尚明越^{1,4}, 王雅平¹, 周 莹², 张满常³, 李能波^{2*}, 段宝忠^{1,4*}

1. 大理大学药学院, 云南 大理 671000

2. 龙陵县石斛研究所, 云南 保山 678300

3. 保山市食品药品检验检测中心, 云南 保山 678000

4. 云南省中药资源开发利用国际联合实验室, 云南 大理 671000

摘要: 目的 基于 CiteSpace 知识图谱, 探究石斛属 *Dendrobium* 植物的研究现状和发展态势, 为未来研究拓展提供参考。方法 以石斛和 *Dendrobium* 为关键词, 检索中国知网 (CNKI) 数据库和 Web of Science (WOS) 数据库核心集并导出相关文献, 进行筛选、查重和格式转换后导出题录; 使用 CiteSpace 和 Excel 软件分别对石斛属的中文和英文文献的发文量、研究热点、合作网络等进行分析。结果 共纳入文献 8 392 篇, 其中英文文献 1 537 篇、中文文献 6 855 篇。石斛属历年发文量大体呈现上升的趋势, 共有 50 个国家参与石斛属的研究, 以中国为主。中、英文发文量最多的作者分别是郭顺星和 Luo Jianping (罗建平), 最多的机构则分别是广州中医药大学和 Chinese Academy of Sciences (中国科学院)。结论 石斛属的研究正处于上升阶段, 研究热点方向为石斛多糖、抗氧化活性、降血糖活性及其作用机制, 以及生长栽培与组织培养等。国内外研究推动了该领域的发展, 各国间的合作优势互补, 实现了石斛属植物国内外研究发展共赢。未来石斛属领域的研究重点应关注食品营养学、药理机制等领域。

关键词: 石斛属; CiteSpace; 文献计量学; 知识图谱; 可视化分析; 石斛多糖; 抗氧化活性; 降血糖活性

中图分类号: G350; R282.71 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253 - 2670(2025)11 - 4005 - 14

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2025.11.020

Visual analysis of knowledge map on *Dendrobium* genus plants research based on CiteSpace

LIU Rong^{1, 4}, LI Chaohai^{1, 4}, SHANG Mingyue^{1, 4}, WANG Yaping¹, ZHOU Ying², ZHANG Manchang³, LI Nengbo², DUAN Baozhong^{1, 4}

1. School of Pharmaceutical Science, Dali University, Dali 671000, China

2. Institute of Caulis Dendrobii Longling County, Baoshan 678300, China

3. Baoshan Food and Drug Inspection and Testing Center, Baoshan 678000, China

4. International Joint Laboratory for the Development and Utilization of Traditional Chinese Medicine Resources in Yunnan Province, Dali 671000, China

Abstract: Objective This study used CiteSpace to construct a knowledge map for exploring the current research status and development trends of the *Dendrobium* genus. The aim was to provide a reference for future research in this field. **Methods** Relevant literature on the *Dendrobium* genus was retrieved and exported using the keyword “*Dendrobium*” from the CNKI and Web of Science (WOS) core databases. The documents were then screened, deduplicated, and formatted for analysis. CiteSpace and Excel were employed to examine publication volume, research hotspots, and collaboration networks in both Chinese and English literature. **Results** A total of 8 392 documents were retrieved, including 6 855 Chinese and 1 537 English papers, showing a general increase in publications over time. Research on the *Dendrobium* genus spans fifty countries, with China as the leading contributor. The authors with the highest number of publications are Guo Shunxing in Chinese literature and Luo Jianping in English literature. The top contributing institutions are Guangzhou University of

收稿日期: 2024-10-21

基金项目: 云南省科技计划生物医药重大专项 (202302AA310029); 云南省龙陵县石斛研究所段宝忠专家基层科研工作站

作者简介: 刘 蓉 (2001—), 硕士研究生, 研究方向为中药资源与鉴定。E-mail: lr20011026@163.com

*通信作者: 李能波, 工程师, 研究方向为中药种质创新。Tel: (0875)6121060 E-mail: 1594435869@qq.com

段宝忠, 教授, 研究方向为中药资源与鉴定。Tel: (0872)2257411 E-mail: bzduan@126.com

Traditional Chinese Medicine (for Chinese studies) and the Chinese Academy of Sciences (for English studies). **Conclusion** Research on the *Dendrobium* genus is currently expanding, with key areas of focus including *Dendrobium* polysaccharides, antioxidant activity, hypoglycemic activity and its mechanisms, growth cultivation, and tissue culture. International collaboration has significantly advanced this field, with cross-border cooperation enhancing research and development of *Dendrobium* plants. Future research should emphasize the nutritional properties and pharmacological mechanisms of *Dendrobium*.

Key words: *Dendrobium* Lindl.; CiteSpace; bibliometrics; knowledge map; visual analysis; *Dendrobium* polysaccharides, antioxidant activity, hypoglycemic activity

石斛属 *Dendrobium* Lindl. 是兰科植物中较大的属之一, 我国有 74 种, 2 个变种, 主要分布于云南、贵州、广西、广东、海南和台湾等省^[1]。根据《中国药典》2020 年版记载, 石斛属植物中绝大多数物种均被视为中药“石斛”的基原, 因其珍稀及药效显著, 备受研究者和有关机构的瞩目^[2]。现代植物化学与药理学研究表明, 石斛属植物富含多糖、芪类、黄酮、生物碱、氨基酸类及微量元素等活性成分, 具有增强免疫、缓解疲劳、抗氧化和降血糖等药理作用^[3]。随着石斛市场需求量日益增长, 针对石斛属植物成分鉴定、生物活性、遗传多样性和功能基因分析等方面的研究日益增多^[2], 然而, 当前对石斛属植物研究的进展及趋势, 在可视化方面仍显不足, 尚无直观详尽的系统性阐述, 限制了对石斛属植物资源的认知和开发利用。随着石斛属植物研究的持续深入, 对其研究动态及趋势进行更深入分析, 对于掌握石斛属植物的发展前沿、推动产业发展和科技进步具有重要意义。

文献计量学是一种基于已有文献进行分析和信息挖掘的方法, 其采用数学、统计学和文献学等定量研究方法, 以文献体系和计量特征为研究对象, 对所关注学科领域文献的分布结构、数量关系和变化规律进行定量管理^[4]。目前, 已有学者对铁皮石斛和石斛属植物的研究热点及发展趋势进行了文献计量学研究^[5-7], 然而, 这些研究仅对中国知网(CNKI)的中文文献或特定时间段内的文献进行了计量分析, 尚无全面系统的关于石斛属植物中、英文文献的文献计量学研究。CiteSpace 是应用于文献计量和发展趋势展示的可视化软件, 对探索某一学科领域的研究热点与发展趋势具有重要价值^[8]。鉴于此, 本研究采用 CiteSpace(6.2.R6)软件对 CNKI 和 Web of Science (WOS) 数据库内的中、英文文献进行了归纳总结, 并对发文量, 作者、机构、国家、学科合作网络以及关键词的共现、聚类、时间线和突现进行了可视化分析; 同时绘制了石斛属植物研究领域的知识图谱, 旨在从宏观角度更全面、

系统地揭示石斛属植物的发展历程、合作网络格局、研究热点以及未来发展趋势, 为石斛属植物领域未来的研究工作提供有益参考。

1 资料与方法

1.1 数据来源

中文文献来源于 CNKI 数据库, 外文文献来源于 WOS 数据库, 发表时间无限制。在 CNKI 数据库中, 设置检索条件: 篇名=“石斛”or“*Dendrobium*”进行精确检索, 文献类型选择全部期刊; 共检索到 1956—2024 年发表的 7 036 篇文献。在 WOS 数据库中, 设置检索条件: Title=“*Dendrobium*”, 设定文献类型为 article or review; 共检索到 1912—2024 年发表的 2 037 篇文献。数据采集工作于 2024 年 6 月 16 日完成。

中文文献以“Refworks”格式导出, 内容包含文献题目、发表年份、摘要、关键词、作者、机构、期刊, 将文件命名为“download_*Dendrobium*_CNKI_txt”。英文文献以纯文本格式导出, 每条数据下载记录包含全记录与引用的参考文献, 文件命名为“download_*Dendrobium*_WOS_txt”。

1.2 纳入与排除标准

纳入与石斛属植物研究相关的学术期刊论文、硕/博士学位论文。排除重复发表文献, 网络首发、未正式出版文献, 哲学、人文科学、社会科学、经济管理、脱贫攻坚、乡村振兴领域的文献, 会议论文、成果、报纸, 以及作者或文献来源信息不全无法分析的文献。

1.3 数据处理及可视化

分别创建 input、output、data 和 project 文件夹。随后, 利用 CiteSpace(6.2.R6)软件对 CNKI 和 WOS 数据库导出的文献进行去重、格式转化及可视化分析。最终得到中文文献 6 855 篇, 英文文献 1 537 篇。时间切片(year per slice)设置为 1 年, 阈值(top N per slice)设置为 50; 节点类型(node types)包括作者、机构、国家、学科类别、关键词, 修剪方式(pruning)选择 pathfinder 和 pruning sliced

networks, 其余参数设为默认值进行可视化分析。同时, 利用 Excel 软件进行描述性统计分析。

2 结果

2.1 发文趋势

发文趋势可在一定程度上揭示某一领域研究的发展速度和演变轨迹。如图 1 所示, 石斛属植物的中、英文文献分别起始于 1956 年和 1912 年, 发文量总体呈现上升趋势。1956—2000 年, 该领域

研究处于起步阶段, 发文量相对有限; 然而, 自 2000—2017 年, 该领域的研究进入快速发展阶段; 2017 年中文发文量达到了峰值 515 篇; 2023 年英文发文量达到最高点, 为 184 篇。从总体趋势来看, 中文发文量始终高于英文发文量。近 20 年来, 尽管国外学者对石斛属植物的研究热度略低于国内, 但国外研究始终保持一定的活跃度, 显示出较高的研究兴趣。

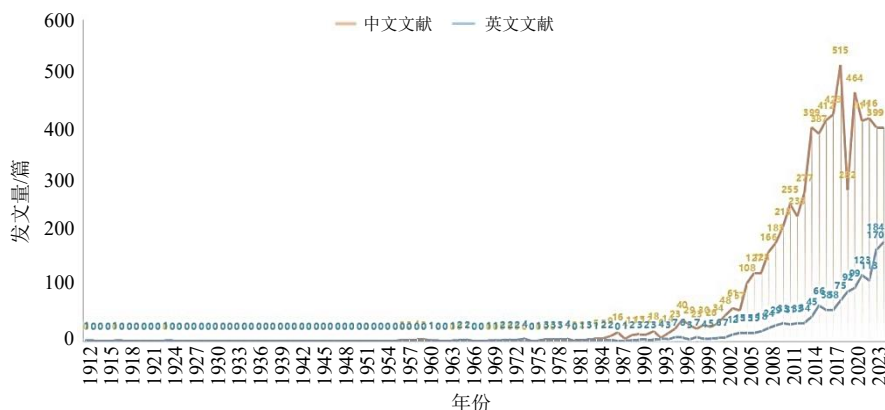


图 1 1912—2024 年石斛属植物的中、英文文献年度发文量分布

Fig. 1 Distribution of annual publication volumes of Chinese and English literature on *Dendrobium* plants from 1912 to 2024

2.2 合作网络共现分析

2.2.1 作者 作者合作网络共现图谱可精准反映作者的研究方向、学术贡献以及彼此间的协作关系, 为客观评估研究者的学术影响力提供坚实的支撑。共现图谱的每个节点代表 1 位作者, 节点和字体越大表明该作者出现的频次越高。节点之间的连线越粗表明作者间的合作关系越密切。

石斛属相关研究中、英文文献的作者合作网络如图 2 所示。中文文献共涉及 1 320 位作者, 有 1 521 条合作连线, 整体网络密度为 0.001 7。共 10 位作者

的发文量达到或超过 30 篇 (表 1), 其中有 3 位核心作者的发文量达到或超过 50 篇, 分别是郭顺星、施红和斯金平。自 1990 年起, 以郭顺星等为核心的研究团队, 以其庞大的规模, 深入开展了对石斛属植物的多维度研究。研究范围广泛, 涵盖了种子萌发^[9]、共生真菌^[10]、化学成分及药理作用^[11-12]、分子生物学^[13]和遗传育种^[14]等多个领域。施红等主要致力于石斛复方制剂^[15]与合剂^[16]的药理研究, 尤其在糖尿病领域取得了显著成果^[17]。斯金平等则聚焦于铁皮石斛的栽培^[18]、生长发育^[19]以及多糖研究^[20]等领域。

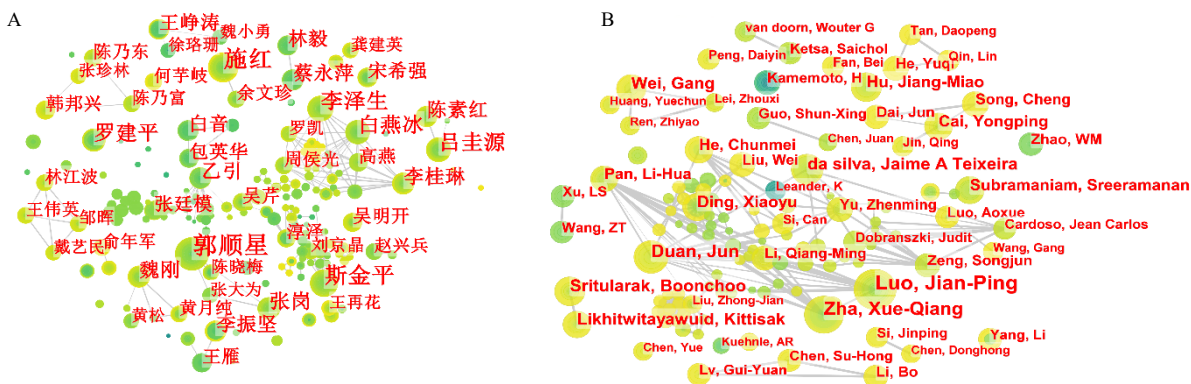


图 2 石斛属植物相关研究中文 (A) 和英文 (B) 文献作者合作网络

Fig. 2 Cooperative networks of authors of Chinese (A) and English (B) literature on *Dendrobium* plants research

表 1 石斛属植物相关研究中、英文发文量前 10 的作者
Table 1 Top 10 authors in terms of number of Chinese and English publications on *Dendrobium* plants research

序号	中文文献		英文文献	
	作者	发文量/篇	作者	发文量/篇
1	郭顺星	74	Luo Jianping	34
2	施红	61	Zha Xueqiang	25
3	斯金平	50	Duan Jun	22
4	李泽生	42	Da Silva Jaime A Teixeira	19
5	吕圭源	39	Sritularak Boonchoo	19
6	白燕冰	38	Likhitwitayawuid Kittisak	17
7	罗建平	35	Wei Gang	17
8	张岗	33	Ding Xiaoyu	16
9	乙引	32	Hu Jiangmiao	16
10	李桂琳	30	He Chunmei	15

英文文献共涉及 977 位作者，有 1 598 条合作连线，整体网络密度为 0.003 4。共有 10 位作者的发文量达到或超过 15 篇（表 1）。其中，有 3 位的发文量超过 20 篇。Luo Jianping（罗建平）以发表 34 篇文献领先，Zha Xueqiang（查学强）则以 25 篇紧随其后。查学强（Zha Xueqiang）的首次合作成果发表于 2007 年，主要聚焦于霍山石斛的多糖成分^[21]、免疫活性^[22]和原球茎样体^[23]，同时亦涉及金钗石斛多糖的少量研究^[24]。Duan Jun（段军）和 He Chunmei（何春梅）2 位学者发表文献分别达 22 和

15 篇，两团队间合作紧密，共同致力于铁皮石斛的基因组鉴定^[25]及胁迫响应机制^[26]的研究。此外，Ding Xiaoyu（丁小余）所带领的团队共发表文献 16 篇，其研究涵盖铁皮石斛的鉴定^[27]、系统发育^[28]和遗传多样性^[29]。

整体而言，结合中、英文文献的发文量，罗建平、查学强和郭顺星等发表了较多的中文和英文文献，表明这些作者较为活跃。此外，中文文献高产作者间相对独立，这一趋势可能提示当前石斛属植物研究领域的竞争格局，以及不同作者在研究领域的独特性与差异性。相比之下，英文文献高产作者之间则形成了广泛的合作网络，已形成稳定的研究团队，在各自的研究领域内均取得了较好的成果。

2.2.2 机构 机构合作网络共现图谱可反映研究领域内各机构间的合作关系、科研实力以及影响力。机构合作网络如图 3 所示，中文文献中涉及 995 个机构节点和 405 条连线，图谱密度为 0.000 8，表明尽管研究机构数量众多，但分布较为零散，机构之间合作较少。其中，仅有 10 家机构的发文量达到或超过 40 篇，占比仅为 1.00%（表 2），27 家机构的发文量在 20~40 篇，占比为 2.71%。剩余的机构发文量均不超过 20 篇，占比高达 96.30%，这进一步反映了石斛研究领域内机构分布的广泛性与分散性。发文量最高的机构是广州中医药大学，共发表 101 篇文献，紧随其后的是皖西学院和云南省德宏热带农业科学研究所，分别发表了 78 篇和 63 篇文献。

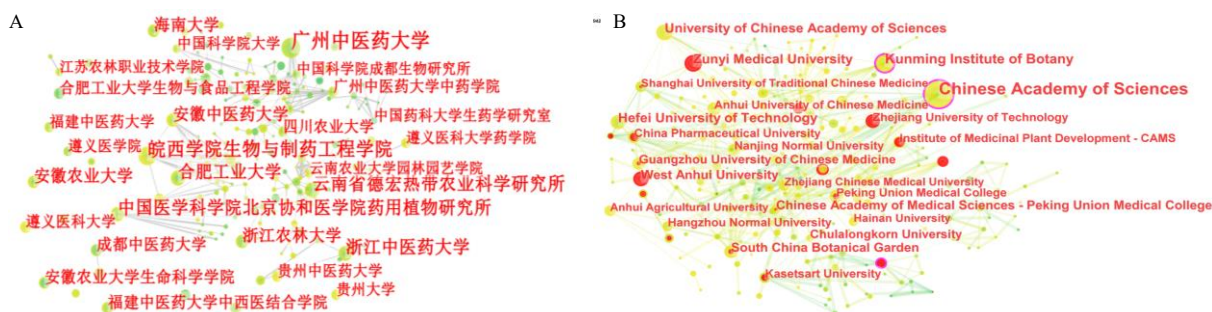


图 3 石斛属植物相关研究中文 (A) 和英文 (B) 文献机构合作网络

Fig. 3 Cooperative networks of institutions of Chinese (A) and English (B) literature on *Dendrobium* plants research

英文文献中涉及 438 个研究机构节点，形成 638 条连线，图谱密度为 0.006 7。这表明英文文献研究机构之间存在一定的合作关系，但合作不够紧密。其中，仅有 8 家机构发文量达到或超过 40 篇，占整体机构的 2.28%（表 3）。Chinese Academy of Sciences（中国科学院）以 171 篇的发文量位居榜

首，Kunming Institute of Botany（昆明植物研究所）和 Zunyi Medical University（遵义医科大学）分别以 62 篇和 54 篇的发文量紧随其后。发文量在 20~40 篇的机构有 20 家，而发文量少于 20 篇的机构则多达 410 家。

除发文量外，中介中心性是用于评估文献中网

表 2 石斛属植物研究中文文献发文量 ≥ 40 的机构

Table 2 Institutions with at least 40 publications on *Dendrobium* plants research in Chinese literature

序号	机构	发文量/篇	序号	机构	发文量/篇
1	广州中医药大学	101	5	浙江中医药大学	57
2	皖西学院	78	6	合肥工业大学	52
3	云南省德宏热带农业科学研究所	63	7	安徽农业大学	44
4	北京协和医学院药用植物研究所	59	8	浙江农林大学	42
			9	安徽中医药大学	42
			10	海南大学	40

表3 石斛属植物研究英文发文量 ≥ 40 的机构

Table 3 Institutions with at least 40 publications on *Dendrobium* plants research in English literature

序号	机构	中心性	发文章/篇
1	Chinese Academy of Sciences	0.18	171
2	Kunming Institute of Botany	0.14	62
3	Zunyi Medical University	0.03	54
4	University of Chinese Academy of Sciences	0.06	50
5	Hefei University of Technology	0.02	50
6	South China Botanical Garden	0.06	43
7	West Anhui University	0.02	40
8	Chinese Academy of Medical Sciences	0.06	40
	Peking Union Medical College		

络节点重要性的指标；中介中心性数值越高，表明与其他节点的联系越频繁，其影响力亦相应增强。一般以中介中心性 ≥ 0.1 作为评价网络节点的重要性的标准^[30]。结果显示，中国科学院昆明植物研究所的中介中心性最高，为 0.18，显示出其在石斛研究领域的重要地位和影响力。

综上所述, 石斛属植物相关研究的中、英文文献涵盖了众多研究机构, 尽管这些机构间存在一定的合作关系, 但整体而言联系尚不够紧密。因此, 未来各机构需进一步加强合作与交流, 以推动石斛

研究的深入发展与突破。

2.2.3 国家 国家合作网络共现图谱可帮助研究者理解特定研究领域内不同国家之间的合作关系，从而识别核心国家及其合作紧密度。当图谱中节点年轮圈外圈呈紫色时，表示该节点的中介中心性较高。国家合作网络如图 4 所示，共有 50 个国家参与石斛属植物的相关研究。其中，中国在该领域的研究产出占据显著优势，中介中心性高达 0.80，位居榜首。从地域分布的角度来看，石斛属植物研究的主要国家为中国，其次是泰国、美国、印度、日本和马来西亚。中国的研究频次最为突出，其他国家频次相对较低，且中介中心性亦显逊色。这一态势表明，多数国家和地区对石斛的研究尚处于初期阶段。综上，各国在石斛属植物研究领域已初步形成以中国为核心的合作网络，国家间合作趋势渐趋紧密。



图 4 国家合作网络

Fig. 4 National cooperation network

2.2.4 学科 通过对学科类别的分析,可更好地理解特定学科领域的发展脉络,识别关键的研究节点,并发现潜在的研究机遇和趋势。英文文献显示,1912—2024 年各类期刊发表的石斛属植物文献涉及广泛的学科领域,共涵盖 78 个学科类别(图 5)。其中,主要集中在植物科学、生物化学与分子生物学,以及药理学与药学等领域。这 3 个核心学科的载文量占总发文量的 59.20%,而其他学科的载文量则相对分散。

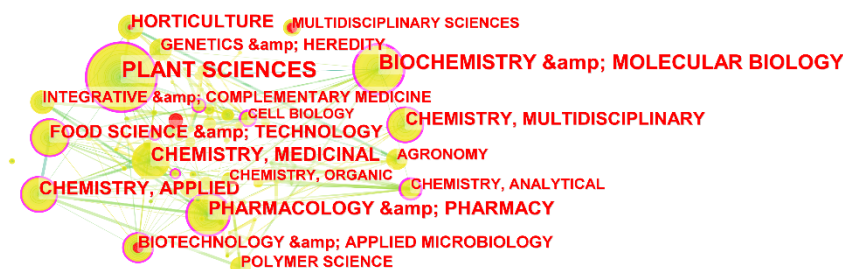


图 5 英文文献石斛属植物研究的学科分布

Fig. 5 Distribution of disciplinary categories in English literature on *Dendrobium* plants research

2.3 关键词分析

关键词是对文献主题的精炼表达，其出现频次通常与该领域的研究热点呈正相关^[31]。本研究对石斛属植物相关文献进行关键词提取，生成关键词共现、聚类、时间线和突现图谱。图中每个节点代表 1 个关键词，节点的大小反映其频次，节点间的连线表示它们的共现关系。

2.3.1 共现分析 关键词共现分析是以关键词为

网络节点，经网络构建后形成由节点和连线组成的关键词共现图谱，能够直观地反映该领域的研究主题。此外，关键词出现的频率和中介中心性是整体评价其重要性的 2 个关键指标。通过关键词的频次和中介中心性分析，可揭示该领域的研究前沿。频次越高，中介中心性越大，关键词的影响力也越大^[32]。本研究对纳入的文献进行分析，获得的关键词共现图谱见图 6，高频关键词见表 4、5。

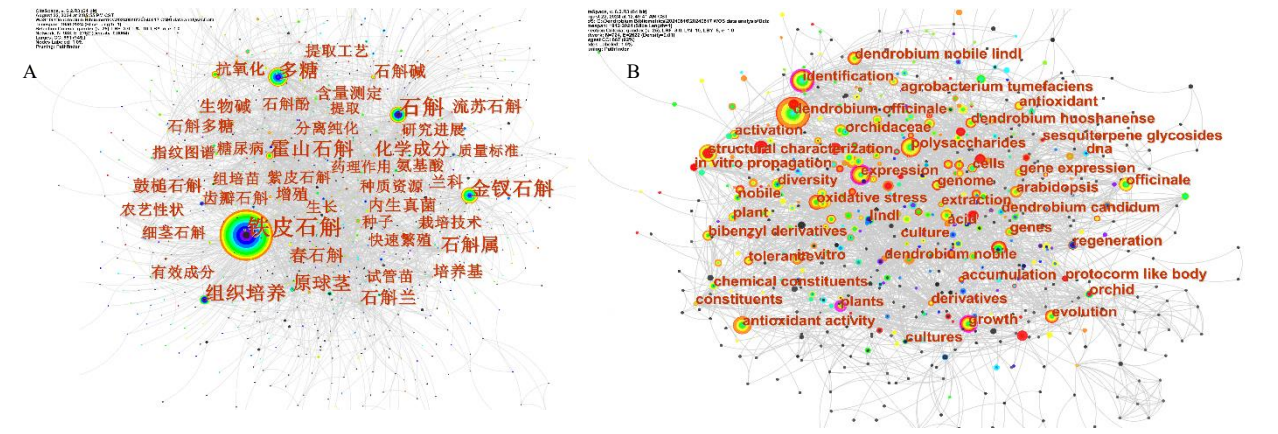


图 6 石斛属植物相关研究中文 (A) 和英文 (B) 文献关键词共现网络

Fig. 6 Co-occurrence networks of keywords in Chinese (A) and English (B) literatures related to research on *Dendrobium* plants

表 4 石斛属植物研究中文文献高频关键词 (≥100) 信息
Table 4 Information of high frequency keywords (≥ 100) in Chinese literature on *Dendrobium* plants research

序号	关键词	中介中	频次	序号	关键词	中介中	频次
1	铁皮石斛	0.47	2 495	8	化学成分	0.07	198
2	多糖	0.13	615	9	石斛属	0.12	185
3	石斛	0.37	576	10	抗氧化	0.04	121
4	金钗石斛	0.15	484	11	石斛兰	0.06	121
5	霍山石斛	0.13	372	12	石斛碱	0.05	115
6	组织培养	0.11	320	13	内生真菌	0.05	103
7	原球茎	0.08	202	14	生物碱	0.05	100

由中文关键词共现图谱可知，共有 933 个节点和 2 762 条连线，即 933 个关键词，其中词频超过 100 的有 14 个。出现频次最多的是铁皮石斛 2 495 次，且中介中心性最高 (0.47)。其他出现次数较多的关键词有多糖、石斛、金钗石斛、霍山石斛、原球茎、组织培养和化学成分等，反映了中文文献对铁皮石斛、化学成分、原球茎和组织培养等的研究热度。总体而言，中文文献中石斛属的研究热点涵盖了多个方向。

表 5 石斛属植物研究英文文献高频关键词 (≥60) 信息
Table 5 Information of high frequency keywords (≥ 60) in English literature on *Dendrobium* plants research

序号	关键词	中介中心性	频次
1	<i>Dendrobium</i>	0.06	211
2	identification	0.10	132
3	expression	0.13	115
4	growth	0.19	112
5	antioxidant activity	0.04	86
6	polysaccharides	0.03	79
7	<i>in vitro</i>	0.05	69
8	<i>Dendrobium nobile</i>	0.06	68
9	oxidative stress	0.04	60

由英文关键词共现图谱可知，共有 724 个节点和 2 622 条连线，即 724 个关键词，其中词频超过 60 的有 9 个。出现次数最多的为 *Dendrobium officinale* (铁皮石斛) (211 次)。此外，较大的节点代表关键词包括 identification (鉴定)、expression (表达)、growth (生长)、antioxidant activity (抗氧化活性) 和 polysaccharides (多糖) 等。值得注意的是，关键词“*Dendrobium officinale*”虽出现次数最多，但其中

介中心性值仅为 0.06，而关键词“growth”的中介中心性最高（0.19），体现了英文文献在铁皮石斛的生长发育等方面的研究热度较高。

2.3.2 聚类分析 关键词聚类分析能展示各聚类间的结构特征，揭示 1 个知识领域的研究主题及演变进程。本研究采用 CiteSpace 的对数似然率（log-likelihood rate, LLR）算法对关键词进行聚类分析，聚类编号越小，表明该聚类下的文献研究规模越大，研究热度越高。共得到中文文献包含 933 个节点、2 762 条连线和英文文献包含 724 个节点、2 622 条连线的聚类图谱（图 7）。从图中可见，中、英文文献的聚类模块（ Q ）值分别为 0.505 6 和 0.560 5，均大于 0.3，表明聚类效果显著。此外，平均轮廓值

分别为 0.811 9 和 0.666 2，均大于 0.7，提示结果可信^[33]。中、英文文献不同簇团之间相互交错，各关键词间存在一定联系，但也存在一定差异。聚类模块的标签内容见表 6、7。结果显示中文文献研究的热点为#0 多糖、#1 化学成分、#2 组织培养、#3 铁皮石斛、#4 石斛、#5 石斛合剂、#6 霍山石斛、#7 生长、#8 基因克隆和#9 金钗石斛；而英文文献的研究的重点为#0 gut microbiota、#1 in vitro propagation、#2 genome-wide identification、#3 comparative analysis、#4 protective effect、#5 mediated transformation、#6 cold stress、#7 pompadour flower、#8 *Dendrobium candidum*、#9 occurring bibenzyl compound。

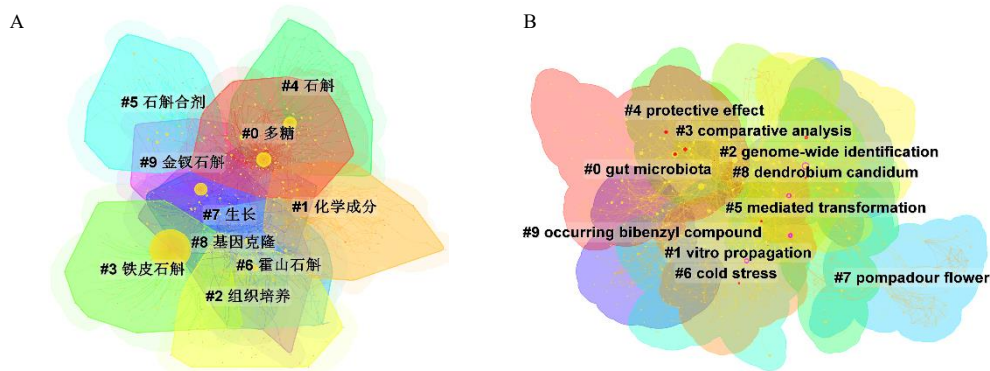


图 7 石斛属植物相关研究中文 (A) 和英文 (B) 文献关键词聚类网络

Fig. 7 Clustering network of keywords in Chinese (A) and English (B) literature on *Dendrobium* plants research

表 6 石斛属植物研究中文文献关键词聚类标签

Table 6 Keyword clustering labels of Chinese literature on *Dendrobium* plants research

聚类 ID	主要关键词 (LLR)
#0 多糖	氨基酸、增值倍数、结构鉴定、降血糖、抗炎
#1 化学成分	相互作用、报春石斛、挥发油、混淆品、毒理学
#2 组织培养	无性繁殖、植物激素、壮苗生根、正交设计、萌发率
#3 铁皮石斛	不同生境、免疫反应、细胞分裂、种质、肠道菌群
#4 石斛	土壤、生长抑素、分离鉴定、产业、固相萃取
#5 石斛合剂	免疫功能、大鼠模型、肿瘤、细胞凋亡、炎症反应
#6 霍山石斛	养阴生津、发育状况、共生萌发、理化性质、共生关系
#7 生长	栽培方式、代谢组学、活性成分、品质、组培苗
#8 基因克隆	基因、表达分子、毛兰素、细胞培养、序列分析
#9 金钗石斛	栽培条件、精油、马鞭石斛、临床应用、附生基质

2.3.3 时间线分析 对关键词的时间线分析有助于了解该领域的演化情况并把握研究趋势^[4]。在关键词聚类图谱基础上，进行时间线视图分析（图 8）。X 轴为聚类中关键词的出现年份，Y 轴为各关

键词的聚类标签，能体现某一聚类的重要程度及分布时间跨度。关键词数量越多，聚类领域越重要；时间跨度越长，聚类中的研究领域越早、持续性也越长^[34]。

在中文文献时间线视图中，多糖（#0）和化学成分（#1）涵盖的关键词较多，在石斛研究中的重要地位；此外，多糖（#0）和金钗石斛（#9）的时间跨度从 1954 年至今，是该领域内持续的热点。在英文文献聚类中，gut microbiota（#0）、in vitro propagation（#1）涵盖的关键词较多，是比较热点的研究内容；另外，in vitro propagation（#1）和 pompadour flower（#7）出现较早且持续至今。关键词时间线分析表明，近年来石斛的研究主要集中于多糖，特别是结构特征和药理活性。从时间跨度来看，石斛属植物的活性成分、基因表达和生长发育仍是未来研究的重点。

2.3.4 突现分析 通过对关键词突发性探测可明确某一时间段内的研究重点与热点及研究主题的

表 7 石斛属植物研究英文文献关键词聚类标签

聚类 ID	主要关键词 (LLR)
#0 gut microbiota	<i>Dendrobium officinale</i> polysaccharide, immunomodulatory activity, antioxidant activity, antitumor activity, structural characterization
#1 in vitro propagation	<i>Dendrobium aphyllum</i> , <i>Dendrobium nobile</i> , protocorm-like bodies, regeneration, mycorrhizal fungi
#2 genome-wide identification	protein, gene expression, molecular authentication, expression profiles
#3 comparative analysis	identification, biosynthesis, arabidopsis, <i>Dendrobium officinale</i> , expression analysis
#4 protective effect	antioxidant, <i>Dendrobium officinale</i> , polysaccharides, diversity, extraction, disease
#5 mediated transformation	cells, plants, expression, genetic transformation, evolution, pathway
#6 cold stress	growth, leaves, anatomy, alkaloids, plant, flavonoids, <i>Denarobium catenatum</i>
#7 pompadour flower	orchid flowers, bacteria, ethylene production, genes, functional analysis
#8 <i>Dendrobium candidum</i>	differentiation, cold acclimation, cancer cells, flavonoid biosynthesis, endophy fungi
#9 occurring bibenzyl compound	phenanthrene, <i>Dendrobium nobile</i> , cytotoxic activity, performance liquid chromatography, antimetastatic activity

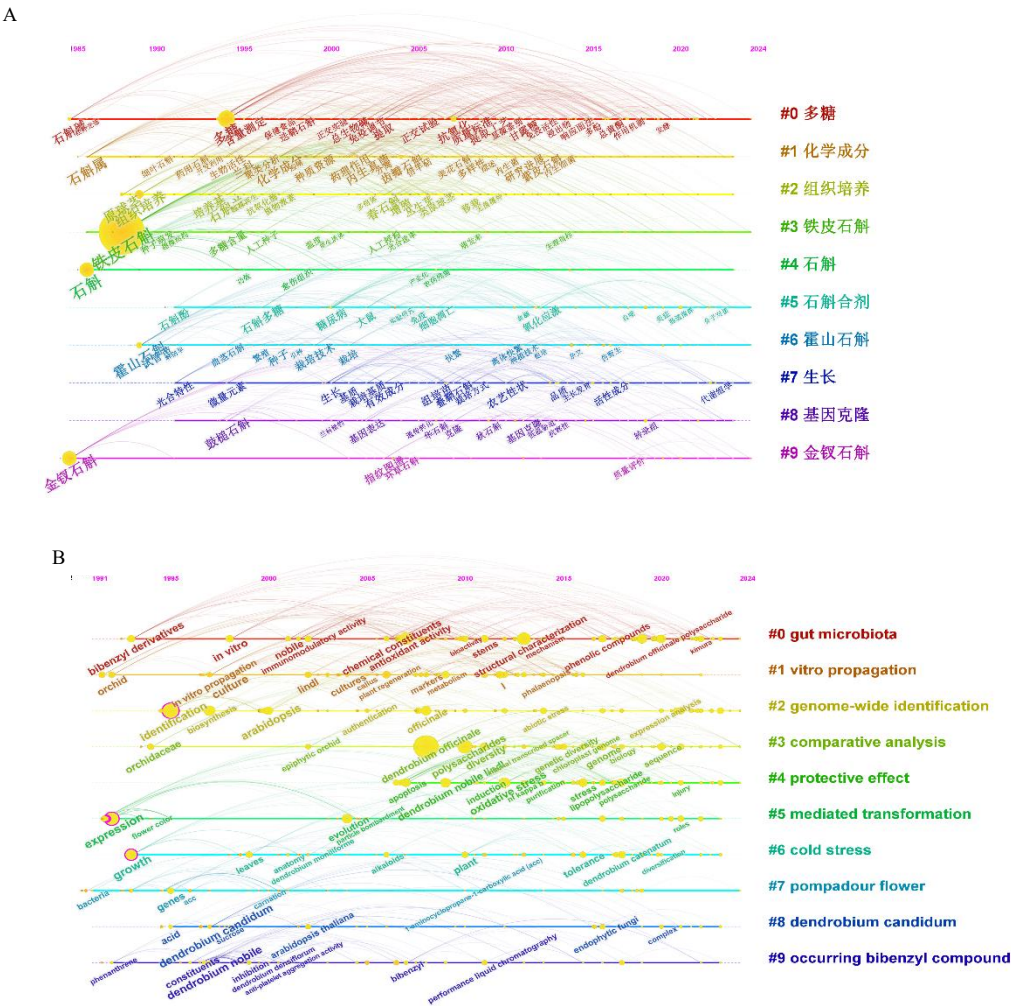


图 8 石斛属植物相关研究中文 (A) 和英文 (B) 文献关键词时间线图

Fig. 8 Timeline diagram of keywords in Chinese (A) and English (B) literature on *Dendrobium* plants research

分布及演化。突现图中，“begin”和“end”分别表示突变的开始和结束时间，“strength”表示突变强度，

强度越高则关键词在突变时间段的影响力越大^[35]。中、英文文献各得到 25 和 18 个突现词（图 9）。

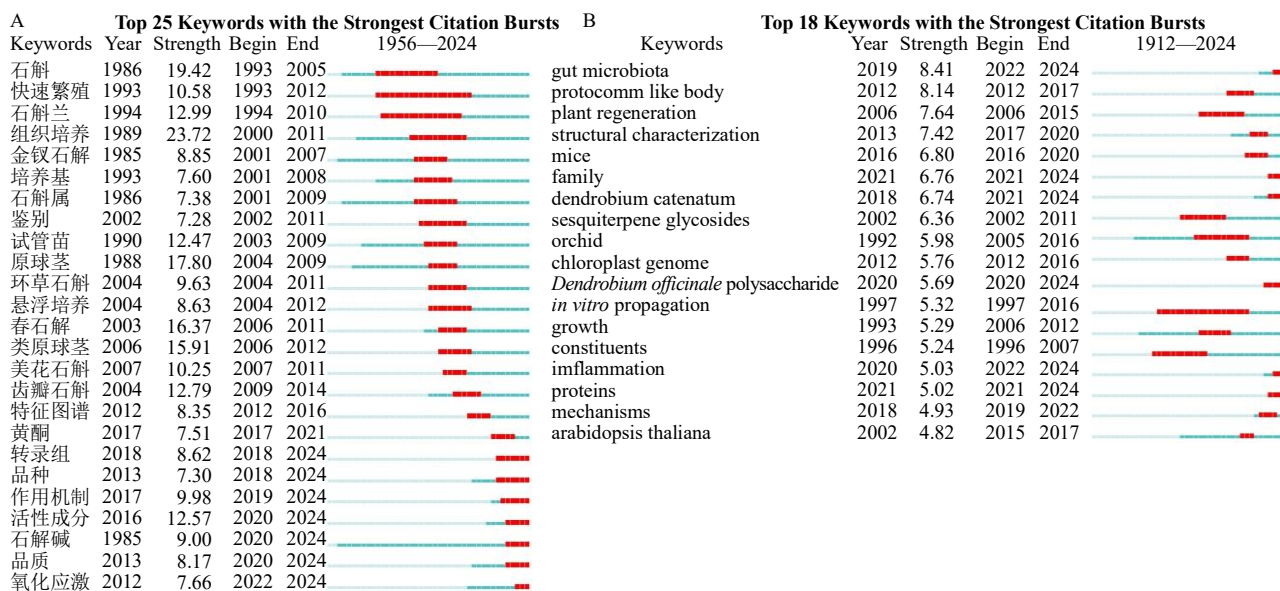


图 9 石斛属植物相关研究中文 (A) 和英文 (B) 文献关键词突现分析

Fig. 9 Emergence analysis of keywords in Chinese (A) and English (B) literature on *Dendrobium* plants research

中、英文文献研究大致可分为 3 个阶段。中文文献中，1956—2000 年为石斛研究的初始阶段，该阶段关键词数量较少，热点关键词为“快速繁殖”“石斛兰”和“组织培养”，其出现频次排名靠前且突现强度较高，表明这一时期研究学者主要关注石斛属植物的繁殖与组织培养；2000—2010 年是研究的快速发展阶段，热点关键词包括“金钗石斛”“培养基”“石斛属”“鉴别”和“原球茎”等，其中，“原球茎”突现强度较高，表明这一阶段主要研究石斛属植物的培养、鉴别和原球茎；2010—2024 年，关键词集中在“活性成分”“特征图谱”“氧化应激”和“作用机制”等，表明这一阶段主要关注石斛属植物的化学成分、抗氧化活性及作用机制。

英文文献中，1912—2012 年热点关键词包括“constituents”“in vitro propagation”“growth”“protocorm like body”和“orchid”等。其中“growth”和“protocorm like body”的出现提示石斛属植物在原球茎样体和生长发育方面成为研究热点，这一阶段大多数文献围绕石斛属植物的化学成分及繁殖发育展开；2012—2020 年，关键词主要集中在“mice”“structural characterization”“chloroplast genome”和“mechamisms”，反映了石斛属植物在叶绿体基因组、结构及机制研究方面逐渐受到广大学者的重视。2020—2024 年，关键词主要集中在“*Dendrobium*

officinale polysaccharide”“*Dendrobium catenatum*”“family”“gut microbiota”，表明铁皮石斛调节肠道菌群可能成为未来一段时间的研究热点。

3 讨论

3.1 核心作者及机构

基于 CNKI 和 WOS 数据库的石斛属植物研究的核心作者发文及合作网络分析显示，中文文献高产作者之间表现出相对独立的研究态势；英文文献高产作者虽然形成了一定的研究团队，但尚未形成稳定的核心作者群。中文文献作者合作网络显示，以郭顺星、施红和斯金平等为代表的 3 个研究团队在这一领域内的研究呈现明显的独立性，未开展深入合作。发文量最高的郭顺星及其团队虽然在《中国药理学杂志》和《微生物通报》等权威期刊上发表了关于石斛化学成分及内生真菌等方面的研究成果^[36-38]，但与其他团队的合作相对较少。此外，英文文献作者合作网络显示，已形成以 Luo Jianpin（罗建平）和 Zha Xueqiang（查学强）为核心的研究团队，团队之间存在一定的合作关系，主要聚焦于铁皮石斛的甘露糖生物合成^[39]、基因组鉴定^[25]、生物胁迫^[40]等方面的研究，但尚未形成稳定的核心作者群。

基于 CNKI 和 WOS 数据库的石斛属植物研究机构合作网络显示，尽管已形成一定的核心研究机

构,但跨机构和跨国家的合作略显不足。根据 CNKI 中 1951—2016 年的数据显示,广州中医药大学、浙江农林大学和安徽农业大学是石斛属植物发文量排名前 3 的机构^[6]。而本研究基于 CNKI 中 1956—2024 年的分析显示,广州中医药大学、皖西学院和云南省德宏热带农业科学研究所是发文量排名前 3 的机构,广州中医药大学在该领域的研究表现突出,主要聚焦于铁皮石斛和霍山石斛的特征图谱^[41-42]和储藏^[43],皖西学院和云南省德宏热带农业科学研究所是石斛属植物研究领域的关注度和影响力不断扩大。基于 WOS 的分析显示,中国科学院昆明植物研究所和遵义医科大学等在石斛属植物研究领域具有一定的国际影响力,主要关注石斛属植物的有效成分^[44]、叶绿体基因组^[45]等。综上,石斛属植物研究领域已取得一定进展,但作者之间的合作、跨机构与跨国合作仍需加强,以推动该领域的持续发展和国际竞争力提升。石斛属植物研究领域的中、英文核心机构分别是广州中医药大学和中国科学院昆明植物研究所。

3.2 关键词及热点最新进展

3.2.1 关键词分析 本研究基于 CiteSpace 软件对石斛属植物研究的中、英文文献关键词进行可视化分析,并以挖掘该领域的研究热点。中文文献关键词分析显示,研究主要集中在石斛属植物的多糖、药理活性及机制、生长栽培及组织培养等方面;热门物种为铁皮石斛、霍山石斛和金钗石斛。李石荣等的可视化分析研究显示热点主要集中在 DNA 指纹图谱、多糖、品种及培育等方面^[7],这可能是由于检索策略和可视化分析不同。值得注意的是,多糖作为石斛属植物中的关键活性成分之一,因其在调节氧化应激^[46]、降低血糖^[47]、增强免疫功能^[48-49]、提升肠道菌群多样性和维持肠道稳态^[50]等方面的作用,已成为众多学者关注的热点。此外,英文文献关键词分析显示,研究偏向于石斛属植物的成分鉴定、基因表达、生长发育和药理活性及其机制,尤其是多糖的抗氧化和降血糖活性。高频关键词主要是 *Dendrobium officinale* (铁皮石斛)、identification (鉴定)、expression (表达)、growth (生长发育)、antioxidant activity (抗氧化活性)和 polysaccharides (多糖)等。

综上所述,国内外关于石斛属植物的研究主要集中于活性成分、药理活性及作用机制。其中,石斛多糖、抗氧化活性、降血糖活性及其作用机制,

以及生长栽培与组织培养等,都是国内外共同关注的热点。同时,铁皮石斛是中、英文文献中共同关注的研究物种。然而,相较于铁皮石斛,其他石斛属植物的文献报道相对较少。在未来的研究中,应进一步加强对资源相对丰富的石斛属植物的化学成分、药理作用及分子机制等方面的深入研究,以推动石斛属植物在医药和保健等领域的广泛应用。

3.2.2 研究热点的最新进展

(1) 石斛多糖: 石斛多糖是石斛属植物研究的热点和前沿领域,目前已从石斛属植物中分离到 110 多种多糖^[51]。20 世纪 80 年代主要集中于多糖的含量测定研究^[52]。近 20 年,中文文献主要集中在多糖提取分离方法的改进和纯化及鉴定,英文文献则主要集中在石斛多糖纯化、结构特征解析以及药理活性的研究,尤其是免疫调节、抗氧化、抗炎和抗肿瘤等活性领域研究较多。然而,目前对于石斛多糖的开发还处于较低水平,仅限于对其初级结构的研究,未来可深入研究石斛多糖的有效提取和分离纯化,提高石斛多糖的含量与纯度,阐明石斛多糖的化学结构,为其更多的药理活性研究和产品开发奠定基础^[53]。

(2) 抗氧化活性: 抗氧化活性及其机制研究是石斛属植物的研究热点。目前,国内外已报道具抗氧化活性的石斛有 31 种^[54],其提取物具有显著的清除 DPPH 自由基、ABTS 自由基、羟基自由基的能力,可作为食品或医药工业中潜在的天然抗氧化剂^[55-56]。石斛属植物发挥抗氧化活性的作用机制主要包括抑制氧化酶活性^[57]、调节细胞内抗氧化酶的表达^[58]、改善氧化应激损伤^[59]、与金属离子发生螯合作用^[60]以及调控丝裂原活化蛋白激酶 (mitogen-activated protein kinase, MAPK) 通路^[61]等。尽管现有的研究已取得了一定的进展,然而,对于不同石斛属植物中提取物的具体作用机制及其在生物体内的利用情况,仍需进一步深入探索与研究。

(3) 降血糖活性: 石斛属植物的降血糖活性及其作用机制是当前研究的热点之一。目前,已有 10 余种石斛属植物被证实具有治疗糖尿病的效用^[62]。这些植物展现出显著的降血糖作用,在抗糖尿病药物及功能产品的研发领域具有巨大的开发潜力^[63]。其降血糖机制涉及多个方面,包括改善糖脂代谢^[64]、胰岛 β 细胞功能^[65]、胰岛素抵抗^[66]、氧化应激反应^[62]、抑制炎症反应^[67]和调节肠道菌群^[68-69]等。尽管已有研究证实了石斛属植物在抗糖尿病方面具

有良好活性,但仍需从多个角度、多个层面进一步深入探索其物质基础及作用机制。

(4) 生长栽培及组织培养:石斛属植物生长条件特殊,分布受限,自然繁殖率极低,生长缓慢。加之多年过度采挖,野生资源急剧减少,因此其生长栽培及组织培养成为众多学者关注的热点^[70]。目前,该属植物的繁育技术主要包括分株繁殖、扦插繁殖、组织培养、种子繁殖和原球茎繁殖等多种方式^[71]。同时,存在模拟生境栽培(如附生于树干、岩石上或遮阴棚内种植)、林下栽培和苗床架空栽培 3 种规模化栽培模式,这些模式各具特色与优势。种植户需根据地域特点因地制宜地选择栽培和管理方法,以提升产量和优化药材品质^[72-73]。在国内,相较于其他植物,石斛属植物的组织培养研究起步较晚,目前主要聚焦于解决组培苗的栽培难题;而国外则更关注观赏石斛,重点研究组织培养条件的优化问题^[74]。然而,至今石斛属植物在生长栽培与组织培养方面仍面临诸多挑战,如技术研发进展缓慢、优良品种选育和推广工作滞后,以及黑斑病和炭疽病等病害防治技术和药物的缺乏^[75-76]。因此,加强种质资源保护,并重视生长繁殖培养技术的深入研究,对于实现石斛属植物资源的有效保护和可持续开发利用具有重大意义。

3.3 研究的不足

近年来,石斛属植物的研究取得了持续的发展与进步,但仍存在诸多不足,亟待改进与提升。具体而言:(1) 尽管石斛属植物研究的发文量总体上呈现出上升态势,但近年来增速明显放缓,提示该属植物研究热度有所减弱。(2) 国内外各研究机构之间的合作尚显不足,缺乏中心性高的作者,各类学术平台和资源未能充分共享,一定程度上阻碍了石斛属植物研究的深入。(3) 目前发表的文献被高水平期刊收录的数量较少,行业影响力相对较低,国际影响力略显不足,一定程度上制约了石斛属植物研究成果的传播和应用。(4) 尽管在石斛属植物化学成分的发现及药理活性的研究方面取得了一定进展,但相关产品的转化方面较为薄弱,相关研究与实际应用价值的结合程度有待提高。(5) 石斛属植物的分子生物学研究起步较晚,虽然花色、花发育、抗逆等关键基因研究方面已取得了一定进展,但在优良种质资源选育及药效分子机制的研究尚显薄弱,需进一步深入探索。

此外,相较于传统的研究方法,CiteSpace 分析

具备显著优势,能够直观地呈现领域内的研究内容与热点,并具备预测未来研究趋势的能力,为石斛属植物的研究与发展提供了全面的科学支撑。然而,需要注意的是,当前的数据主要来源于 CNKI 和 WOS 数据库,一定程度上限制了分析的广度和深度。此外,在数据处理过程中,需人工剔除不相关的文献,这一步骤可能会对分析结果的客观性产生一定影响。

4 结论

本研究运用文献计量软件 CiteSpace,对 CNKI 和 WOS 数据库中石斛属植物研究的相关文献进行了可视化分析。分别从发文趋势、作者合作、机构合作以及关键词分析等方面绘制知识图谱,展示了该领域的研究进展,分析当前研究现状,并对未来发展进行了预测,为石斛属植物的深入研究和产业化应用提供了有益的参考。中文文献关键词共现分析显示,“铁皮石斛”和“多糖”是近年来国内该属植物研究的关键。英文文献共现分析显示“*Dendrobium officinale*”“identification”“growth”以及“expression”等是近年来国外研究的关键。石斛属植物研究的热点包括石斛多糖、抗氧化活性、降血糖活性及其作用机制,以及生长栽培与组织培养等方面;研究的重点是探讨石斛属植物的有效成分,尤其是多糖的药理作用机制。国内外研究极大地推动了该领域的发展,各国间的合作优势互补,实现了该属植物国内外研究的发展共赢。加强机构间合作、促进资源共享,以及培养和引进更多高水平研究人才以关注石斛研究,是推动该领域研究进步的有效措施。此外,石斛作为药食两用植物,在食品营养学、糖尿病等领域的药理学分子机制研究正逐渐成为未来研究热点,也为未来石斛属植物的研究提供了方向。如何将石斛属植物已知和未知的药理活性应用于临床,并推动其资源的开发利用,是未来值得关注的重点。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 李孟凯,余应鹏,王伟,等. 中国石斛属(兰科)植物新资料[J]. 广西植物, 2024, 44(5): 1003-1006.
- [2] 胡杨,赵勉,邱雨轩,等. 药食同源中药铁皮石斛的研究进展[J]. 南京中医药大学学报, 2024, 40(1): 94-108.
- [3] 谭丽春,李征,杨继勇,等. 石斛属植物的化学成分及药理作用研究进展[J]. 山东化工, 2023, 52(1): 74-76.
- [4] 郭芳琪. 前瞻性科学前沿的界定与识别指标的文献计量研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2018.

- [5] 孙人杰, 何琴, 吴德智. 基于 CiteSpace 知识图谱及专利计量对铁皮石斛相关研究的可视化分析 [J]. 食品工业科技, 2023, 44(20): 322-330.
- [6] 吕朝燕, 彭新华, 郑城钦, 等. 基于文献计量的石斛属植物研究进展分析 [J]. 南方农业, 2017, 11(15): 45-46.
- [7] 李石荣, 符茂胜, 周先存, 等. 基于知识图谱的石斛研究可视化分析与构建 [J]. 西南师范大学学报: 自然科学版, 2022, 47(6): 84-96.
- [8] 刘晓爽, 唐占明, 李慧君, 等. 基于 CiteSpace 的陈皮知识图谱可视化分析 [J]. 中草药, 2024, 55(14): 4836-4848.
- [9] 陈彤垚, 陈晓梅, 杨建文, 等. 胶膜菌属真菌 S7 糖类成分对铁皮石斛种子萌发的影响 [J]. 中国药学杂志, 2024, 59(7): 579-588.
- [10] 高越, 郭顺星, 邢晓科. 兰科植物种子共生萌发真菌多样性及共生萌发机制研究进展 [J]. 菌物学报, 2019, 38(11): 1808-1825.
- [11] 孟志霞, 董海玲, 王春兰, 等. 齿瓣石斛化学成分研究 [J]. 中国药学杂志, 2013, 48(11): 855-859.
- [12] 王春兰, 陈晓梅, 郭顺星, 等. 石斛小菇的药理活性研究 [J]. 微生物学通报, 2001, 28(2): 73-76.
- [13] 李清, 李标, 郭顺星. 兰科石斛属植物分子生物学研究进展 [J]. 中国中药杂志, 2016, 41(15): 2753-2761.
- [14] 陈晓梅, 田丽霞, 单婷婷, 等. 铁皮石斛种质资源和遗传育种研究进展 [J]. 药学报, 2018, 53(9): 1493-1503.
- [15] 施红, 林智诚, 张学敏, 等. 石斛复方制剂对小鼠腹腔巨噬细胞吞噬功能的作用 [J]. 福建中医学院学报, 1998, 8(3): 34-36.
- [16] 施红, 林求诚, 陈国强, 等. 石斛合剂对 2 型糖尿病的临床疗效观察 [J]. 中药新药与临床药理, 2002, 13(6): 348-350.
- [17] 邹玉卿, 施红, 刘欣, 等. 基于 NF- κ B/NLRP3/IL-1 β 信号通路探讨石斛合剂对糖尿病伴非酒精性脂肪性肝病大鼠细胞炎症反应及凋亡的作用 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(18): 78-86.
- [18] 斯金平, 诸燕, 朱玉球. 铁皮石斛人工栽培技术研究与应用进展 [J]. 浙江林业科技, 2009, 29(6): 66-70.
- [19] 陈凯, 王灏, 陈焱婷, 等. 铁皮石斛 WOX 家族基因在生长发育中的功能分析 [J]. 遗传, 2023, 45(8): 700-714.
- [20] 李娅, 刘京晶, 张新风, 等. 铁皮石斛非淀粉多糖含量测定方法的研究 [J]. 中国中药杂志, 2019, 44(15): 3221-3225.
- [21] Zha X Q, Zhao H W, Bansal V, et al. Immunoregulatory activities of *Dendrobium huoshanense* polysaccharides in mouse intestine, spleen and liver [J]. *Int J Biol Macromol*, 2014, 64: 377-382.
- [22] Zha X Q, Luo J P, Jiang S T. Induction of immunomodulating cytokines by polysaccharides from *Dendrobium huoshanense* [J]. *Pharm Biol*, 2007, 45(1): 71-76.
- [23] Li F, Cui S H, Zha X Q, et al. Structure and bioactivity of a polysaccharide extracted from protocorm-like bodies of *Dendrobium huoshanense* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2015, 72: 664-672.
- [24] Wang J H, Zhang Y D, Luo J P. Structure elucidation of a pectin from *Dendrobium nobile* Lindl. and its immunological activity [J]. *Biotechnol Biotechnol Equip*, 2018, 32(3): 744-750.
- [25] Si C, Zeng D Q, da Silva J A T, et al. Genome-wide identification of Aux/IAA and ARF gene families reveal their potential roles in flower opening of *Dendrobium officinale* [J]. *BMC Genomics*, 2023, 24(1): 199.
- [26] Zhang M Z, Yu Z M, Zeng D Q, et al. Transcriptome and metabolome reveal salt-stress responses of leaf tissues from *Dendrobium officinale* [J]. *Biomolecules*, 2021, 11(5): 736.
- [27] Zhu S Y, Niu Z T, Xue Q Y, et al. Accurate authentication of *Dendrobium officinale* and its closely related species by comparative analysis of complete plastomes [J]. *Acta Pharm Sin B*, 2018, 8(6): 969-980.
- [28] Wang M T, Yu W H, Yang J P, et al. Mitochondrial genome comparison and phylogenetic analysis of *Dendrobium* (Orchidaceae) based on whole mitogenomes [J]. *BMC Plant Biol*, 2023, 23(1): 586.
- [29] Ding B Z, Zhang B H, Li C, et al. Target region amplification polymorphism (TRAP) for assessing genetic diversity and relationships among cultivated populations of *Dendrobium officinale* [J]. *J Biobased Mat Bioenergy*, 2020, 14(5): 624-631.
- [30] 李杰, 陈超美. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化 [M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2016: 66-116.
- [31] 张芳, 吴昌键, 张霞, 等. 基于 Web of Science 文献计量分析的宁夏枸杞研究现状和发展态势 [J]. 中草药, 2022, 53(16): 5128-5141.
- [32] 陈定芳, 吴月峰, 李海英, 等. 基于 CiteSpace 文献计量法的中西医治疗痉挛型脑瘫文献可视化图谱分析 [J]. 中草药, 2021, 52(14): 4318-4326.
- [33] Chen C M. Searching for intellectual turning points: Progressive knowledge domain visualization [J]. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2004, 101(Suppl 1): 5303-5310.
- [34] 刘成娟, 黄盛洁, 杜瑞姣, 等. 基于 CiteSpace 对红景天研究进展的可视化分析 [J]. 中南药学, 2022, 20(5): 1192-1197.

- [35] 安笑叶, 巨珊珊, 丁雪丽, 等. 基于 CiteSpace 知识图谱对外泌体在中医药研究应用现状的可视化分析 [J]. 中国中药杂志, 2022, 47(15): 4177-4182.
- [36] 邢咏梅, 李向东, 李莉, 等. 木霉属真菌拮抗金钗石斛病原菌的研究 [J]. 中国医药生物技术, 2017, 12(1): 35-39.
- [37] 崔晋龙, 王云强, 邢咏梅, 等. 中国西南 7 种石斛植物活性内生真菌及其遗传关系 [J]. 中国中药杂志, 2012, 37(6): 764-770.
- [38] 李燕, 王春兰, 王芳菲, 等. 铁皮石斛中的酚酸类及二氢黄酮类成分 [J]. 中国药学杂志, 2010, 45(13): 975-979.
- [39] He C M, Wu K L, Zhang J X, *et al.* Cytochemical localization of polysaccharides in *Dendrobium officinale* and the involvement of *DoCSLA6* in the synthesis of mannan polysaccharides [J]. *Front Plant Sci*, 2017, 8: 173.
- [40] Yu Z M, He C M, Teixeira da Silva J A, *et al.* Molecular cloning and functional analysis of DoUGE related to water-soluble polysaccharides from *Dendrobium officinale* with enhanced abiotic stress tolerance [J]. *Plant Cell Tissue Organ Cult PCTOC*, 2017, 131(3): 579-599.
- [41] 魏刚, 顺庆生, 戴亚峰, 等. 霍山石斛 HPLC 特征图谱研究 [J]. 中成药, 2014, 36(12): 2642-2644.
- [42] 梁芷韵, 谢镇山, 黄月纯, 等. 铁皮石斛黄酮苷类成分 HPLC 特征图谱优化及不同种源特征性分析 [J]. 中国实验方剂学杂志, 2019, 25(1): 22-28.
- [43] 戴亚峰, 胡莉, 王诗文, 等. 不同贮藏年份霍山石斛枫斗质量分析 [J]. 广州中医药大学学报, 2022, 39(9): 2141-2147.
- [44] Yang D, Liu L Y, Cheng Z Q, *et al.* Five new phenolic compounds from *Dendrobium aphyllum* [J]. *Fitoterapia*, 2015, 100: 11-18.
- [45] Zhang J, Li C R, Luo Y, *et al.* The complete chloroplast genome sequence of *Dendrobium chrysorepis* (Orchidaceae) [J]. *Mitochondrial DNA Part B*, 2020, 5(2): 1882-1883.
- [46] 刘克建, 屈琦超. 铁皮石斛叶多糖理化性质与抗氧化活性研究 [J]. 食品科技, 2024, 49(6): 223-230.
- [47] 崔胜文, 罗双群. 霍山石斛多糖的闪式提取工艺优化及降血糖作用研究 [J]. 食品安全质量检测学报, 2023, 14(4): 305-313.
- [48] 蔡体育, 刘庆伦, 李端, 等. 石斛多糖对 T 细胞巨噬细胞活性的影响 [J]. 中山医科大学学报, 1989, 10(2): 66-67.
- [49] 黄民权, 蔡体育, 刘庆伦. 铁皮石斛多糖对小白鼠白细胞数和淋巴细胞移动抑制因子的影响 [J]. 天然产物研究与开发, 1996, 8(3): 39-41.
- [50] 谢果珍, 唐圆, 宁晓妹, 等. 铁皮石斛多糖对正常小鼠肠道菌群的影响 [J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2021, 47(4): 449-454.
- [51] 万正辉, 黄金文, 吴范宏, 等. 石斛属植物化学成分研究概况 [J]. 化学研究, 2020, 31(2): 163-170.
- [52] 李满飞, 平田义正. 中药石斛类多糖的含量测定 [J]. 中草药, 1990, 21(10): 10-12.
- [53] 江英杰, 李明昊, 罗开沛, 等. 石斛多糖的药理作用及现代应用进展 [J]. 中药与临床, 2024, 15(1): 97-102.
- [54] 侯帆, 邓晓东, 钟燕岭, 等. 石斛抗氧化活性研究进展 [J]. 天然产物研究与开发, 2021, 33(2): 322-330.
- [55] Fan H R, Meng Q R, Xiao T C, *et al.* Partial characterization and antioxidant activities of polysaccharides sequentially extracted from *Dendrobium officinale* [J]. *J Food Meas Charact*, 2018, 12(2): 1054-1064.
- [56] 刘根梅, 古翠婷, 麦汉铨, 等. 铁皮石斛多糖的提取工艺优化及抗氧化性研究 [J]. 食品工业, 2024, 45(4): 108-113.
- [57] 王林青, 宁灿灿, 李蕊, 等. 铁皮石斛多糖超声-微波协同提取条件优化及其抗氧化活性 [J]. 食品研究与开发, 2023, 44(11): 13-20.
- [58] 万代林, 李秀芳, 李强明, 等. 流苏石斛多糖抗氧化活性研究 [J]. 合肥工业大学学报: 自然科学版, 2020, 43(12): 1694-1698.
- [59] 凌楠, 罗春风, 高崇斌, 等. 广西产铁皮石斛花提取物的细胞毒性及体外抗氧化活性研究 [J]. 中国食品添加剂, 2023, 34(5): 141-148.
- [60] 何晓云, 徐素素, 熊文艳, 等. 鼓槌石斛花的食用价值和抗氧化活性研究 [J]. 食品安全导刊, 2024(5): 66-70.
- [61] Kim S, Jo K, Byun B S, *et al.* Chemical and biological properties of puffed *Dendrobium officinale* extracts: Evaluation of antioxidant and anti-fatigue activities [J]. *J Funct Foods*, 2020, 73: 104144.
- [62] 周忠瑜, 蒲婷婷, 张蕾, 等. 石斛属植物抗糖尿病本草学、物质基础及作用机制研究进展 [J]. 中草药, 2022, 53(18): 5934-5944.
- [63] 胡学芳, 彭川, 秦灵灵, 等. 铁皮石斛治疗糖尿病的药理机制研究进展 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2024, 26(4): 1353-1363.
- [64] 汪汉香. 铁皮石斛多糖改善高脂高糖饮食小鼠糖代谢紊乱的作用及机制研究 [D]. 武汉: 华中科技大学, 2018.
- [65] 方静宇, 谢华凌, 冯思敏, 等. 石斛多糖改善糖尿病作用的影响因素及机制研究进展 [J]. 食品与发酵工业, 2021, 47(3): 237-244.
- [66] Qu J, Tan S Y, Xie X Y, *et al.* *Dendrobium officinale* polysaccharide attenuates insulin resistance and abnormal lipid metabolism in obese mice [J]. *Front Pharmacol*,

- 2021, 12: 659626.
- [67] Xu L, Zeng X X, Liu Y N, *et al.* Effect of *Dendrobium officinale* polysaccharides on central nervous system disease: Based on gut microbiota [J]. *Int J Biol Macromol*, 2023, 240: 124440.
- [68] Chen H H, Nie Q X, Hu J L, *et al.* Multiomics approach to explore the amelioration mechanisms of glucomannans on the metabolic disorder of type 2 diabetic rats [J]. *J Agric Food Chem*, 2021, 69(8): 2632-2645.
- [69] Wang S, Li X Y, Shen L. Modulation effects of *Dendrobium officinale* on gut microbiota of type 2 diabetes model mice [J]. *FEMS Microbiol Lett*, 2021, 368(5): fnab020.
- [70] 杨馨, 吴辉. 不同栽培基质对铁皮石斛生长的影响 [J]. 绿色科技, 2023, 25(19): 182-187.
- [71] 吴挺佳, 吴二焕, 左静, 等. 不同栽培模式对铁皮石斛产量和品质的影响 [J]. 热带林业, 2024, 52(1): 46-50.
- [72] 张国华. 石斛栽培技术 [J]. 现代农业科技, 2008(2): 33.
- [73] 杨红旗, 许兰杰, 李磊, 等. 药用石斛仿野生栽培关键技术 [J]. 林业科技通讯, 2022(6): 91-94.
- [74] 张建勇, 刘涛, 袁佐清. 石斛属植物组织培养及遗传转化研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2007, 35(3): 656-657.
- [75] 梁忠纪. 铁皮石斛病害防治 [J]. 农家之友, 2003(5): 32-34.
- [76] 宁裕南. 仿生铁皮石斛在果树下 (无土栽培) 栽培应注意的几个技术性问题 [J]. 农业开发与装备, 2020(2): 185-188.

[责任编辑 潘明佳]