



李杰,魏永路,徐匆,杨凤玺,朱根发. 基于文献计量的石斛属植物研究态势与热点分析[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(08): 141-155.
LI Jie, WEI Yonglu, XU Cong, YANG Fengxi, ZHU Genfa. Analysis on the research trends and hotspots of *Dendrobium* genus plants based on bibliometrics[J].
Journal of China Agricultural University, 2025, 30(08): 141-155.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.08.13

基于文献计量的石斛属植物研究态势与热点分析

李杰¹ 魏永路¹ 徐匆² 杨凤玺¹ 朱根发^{1*}

(1. 广东省农业科学院 环境园艺研究所/广东省园林花卉种质创新综合利用重点实验室, 广州 510640;
2. 东莞市农业科学研究中心, 广东 东莞, 523086)

摘要 为了解国内外石斛属植物研究现状、热点及未来发展趋势,采用文献计量学方法,以“石斛”为关键词,分别检索 Web of Science 和 CNKI 数据库中 2014—2024 年发表的相关文献,并利用 CiteSpace 软件对文献进行信息挖掘和整理,探究文献数量的演变、研究作者和研究机构的分布以及重要关键词频次,在关键词聚类的基础上进行关键词突现分析,进一步从时间维度分析石斛研究领域的演进历程。结果表明:1)石斛属植物英文文献发文量稳步增长,呈快速发展态势,其中 72.38% 的英文文献为中国研究者发表,而中文文献发文量相对稳定;从发文机构上看,中文文献排名前 5 的机构均与医学和药学有关,中国科学院是英文文献发文量最高的研究机构。2)石斛研究方向较多元化,中、英文文献研究领域的发展方向 and 热点呈现相似特征,均较注重石斛活性成分的分离鉴定与药理活性研究。3)石斛属植物研究热点不断演变和创新,前期主要围绕石斛的组培快繁、化学成分分析和内生菌分离鉴定等基础研究,未来将转向更深层次的重要功能基因挖掘、性状形成机制以及活性成分的药效机制和潜在基因靶点等方面。

关键词 石斛属; 文献计量学; CiteSpace; 前沿动态; 研究热点

中图分类号 S682.31; S567.9 **文章编号** 1007-4333(2025)08-0141-15 **文献标志码** A

Analysis on the research trends and hotspots of *Dendrobium* genus plants based on bibliometrics

LI Jie¹, WEI Yonglu¹, XU Cong², YANG Fengxi¹, ZHU Genfa^{1*}

(1. Environmental Horticulture Research Institute/Guangdong Key Lab of Ornamental Plant Germplasm Innovation and Utilization, Guangdong Academy of Agricultural Sciences, Guangzhou 510640, China;
2. Dongguan Agricultural Science Research Center, Dongguan 523086, China)

Abstract To understand the current status, hotspots and future development trends of *Dendrobium* research both domestically and internationally, bibliometric method was employed. The keyword “Dendrobium” was used to search relevant literature published between 2014 and 2024 in the Web of Science and CNKI databases. CiteSpace software was utilized to mine and organize the obtained literature, exploring the evolution of the number of publications, the distribution of research authors and institutions, and the frequency of essential keywords. Based on keyword clustering, keyword emergence analysis was conducted, and further study of the evolution of the *Dendrobium* field was carried out from temporal perspective. The results show that: 1) The number of English publications on plants in the *Dendrobium*

收稿日期: 2024-10-03

基金项目: 广东省基础与应用基础研究基金项目(2022A1515140182); 东莞市 2021 年度省乡村振兴战略专项资金项目(20211800400062); 2023 年省级乡村振兴战略专项种业振兴行动项目(2023-NBH-00-009)

第一作者: 李杰(ORCID:0000-0001-5381-6845), 副研究员, 主要从事兰花栽培与育种研究, E-mail: goodlijie666@163.com

通讯作者: 朱根发(ORCID:0000-0002-5044-4991), 研究员, 主要从事兰花资源、育种和生物技术研究, E-mail: zhugenfa@gdaas.cn

genus has been increasing year by year, showing a rapid development trend, about 72.38% of the English literature is published by Chinese researchers, while the number of Chinese publications remains relatively stable. In terms of collaborative institutions, the top five institutions for Chinese publications are all related to medicine and pharmacy, and the Chinese Academy of Sciences is the institution with the highest number of English-language publications. 2) The research directions of *Dendrobium* are highly diversified. The research trends and hotspots in Chinese and English literature all show a similar research trajectory, with a strong focus on the separation and identification of active components of *Dendrobium* and pharmacological activity research. 3) The research hotspots in the field of *Dendrobium* are constantly evolving and innovating. The early research hotspots mainly focus on basic research, including tissue culture and rapid propagation of *Dendrobium*, chemical component analysis, and the separation and identification of endophytic bacteria. Future research hotspots in this field are expected to shift toward deeper levels, including the exploration of important functional genes, the mechanisms of trait formation, and the pharmacological mechanisms and potential genetic targets of active components.

Keywords *Dendrobium* genus; bibliometrics; CiteSpace; frontier dynamics; research hotspot

石斛属(*Dendrobium* Sw.)是兰科中重要的属之一,主要分布在亚洲南部、大洋洲以及其他热带和亚热带地区^[1]。据 Plants of the World Online 记载,目前该属有 1 593 个种,国内已发现并记录的石斛属植物有 78 种,其中 14 种为中国特有种^[1]。依据其应用价值,石斛属植物可分为观赏石斛和药用石斛,观赏石斛花形及花姿优美、花色丰富,广泛应用于高档插花、盆花、菜肴装饰、胸花、捧花及花车装饰等^[2],而药用石斛是中国传统的名贵中药材,其中铁皮石斛、金钗石斛、霍山石斛、鼓槌石斛和流苏石斛被《中国药典》^[3]所收录。现代药理研究表明,药用石斛具有抗氧化、抗衰老、抗炎、抗疲劳、护肝、保护胃肠道、降血糖、降血压和抗癌等多种药理作用^[4-5]。

近年来,国内外关于石斛属植物的研究颇多,主要集中在组培快繁^[6-9]、菌根真菌^[10-12]、活性成分分离鉴定与药理活性^[13-15]、性状形成机制^[16-18]等方面,但对石斛属植物的研究成果缺乏全面系统地分析,其研究热点也鲜有系统报道,难以从宏观上把握该属植物的前沿方向。因此,基于文献计量学方法对石斛属植物研究领域进行系统性综述具有重要的学术价值。CiteSpace 作为目前广泛应用于科学文献计量分析的主流工具,其通过数据挖掘算法对海量文献进行知识图谱构建,可有效揭示学科领域的研究范式演进、知识基础特征及前沿热点^[19-21]。本研究拟基于中国知网(CNKI)和 Web of Science(WOS)数据库,分别以“石斛”和“*Dendrobium*”为关键词,对 2014—2024 年发表的石斛属植物研究相关文献进行检索,利用 CiteSpace 软件进行信息挖掘和整理,分析文献数量演变、核心研究作者和研究机构的分

布,以探究该领域研究现状、热点及未来发展趋势,旨在为今后石斛属植物的研究提供新思路。

1 材料与方法

1.1 数据来源

数据来源于中国知网(CNKI)和 Web of Science(WOS)数据库,检索时间为 2014-01-01—2024-08-31。中文文献高级检索主题为“石斛”,文献来源类别选择学术期刊中“EI、北大核心、CSSCI 和 CSCD”。经手动去除年份、作者和研究机构等信息缺失和与研究内容不相关的文献,最终得到 1 798 篇文献,并以“Refworks”和“Excel”格式导出。英文文献以 TS=(*Dendrobium*)AND(shihu)为检索式进行主题检索,文献类型包括“Article”“Proceeding Paper”和“Review Article”,去除与研究内容不相关的文献,共获得 2 357 篇文献,以“Plain text file”和“Excel”格式导出。

1.2 研究方法

借助 CiteSpace 6.3.1 可视化软件,从发文量、作者合作、机构合作及关键词等方面,对 2014—2024 年国内外石斛属植物研究成果进行客观、可靠的归纳分析。

利用文献关键词共现分析法解析该领域的研究热点和发展动向,对数似然比(Log-likelihood rate, LLR)检验算法对关键词进行聚类分析,总结石斛领域相关研究分布情况;采用关键词突现分析法,明确不同时间段内的前沿研究领域,并用时间线图可视化展示石斛属植物研究前沿的年份演化。不同年份和国家的发文量数据统计在 Microsoft

Excel中进行。

2 结果与分析

2.1 国内外石斛属植物研究的基本特征

2.1.1 年发文量变化趋势

如图1所示,2014—2024年石斛属植物相关研究文献发文量共计4 155篇,其中来自WOS数据库

的英文文献占56.73%。由于2024年的发文量统计周期为8个月,与2023年全年数据相比有所减少。2014—2023年,CNKI数据库收录的中文相关文献数量相对稳定,每年维持在150篇左右,英文文献的发文量则稳步增长。英文文献中,中国研究者发文量为1 706篇,占英文文献总发文量的72.38%,远高于其他国家或地区(图1(b))。

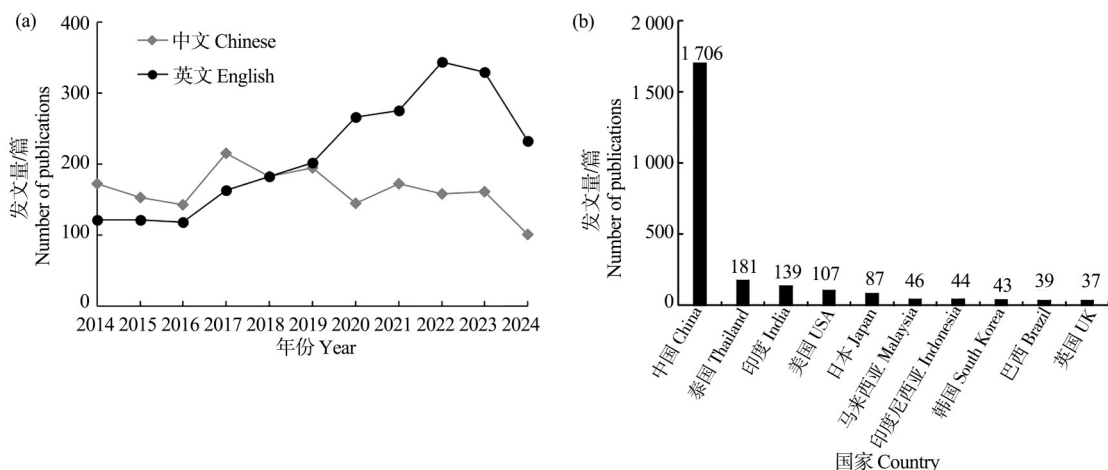


图1 中、英文文献年发文量(a)和英文文献发文量前10的国家(b)

Fig. 1 The number of publications in Chinese and English (a) and the top ten countries in terms of English publications (b)

2.1.2 期刊发文量分析

石斛属植物相关研究发文数量排名前10的期刊如表1所示。CNKI数据库中,载文量前10的期刊载文量共计579篇,占中文文献总量的32.2%,总被引频次为7 492次。发文量前3的期刊分别是《中国中药杂志》《中草药》和《热带作物学报》,其中《中国中药杂志》的总被引频次也最高。在WOS数据库中,载文量前10期刊的载文量共计430篇,占英文文献总量的18.24%,总被引频次为9 464次。发文量前3的期刊分别是 *International Journal of Biological Macromolecules*、*Frontiers in Plant Science* 和 *International Journal of Molecular Sciences*。从2024年中国科学院文献情报中心期刊分区来看,发文量前10的英文期刊包含3个1区期刊和4个2区期刊。从期刊影响因子上看,最具影响力的英文期刊为 *Carbohydrate Polymers*,载文量为28篇。

2.1.3 核心作者和合作分析

中、英文文献作者合作网络排名前10的图谱如图2所示。中文文献中,发文量最高的作者为郭顺星,主要研究菌根真菌对药用石斛种子萌发、生长、

活性成分积累的影响,并挖掘相关调控基因,为菌根真菌应用于药用石斛大规模人工栽培提供了理论依据^[11-12,22-24];其次为斯金平,主要开展不同栽培模式和采收条件下铁皮石斛营养和活性成分积累规律研究^[25-28];排名第3的是魏刚,研究则侧重于药用石斛活性成分鉴定与HPLC特征指纹图谱^[29-32]。

英文文献中,Teixeira da Silva Jaime A的发文量居首位,其侧重于研究石斛的组培快繁^[33-34],并与中国科学院华南植物园的Duan Jun和He Chunmei团队合作,挖掘铁皮石斛多糖生物合成相关功能基因^[35-37]。Sritularak Boonchoo的发文量次之,主要从石斛属植物中分离、纯化、鉴定多种酚类化合物、菲二聚体和萜衍生物等小分子活性物质,并探究其抗氧化、抗肿瘤、抗糖尿病等药理活性,为石斛相关药品的开发奠定了基础^[38-40]。此外,Wei Gang和Luo Jian-Ping在石斛代谢物鉴定和指纹图谱分析、石斛多糖纯化鉴定及其活性方面发文量也较多^[41-42]。结合图2(a)和(b)可知,对石斛属植物的研究报道以中国学者居多,且多以药用领域为主,观赏领域则相对较少,这可能受文化认同、政策支持、市场需求

表1 中、英文载文量前10的期刊

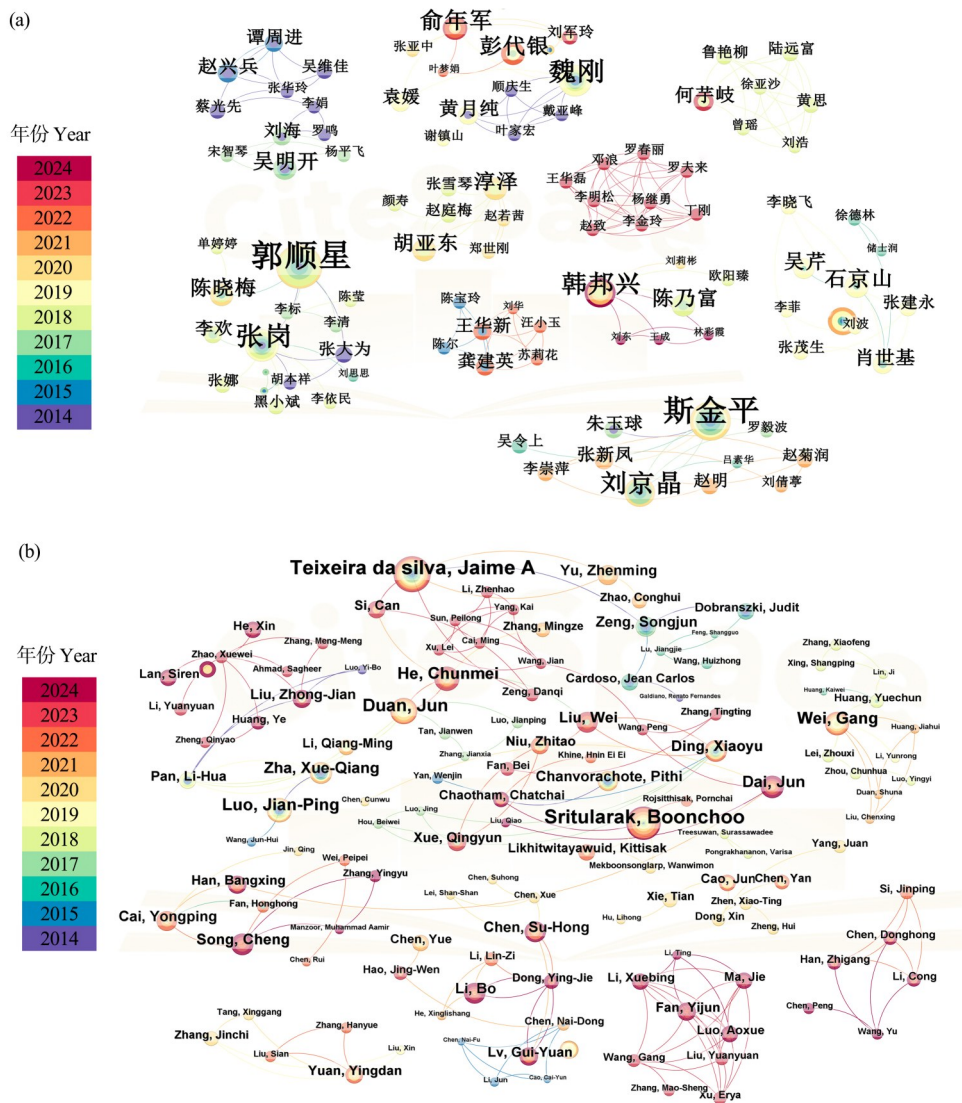
Table 1 The top 10 journals with the largest number of articles in Chinese and English

排名 Ranking	中文文献 Chinese literature				英文文献 English literature			
	期刊 Journal	载文量/ 篇 Number of articles	总被引频 次/次 Total citations	2024年复 合影响因子 Composite impact factor (2024)	期刊 Journal	载文量/ 篇 Number of articles	总被引频 次/次 Total citations	影响因子 (2024年) Impact factor (2024)
1	《中国中药杂志》	95	2 044	4. 951	<i>International Journal of Biological Macromolecules</i>	74	2 632	7. 7
2	《中草药》	88	1 483	4. 694	<i>Frontiers in Plant Science</i>	62	1 033	4. 1
3	《热带作物学报》	65	635	1. 683	<i>International Journal of Molecular Sciences</i>	57	716	4. 9
4	《时珍国医国药》	55	477	1. 496	<i>Molecules</i>	48	892	4. 2
5	《北方园艺》	53	474	1. 472	<i>South African Journal of Botany</i>	42	553	2. 7
6	《中国实验方剂 学杂志》	51	998	4. 803	<i>Phytotaxa</i>	37	128	1. 0
7	《中药材》	49	653	1. 844	<i>Carbohydrate Polymers</i>	28	1 907	10. 7
8	《分子植物育种》	45	428	1. 634	<i>Journal of Ethnopharmacology</i>	28	827	4. 8
9	《江苏农业科学》	39	294	1. 431	<i>Natural Product Research</i>	28	434	1. 9
10	《食品工业科技》	39	456	2. 592	<i>Industrial Crops and Products</i>	26	342	5. 6

和研究基础等因素的影响。石斛属植物在中国文化中具有重要地位,属内的多个种均被视为名贵中药材和保健品,中国学者更关注其药用研究,以传承和发扬传统医学;政府也大力支持对传统药材进行现代化研究;石斛属植物相关药品和保健品市场需求旺盛,也驱使学者更倾向于研究其药用价值以满足市场需求。此外,中国在石斛属植物药用方面已有研究基础,形成了较为完善的研究体系,这使得学者更易在该领域取得进展。相比之下,石斛属植物的观赏性研究起步较晚,缺乏系统的研究基础和足够的关注,尽管石斛属植物具有较高的观赏价值,但相关研究基础较薄弱。

2.1.4 发文机构合作情况

中、英文文献机构合作网络排名前10的图谱如图3所示。中文文献发文机构主要是高校,其学术水平较高,有较强的师资力量和科研能力。排名前5的机构均与医学和药学有关,分别是皖西学院生物与制药工程学院、中国医学科学院北京协和医学院药用植物研究所、中国科学院大学、遵义医科大学药学院和浙江中医药大学,可见石斛属植物具有较高的药用开发潜能。研究机构所在的浙江、广东、云南、贵州等省份也是药用石斛的主产区^[6],这些地区的科研机构更易获得研究样本和资源,从而形成研究优势。石斛属植物在这些地区不仅是重要



圆圈大小代表发文量多少,圆圈间连线表示二者之间存在合作关系。下同。

The size of the circles represents the number of publications, and the lines connecting the circles indicate a collaborative relationship between the two parties. The same below.

图 2 中文(a)和英文(b)文献作者合作网络图谱

Fig. 2 Chinese (a) and English (b) literature author collaboration network diagrams

的药用植物,还是地方经济的重要组成部分(如药用石斛种植和加工产业),地方政府和企业可能更倾向于支持药用研究,以推动产业发展。赤水市信天中药产业开发有限公司、霍山县天下泽雨生物科技有限公司等企业也参与了石斛的产学研合作^[43-45],今后还应不断加强高校、科研院所和企业之间的合作,共同推进石斛科研成果的产业化应用。

英文文献发文机构中,排名前30的机构除了泰国的 Chulalongkorn University(朱拉隆功大学)外,

其余均为中国的科研机构。排名前5的机构分别为 Chinese Academy of Sciences(中国科学院)、Zunyi Medical University(遵义医科大学)、University of Chinese Academy of Sciences(中国科学院大学)、Kunming Institute of Botany(中国科学院昆明植物研究所)、West Anhui University(皖西学院)。中国科学院是WOS数据库中发文量最高的研究机构,达235篇,远高于其他机构发文量。

可见,石斛属植物的主要研究机构分布存在地域差异,且与种质资源分布、地方产业驱动和地域

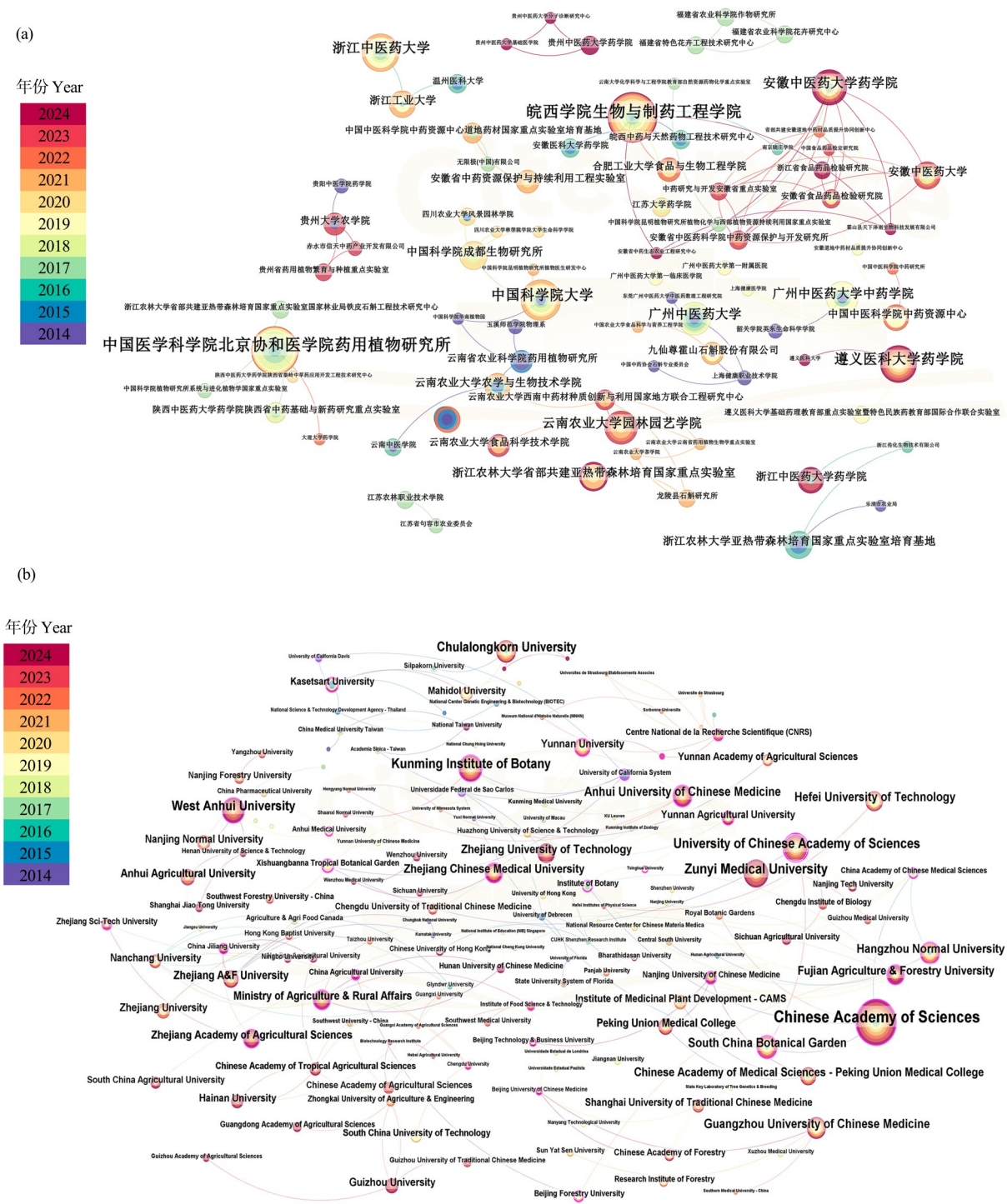


图3 中文(a)和英文(b)文献机构合作网络图谱

Fig. 3 Chinese (a) and English (b) literature institutional collaboration network diagrams

文化差异等有关。石斛属植物主要分布于中国华南和西南等省份及东南亚地区,基于资源优势而形成研究优势,如泰国朱拉隆功大学的研究可能得益于泰国作为石斛自然分布区的资源优势。中国南方地区对石斛的药用价值有较高的文化认同,传统中医药文化在这些地区根深蒂固,结合地方产业驱动使得研究更集中于药用领域。相比之下,其他地区或国家对石斛属植物的研究可能更侧重于植物

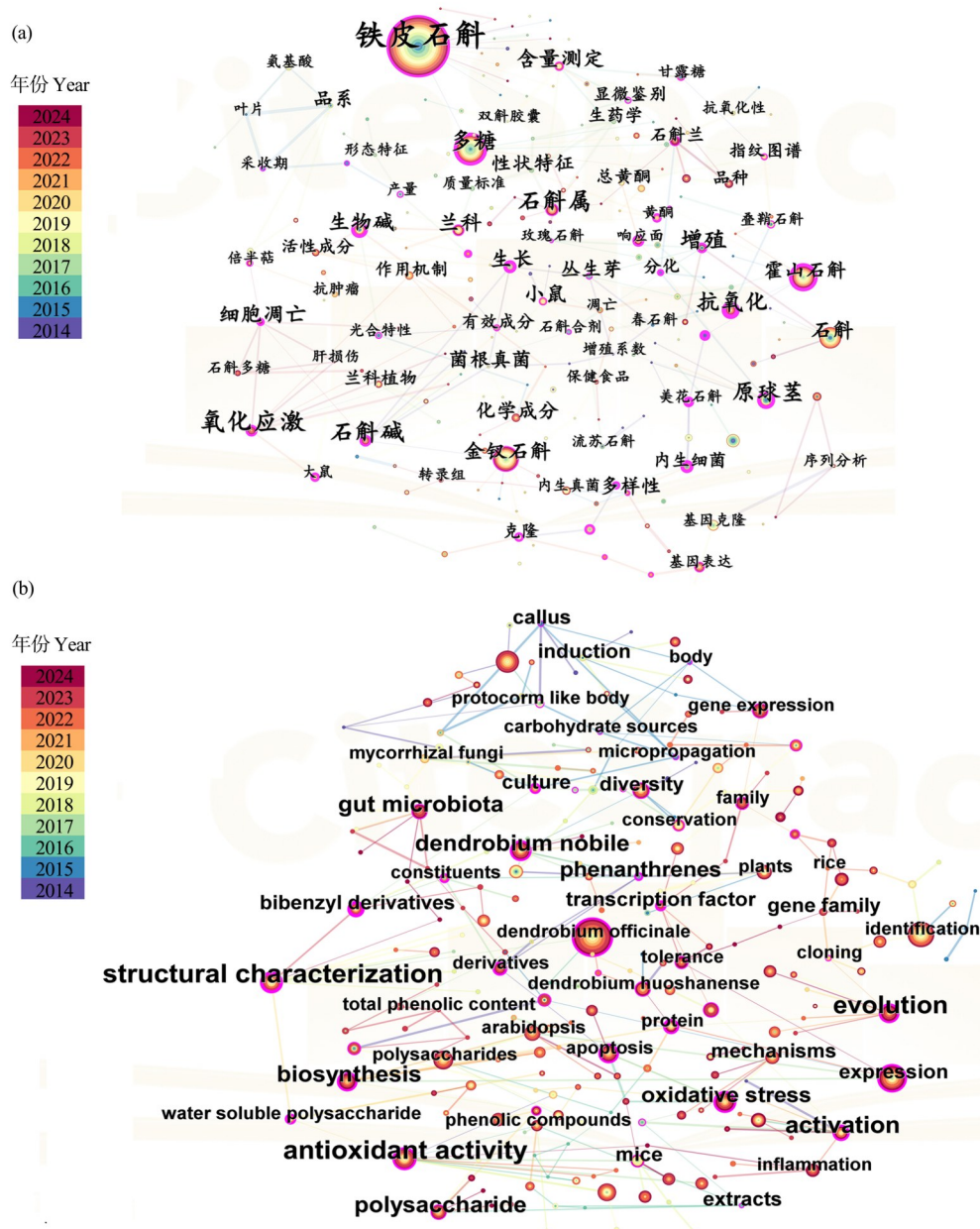
学、生态学或观赏性,但由于资源和文化差异,研究规模和影响力相对较小。

2.2 石斛属植物研究热点分析

2.2.1 关键词共现

石斛属植物研究关键词共现图谱见图4。由图4(a)可知,药用石斛方面,CNKI数据库中共现频次最高的关键词是“铁皮石斛”,其次是“金钗石

斛”“霍山石斛”,说明这3种栽培面积较大的药用石斛是众多石斛属植物中重点研究的种。“多糖”“石斛碱”“生物碱”“黄酮”“化学成分”和“含量测定”等关键词高频出现,说明以多糖为主的多种药用成分的化学结构、药理活性及其作用机制为国内现阶段的研究热点,其中“抗氧化”和“氧化应激”是与药理活性相关的高频关键词。氧化应激已被



圆圈大小分别代表关键词频次多少,圆圈间连线表示关键词间存在共现关系。下同。

The size of the circles represents the keywords frequency, and the lines connecting the circles indicate a co-occurrence relationship between the two keywords. The same below.

图4 中文(a)和英文(b)文献关键词共现图谱

Fig. 4 Chinese (a) and English (b) literature keywords co-occurrence network diagrams

证明参与多种疾病,是引起某些病理过程的主要或次要原因,如动脉粥样硬化、慢性阻塞性肺疾病、高血压和阿尔茨海默病等^[46]。研究表明,石斛可作为天然的抗氧化剂,其富含的多糖、黄酮、生物碱、联苳类化合物与非类化合物均有不同程度的自由基清除能力,在降低活性氧水平、激活相关抗氧化通路,以及保护蛋白质、DNA、脂质免受氧化损伤等方面具有重要作用^[47]。观赏石斛方面,仅出现了“春石斛”“石斛兰”“性状特性”等相关关键词。此外,“原球茎”“增殖”和“生长”也是高频关键词,揭示利用组培培养快速繁育种苗是药用石斛和观赏石斛产业化的主要手段。通过高频关键词可知,中文文献侧重于探究石斛属植物的药用开发与产业化繁育。

由图4(b)可知,英文关键词共现结果与中文类似。药用石斛方面,“*Dendrobium officinale*”(铁皮石斛)的频次仍是最高的,“*Dendrobium nobile*”(金钗石斛)也高频出现,体现了铁皮石斛和金钗石斛是该属重要研究对象。“polysaccharides”(多糖)和“structural characterization”(结构特征)揭示多糖仍是药用石斛研究的重要活性成分。为了不破坏多糖结构,研究人员通常使用溶剂提取法提取石斛多糖,且以热水提取为主^[1]。石斛茎中水溶性多糖主

要由甘露糖、少量葡萄糖和半乳糖组成,而90%以上的多糖是非淀粉甘露聚糖^[1]。整体而言,关于石斛多糖的分离纯化与结构鉴定的化学研究仍偏少。“antioxidant activity”(抗氧化活性)、“oxidative stress”(氧化应激)、“apoptosis”(细胞凋亡)、“gut microbiota”(肠道菌群)、“inflammation”(炎症)等高频关键词揭示对石斛药理活性研究主要侧重于抗氧化、抗肿瘤、抗炎、调节肠道菌群等方面,对石斛相关药物的开发具有重要意义。观赏石斛方面,“biosynthesis”“gene expression”和“protein”等关键词出现频次同样较高,说明利用多组学手段挖掘调控重要观赏性状的关键基因是观赏石斛的研究热点。尽管金钗石斛、铁皮石斛、鼓槌石斛和霍山石斛等石斛的基因组已绘制完成^[48],但在石斛种质资源改良方面,大规模基因敲除突变体库和精细的遗传转化系统仍然缺乏,而新的基因编辑工具,如备受青睐的CRISPR-Cas9或某些碱基编辑器,尚未在石斛兰等兰花中广泛应用^[49]。

2.2.2 关键词聚类

石斛属植物研究相关文献关键词聚类图谱如图5所示。关键词聚类后相对分散,表明相关石斛研究方向较多元化,存在一定差异,聚类编号越小,表明该聚类中的文献研究规模越大,研究热度越

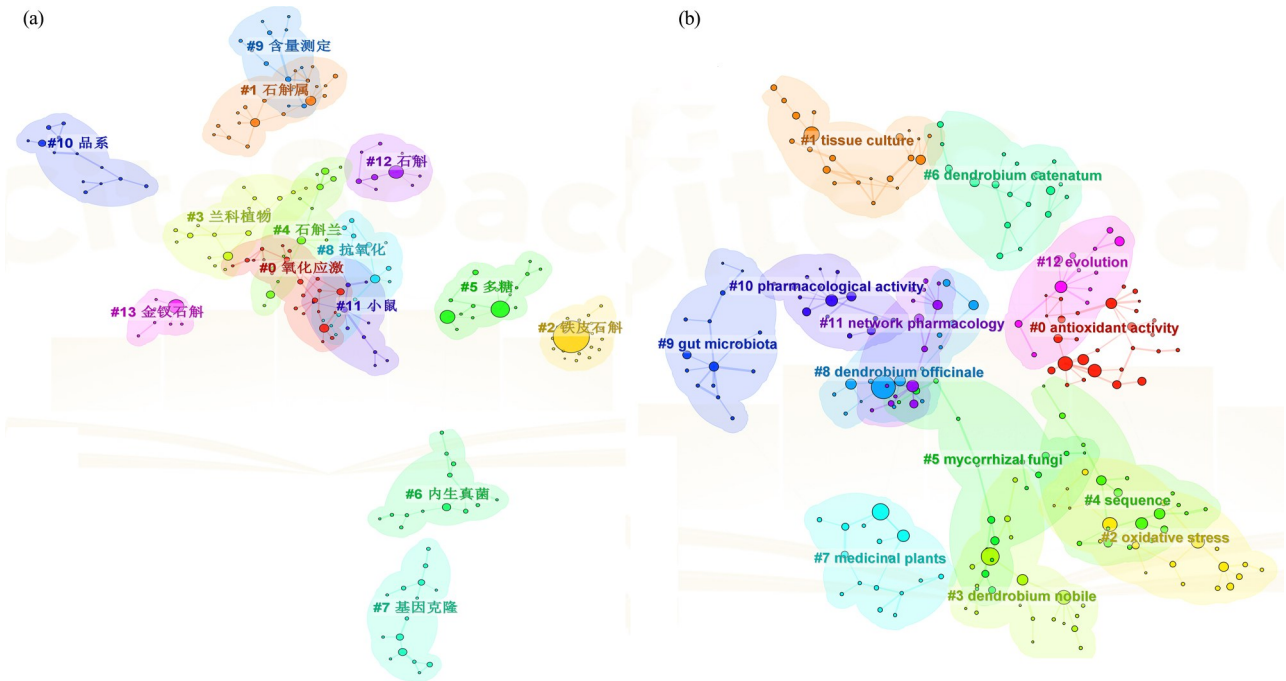


图5 中文(a)和英文(b)文献关键词聚类图谱

Fig. 5 Chinese (a) and English (b) literature keywords clustering diagrams

高。中文文献 14 个聚类分别是#0 氧化应激、#1 石斛属、#2 铁皮石斛、#3 兰科植物、#4 石斛兰、#5 多糖、#6 内生真菌、#7 基因克隆、#8 抗氧化、#9 含量测定、#10 品系、#11 小鼠、#12 石斛、#13 金钗石斛。其中：聚类#1、#2、#3、#4、#12 和#13 指示了重要研究对象及其分类学位置；聚类#5、#8、#9 和#11 表明石斛研究侧重于药用方面，且多糖是其重要活性成分；3 个独立的类群#6、#10 和#7 则分别揭示石斛栽培、遗传选育和重要性状关键基因挖掘 3 个不同的研究方向。

英文关键词与中文关键词聚类图谱揭示的石斛研究方向基本一致。英文文献 13 个聚类分别是#0 antioxidant activity（抗氧化活性），#1 tissue culture（组织培养），#2 oxidative stress（氧化应激），#3 *Dendrobium nobile*（金钗石斛），#4 sequence（序列），#5 mycorrhizal fungi（菌根真菌），#6 *Dendrobium catenatum*（铁皮石斛），#7 medicinal plants（药用植物），#8 *Dendrobium officinale*（铁皮石斛），#9 gut microbiota（肠道菌群），#10 pharmacological activity（药理活性），#11 network

pharmacology（网络药理学），#12 evolution（进化）。其中：聚类#3、#6、#7 和#8 表明石斛研究侧重于药用方面，且研究对象主要为铁皮石斛和金钗石斛；聚类#0 和#2 的研究内容主要围绕石斛活性成分的氧化应激和抗氧化作用；聚类#9、#10 和#11 从不同药理活性和调节肠道菌群的角度评估石斛药用成分的活性及其潜在药用开发价值；聚类#1 和#5 主要针对石斛的组培快繁和菌根真菌开展研究；聚类#4 和#12 为遗传进化，当前研究人员从功能基因、ITS 序列、基因组、叶绿体基因组、线粒体基因组等多个角度评估了石斛属内以及与其他兰科植物的系统发育关系^[50]。目前，兰科植物基因组学研究的重点已经转向物种的起源和分类、基因组的演化和缺失、基因复制和染色体多倍性，以及花形态建成相关的调控等^[49]。

2.3 石斛属植物研究趋势分析

2.3.1 关键词突现

在关键词聚类的基础上，进一步对关键词进行突现分析。如表 2 所示，中文文献突现强度最大的关键词是“联苳”，突现强度为 6.38，持续时间为

表 2 中文文献频次排名前 15 的突现词

Table 2 Top 15 most frequently occurring words in Chinese literature

关键词 Keyword	年份 Year	强度 Strength	开始年份 Beginning year	结束年份 Ending year	2014—2024 年
原球茎	2014	5.17	2014	2016	
组织培养	2014	4.06	2014	2016	
显微鉴别	2016	3.39	2016	2017	
聚类分析	2014	3.88	2018	2019	
总生物碱	2018	3.83	2018	2019	
作用机制	2019	4.66	2019	2022	
联苳	2020	6.38	2020	2021	
活性成分	2020	4.84	2020	2022	
黄酮	2020	3.18	2020	2021	
石斛兰	2015	4.80	2021	2024	
表达分析	2015	3.15	2021	2022	
品种	2017	4.78	2022	2024	
石斛多糖	2015	3.84	2022	2024	
氧化应激	2016	3.44	2022	2024	
杂交	2018	3.44	2022	2024	

注：红色线表示关键词持续的时间，浅蓝色部分表示其尚未进入突现阶段的年份。下同。

Note: The red line represents the duration of the keyword, and the light blue section indicates the years before it has entered the prominence phase. The same below.

2020—2021年;“原球茎”的突现强度次之,为5.71,持续时间为2014—2016年;此外,“石斛多糖”和“氧化应激”从2022年突现开始一直持续至今,其相关研究领域预计在未来仍将保持发展趋势。

由表3可知,英文文献突现强度最大的关键词是“DNA”,突现强度为11.22,持续时间为2015—2018年。“protocorm like body”(类原球茎)的突现强度次之,

为9.32,持续时间为2014—2019年。类原球茎的诱导、增殖和再生过程,是石斛等兰科植物大规模繁殖最有利的方法之一^[6],诱导的类原球茎还被用作石斛遗传转化和验证其重要功能基因的工具^[18]。“*Dendrobium catenatum*”(铁皮石斛)、“gut microbiota”(肠道菌群)从突现开始一直持续至今,这2个研究对象或研究方向可能仍是未来的研究热点。

表3 英文文献频次排名前15突现词
Table 3 Top 15 most frequently occurring words in English literature

关键词 Keyword	年份 Year	强度 Strength	开始年份 Beginning year	结束年份 Ending year	2014—2024年
protocorm like body	2014	9.32	2014	2019	
orchidaceae	2014	7.43	2014	2018	
induction	2014	5.47	2014	2018	
seeds	2014	5.00	2014	2019	
DNA	2015	11.22	2015	2018	
in vitro	2015	6.12	2015	2017	
genetic diversity	2015	5.54	2015	2017	
plant regeneration	2015	5.14	2015	2017	
orchid	2015	5.09	2015	2016	
mice	2016	8.68	2016	2020	
chloroplast genome	2018	8.13	2018	2020	
mycorrhizal fungi	2014	5.43	2019	2021	
conservation	2015	5.17	2019	2020	
Dendrobium catenatum	2021	6.22	2021	2024	
gut microbiota	2019	5.94	2022	2024	

2.3.2 时间线图

将关键词共现图谱转换为时间线图,结果见图6。如图6(a)所示,CNKI数据库中关于石斛属植物研究内容可分为3个阶段:第一阶段(2014—2015年),研究主要集中在石斛的组培快繁、化学成分分析与指纹图谱、内生菌分离鉴定等方面;第二阶段(2015—2020年),出现了“分子标记”“共生萌发”“结构鉴定”“氧化应激”“作用机制”等关键词,研究逐步转向为多种石斛的分子标记开发与遗传多样性分析、石斛与内生菌的共生关系、以及多糖等重要活性成分的结构鉴定与药理作用分析;第三阶段(2020—2024年),随着科技的发展,“转录组”“代谢组”“表型性状”“启动子”和“肠道菌群”等主题词大

量涌现,结合多组学手段解析相关的作用机制成为了石斛近年来的研究热点。

由图6(b)可知,WOS数据库英文文献关于石斛属植物研究与中文文献类似,同样也可分为3个阶段,各阶段的研究侧重点也基本相同。其中,在第三阶段(2020—2024年),“drought stress”(干旱胁迫)、“stress tolerance”(耐逆性)、“abiotic stress”(非生物胁迫)等主题词大量涌现,揭示了石斛属植物的耐逆性及其相关功能基因挖掘为近年来研究热点。此外,该阶段也出现了“network pharmacology”(网络药理学)、“signaling pathway”(信号通路)、“molecular docking”(分子对接)等热点主题词,网络药理学通过分析药物与生物体内靶点分子之间的

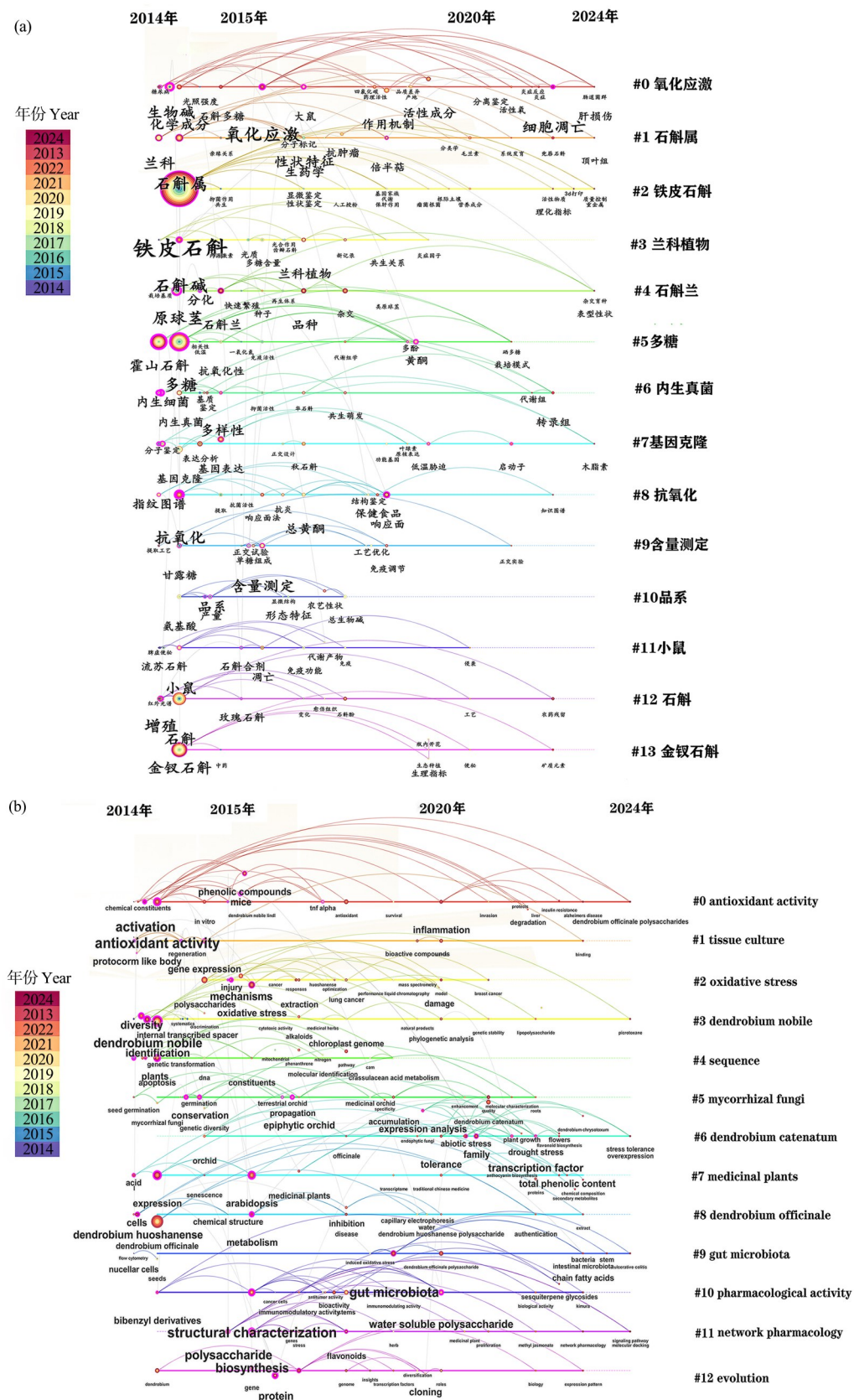


图 6 中文 (a) 和英文 (b) 文献关键词时间线图

Fig. 6 Timeline diagrams of keywords in Chinese (a) and English (b) literature

网络关系,来揭示药物的作用机制和药效,如 Zhuang 等^[51]基于网络药理学识别了石斛混合制剂对非酒精性脂肪肝病和2型糖尿病的潜在基因靶点,揭示了石斛混合制剂保护2型糖尿病诱导的非酒精性脂肪肝的作用机制。

3 结论与展望

3.1 结论

本研究利用 CiteSpace 软件对 2014—2024 年 CNKI 和 WOS 数据库中石斛属植物研究领域的相关文献进行可视化分析,主要结论如下:

1)从国内外石斛属植物研究的发文量上看,英文文献的发文量稳步增长,呈快速发展态势,其中 72.38% 的文献为中国研究者发表,而中文文献的发文量相对稳定。中、英载文量第 1 的期刊分别是《中国中药杂志》和 *International Journal of Biological Macromolecules*。郭顺星与 Teixeira da Silva Jaime A 分别作为中、英文发文量排名首位的学者,为石斛研究做出了突出贡献。从合作机构上看,中文文献排名前 5 的机构均与医学和药学有关,皖西学院生物与制药工程学院居首位,英文文献中,排名前 30 的机构除了泰国的 Chulalongkorn University (朱拉隆功大学)外,其余均为中国的科研机构,地域差异显著,中国科学院是 WOS 数据库中发文量最高的研究机构。

2)石斛属植物种类较多,研究方向较多元化,但研究主要集中在铁皮石斛和金钗石斛等少数几种药用石斛上。整体而言,以药用领域研究为主,观赏领域研究则相对薄弱。中文文献侧重于石斛属植物的组培快繁、菌根真菌、多糖和小分子活性成分的提取鉴定与药理活性研究,而英文文献侧重于种质资源鉴定与遗传多样性分析、多糖的结构特征与多种药理活性的作用机制,以及多组学分析挖掘调控石斛活性成分和重要观赏性状的关键基因等方面。中、英文文献研究领域的发展方向和热点呈现了相似的研究历程,都较为注重药用石斛活性成分的分离鉴定与药理活性研究。

3)石斛属植物研究热点不断演变和创新,研究热点前期主要围绕组培快繁、化学成分分析、内生菌分离鉴定等基础研究,随着研究技术的不断进步,研究者将转录组、基因组、代谢组、表型组等多组学技术组合运用于石斛属植物研究,研究方向逐

步转向更深层次的功能基因挖掘、性状形成机制以及活性成分的药效机制和潜在基因靶点等,这也将成为今后的主要研究热点。

3.2 展望

尽管石斛属植物的研究已取得了一定的研究成果,而结合当前药用石斛和观赏石斛的产业发展需求,未来石斛属植物仍可从以下 7 个方面开展深入研究:

1)加强对石斛属植物种质资源的收集、保存和创新利用,建立种质资源库,开展遗传多样性分析和核心种质构建,为石斛属植物的遗传改良和新品种选育提供丰富的遗传资源,同时保护濒危石斛物种,防止种质资源流失。

2)利用基因组学、转录组学和代谢组学等多组学技术深入挖掘石斛属植物中与药用成分、抗逆性和观赏性状等相关的功能基因,结合基因编辑等手段培育出具有更高药用价值、抗病性强、观赏性好的新品种,推动石斛产业的可持续发展。

3)深入研究石斛属植物中多糖、生物碱和小分子化合物等活性成分的药效机制,特别是其在免疫调节、抗肿瘤和抗氧化等方面的作用,为开发新型药物或功能性食品提供科学依据,提升药用石斛在医药和健康产业中的应用价值。

4)优化石斛属植物的组培快繁技术、栽培管理技术,探究其与环境因子的关系,提升产量与品质,推动石斛属植物的规模化种植、产业化和智能化发展。

5)深入研究石斛属植物与内生菌、菌根真菌的共生机制,探索其对石斛属植物生长、抗病性和活性成分合成的影响,通过调控内生菌群落,提高石斛属植物的生长速度和药用成分含量,为生态栽培提供新思路。

6)石斛属植物的综合开发利用,探索石斛属植物在食品、化妆品和保健品等领域的应用潜力,开发新型产品,延长石斛产业链,提高其附加值,推动石斛产业的多元化发展。

7)利用生物信息学和大数据分析技术,整合石斛属植物的基因组、转录组和代谢组等多组学数据,构建石斛属植物的综合数据库,为石斛属植物的基础研究和应用研究提供数据支持。同时,加强与国内、国际科研机构的合作,共享石斛属植物的研究资源和技术,推动全球范围内的石斛属植物研

究,提升中国在石斛属植物研究领域的国际影响力。

参考文献 References

- [1] Li P Y, Li L, Wang Y Z. Traditional uses, chemical compositions and pharmacological activities of *Dendrobium*: A review [J]. *Journal of Ethnopharmacology*, 2023, 310:116382
- [2] 赵秋菊, 崔学强, 邓杰玲, 黄昌艳, 殷文忆, 张自斌. 石斛兰杂交后代 iPBS 标记鉴定及遗传分析[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(9): 78-89
- Zhao Q J, Cui X Q, Deng J L, Huang C Y, Yin W Y, Zhang Z B. Identification of iPBS markers and genetic analysis of *Dendrobium* hybrid progeny[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(9):78-89 (in Chinese)
- [3] 国家药典委员会. 中国药典(2020年版).第一部[M]. 北京:中国医药科技出版社,2020
- Chinese Pharmacopoeia Commission. *Chinese Pharmacopoeia* (2020 Edition), Volume I[M]. Beijing: China Medical Science Press, 2020 (in Chinese)
- [4] Wang Y H. Traditional uses and pharmacologically active constituents of *Dendrobium* plants for dermatological disorders: A review[J]. *Natural Products and Bioprospecting*, 2021, 11(5): 465-487
- [5] Wu W J, Lin Y, Farag M A, Li Z H, Shao P. *Dendrobium* as a new natural source of bioactive for the prevention and treatment of digestive tract diseases: A comprehensive review with future perspectives [J]. *Phytomedicine*, 2023, 114: 154784
- [6] Cardoso J C, Zanella C A, Chen J T. An overview of orchid protocorm-like bodies: Mass propagation, biotechnology, molecular aspects, and breeding [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(3): 985
- [7] Lin W, Wang J J, Xu X M, Wu Y H, Qiu D L, He B Z, Sarsaiya S, Ma X K, Chen J S. Rapid propagation *in vitro* and accumulation of active substances of endangered *Dendrobium cariniferum* Rchb. f [J]. *Bioengineered*, 2020, 11(1): 386-396
- [8] Nguyen H T, Dinh S T, Ninh T T, Nong H T, Dang T T T, Khuat Q V, Dang A T P, Ly M T, Kirakosyan R N, Kalashnikova E A. *In vitro* propagation of the *Dendrobium anosmum* lindl. collected in Vietnam[J]. *Agronomy*, 2022, 12(2): 324
- [9] da Silva J A T, Cardoso J C, Dobránszki J, Zeng S J. *Dendrobium* micropropagation: A review [J]. *Plant Cell Reports*, 2015, 34(5): 671-704
- [10] 王景璋, 陈文华, 李思琦, 魏云瀚, 秦路平, 朱波. 不同栽培模式铁皮石斛可培养内生真菌菌群结构、多样性及分布规律[J]. 中草药, 2023, 54(9): 2917-2924
- Wang J X, Chen W H, Li S Q, Wei Y H, Qin L P, Zhu B. Community, diversity, and distribution of culturable endophytic fungi in *Dendrobium officinale* from different habitats [J]. *Chinese Traditional and Herbal Drugs*, 2023, 54(9):2917-2924 (in Chinese)
- [11] 陈彤彦, 曾旭, 孟志霞, 田丽霞, 单婷婷, 陈晓梅, 郭顺星. 菌根栽培对铁皮石斛小分子化学成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2023, 48(17): 4655-4662
- Chen T Y, Zeng X, Meng Z X, Tian L X, Shan T T, Chen X M, Guo S X. Effects of mycorrhizal planting on small molecular chemical components of *Dendrobium officinale* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2023, 48(17): 4655-4662 (in Chinese)
- [12] 陈彤彦, 陈晓梅, 杨建文, 李媛媛, 邱先丹, 王爱荣, 曾旭, 郭顺星. 胶膜菌属真菌 S7 糖类成分对铁皮石斛种子萌发的影响[J]. 中国药理学杂志, 2024, 59(7): 579-588
- Chen T Y, Chen X M, Yang J W, Li Y Y, Qiu X D, Wang A R, Zeng X, Guo S X. Effects of carbohydrate components of fungus S7 on seed germination of *Dendrobium officinale* [J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 2024, 59(7): 579-588 (in Chinese)
- [13] 李杰, 章金辉, 叶庆生, 徐晔春, 王再花. 大苞鞘石斛和铁皮石斛多糖提取及其免疫调节作用比较[J]. 中国食品学报, 2019, 19(1): 89-95
- Li J, Zhang J H, Ye Q S, Xu Y C, Wang Z H. Extracting and immune activity comparison of polysaccharides from *Dendrobium wardianum* and *Dendrobium officinale*[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2019, 19(1): 89-95 (in Chinese)
- [14] Ye G Y, Li J, Zhang J H, Liu H L, Ye Q S, Wang Z H. Structural characterization and antitumor activity of a polysaccharide from *Dendrobium wardianum* [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 269: 118253
- [15] Zhu A L, Hao J W, Liu L, Wang Q, Chen N D, Wang G L, Liu X Q, Li Q, Xu H M, Yang W H. Simultaneous quantification of 11 phenolic compounds and consistency evaluation in four *Dendrobium* species used as ingredients of the traditional Chinese medicine Shihu[J]. *Frontiers in Nutrition*, 2021, 8: 771078
- [16] Zhang Y X, Zhang G Q, Zhang D Y, Liu X D, Xu X Y, Sun W H, Yu X, Zhu X E, Wang Z W, Zhao X, Zhong W Y, Chen H F, Yin W L, Huang T B, Niu S C, Liu Z J. Chromosome-scale assembly of the *Dendrobium chrysotoxum* genome enhances the understanding of orchid evolution[J]. *Horticulture Research*, 2021, 8(1): 183
- [17] Li J, Wang Z H. Integrative metabolomic and transcriptome analysis reveal the differential mechanisms of spot color in the lips of *Dendrobium chrysotoxum*[J]. *Journal of Plant Biology*, 2023, 66(4): 359-371
- [18] Zeng D Q, Si C, Zhang M Z, Duan J, He C M. ERF5 enhances protocorm-like body regeneration *via* enhancement of STM expression in *Dendrobium* orchid[J]. *Journal of Integrative Plant Biology*, 2023, 65(9): 2071-2085
- [19] 杨铭, 杨凤霞, 李仲瀚, 金刚, 翟中藏, 张克强. 基于文献计量的蚯蚓研究态势与热点分析[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(10): 263-277
- Yang M, Yang F X, Li Z H, Jin G, Zhai Z W, Zhang K Q. Research trend and hotspot analysis of earthworms based on bibliometrics [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(10): 263-277 (in Chinese)
- [20] Chen C M. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature [J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2006, 57(3): 359-377
- [21] 李凯, 李泽宇, 梁月荣, 陆建良, 郑新强. 基于文献计量的国内外茶树干旱研究进展[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(6): 50-62
- Li K, Li Z Y, Liang Y R, Lu J L, Zheng X Q. Research progress of tea tree drought based on bibliometrics [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(6): 50-62 (in Chinese)
- [22] 王家祺, 田丽霞, 陈晓梅, 郭顺星. 常规与菌根栽培的铁皮石斛茎及叶中矿物元素含量比较及健康风险评价[J]. 中国中药杂志, 2022, 47(21): 5824-5831
- Wang J Q, Tian L X, Chen X M, Guo S X. Comparison and health risk assessment of mineral elements in stems and leaves of *Dendrobium officinale* cultivated with conventional method and mycorrhizal fungi[J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2022, 47(21): 5824-5831 (in Chinese)

- Chinese)
- [23] 闫浩利, 陈晓梅, 廖方华, 邓贤芬, 王春兰, 田丽霞, 郭顺星, 杨继勇. 菌根真菌对金钗石斛幼苗生长及石斛碱和多糖积累的影响[J]. 中国药理学杂志, 2016, 51(17): 1450-1454
- Yan H L, Chen X M, Liao F H, Deng X F, Wang C L, Tian L X, Guo S X, Yang J Y. Effects of mycorrhizal fungi on the growth and dendrobine and polysaccharide accumulation of *Dendrobium nobile* lindl seedlings [J]. *Chinese Pharmaceutical Journal*, 2016, 51(17): 1450-1454 (in Chinese)
- [24] 李依民, 陈莹, 刘阿萍, 张娜, 黑小斌, 张岗, 郭顺星. 铁皮石斛己糖转运蛋白基因 *DoHT1* 的分离和表达分析[J]. 中国中药杂志, 2018, 43(6): 1124-1130
- Li Y M, Chen Y, Liu A P, Zhang N, Hei X B, Zhang G, Guo S X. Isolation and expression analysis of a hexose transporter gene Do HT1 in *Dendrobium officinale* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2018, 43(6): 1124-1130 (in Chinese)
- [25] 林弋凯, 朱玉球, 斯金平, 秦朗, 诸燕, 吴令上, 刘京晶. 栽培环境对铁皮石斛生长与代谢成分的影响[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(16): 3084-3089
- Lin Y K, Zhu Y Q, Si J P, Qin L, Zhu Y, Wu L S, Liu J J. Effects of cultivation environments on *Dendrobium catenatum* [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2017, 42(16): 3084-3089 (in Chinese)
- [26] 高蓓蓓, 金立, 李悦, 张培, 张新风, 诸燕, 斯金平. 不同储藏条件下铁皮石斛花中色素类成分的变化规律研究[J]. 中国中药杂志, 2020, 45(4): 829-837
- Gao B B, Jin L, Li Y, Zhang P, Zhang X F, Zhu Y, Si J P. Changes of pigment components in *Dendrobium catenatum* flower under different storage conditions [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2020, 45(4): 829-837 (in Chinese)
- [27] 王琦, 刘京晶, 斯金平, 朱玉球, 秦朗, 张菊玲. 恒温条件下采收时机对铁皮石斛多糖的影响[J]. 中国中药杂志, 2017, 42(20): 3891-3894
- Wang Q, Liu J J, Si J P, Zhu Y Q, Qin L, Zhang J L. Effects of sampling time on polysaccharides of *Dendrobium catenatum* under temperature-controlled condition [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2017, 42(20): 3891-3894 (in Chinese)
- [28] 刘秀娟, 诸燕, 斯金平, 吴令上, 陈学良. 铁皮石斛悬崖峭壁生长的生态基础[J]. 中国中药杂志, 2016, 41(16): 2993-2997
- Liu X J, Zhu Y, Si J P, Wu L S, Chen X L. Ecological basis of epiphytic *Dendrobium officinale* growth on cliff [J]. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2016, 41(16): 2993-2997 (in Chinese)
- [29] 梁芷韵, 谢镇山, 黄月纯, 袁媛, 周楚娟, 王雅文, 魏刚. 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
- Liang Z Y, Xie Z S, Huang Y C, Yuan Y, Zhou C J, Wang Y W, Wei G. HPLC characteristic spectrum optimization of flavonoid glycosides on *Dendrobium officinale* and characteristics analysis of different provenances [J]. *Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae*, 2019, 25(1): 22-28 (in Chinese)
- [30] 李志斌, 孟元君, 胡莉, 张林, 黄樱华, 杨丽娥, 梁芷韵, 黄月纯, 魏刚. 基于 HPLC-ESI-MSⁿ 技术的流苏石斛黄酮类化学成分分析[J]. 中药新药与临床药理, 2022, 33(9): 1254-1260
- Li Z B, Meng Y J, Hu L, Zhang L, Huang Y H, Yang L E, Liang Z Y, Huang Y C, Wei G. Analysis of the chemical composition of flavonoids in *Dendrobium fimbriatum* hook. based on HPLC-ESI-MSⁿ [J]. *Traditional Chinese Drug Research and Clinical Pharmacology*, 2022, 33(9): 1254-1260 (in Chinese)
- [31] 吴樟桦, 胡莉, 李锦妍, 张林, 黄月纯, 李运容, 魏刚. 广西铁皮石斛核苷类成分和多糖的含量研究[J]. 广州中医药大学学报, 2023, 40(7): 1766-1772
- Wu Z H, Hu L, Li J Y, Zhang L, Huang Y C, Li Y R, Wei G. Study on the contents of nucleosides components and polysaccharides of *Dendrobium officinale* from Guangxi Province [J]. *Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine*, 2023, 40(7): 1766-1772 (in Chinese)
- [32] 杨丽娥, 叶家宏, 周楚娟, 梁芷韵, 黄月纯, 顺庆生, 魏刚. HPLC 法测定霍山石斛中夏佛塔苷、异夏佛塔苷的含量[J]. 广州中医药大学学报, 2019, 36(9): 1431-1437
- Yang L E, Ye J H, Zhou C J, Liang Z Y, Huang Y C, Shun Q S, Wei G. Determination of contents of schaftoside and isoschaftoside in *Dendrobium huoshanense* by HPLC [J]. *Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine*, 2019, 36(9): 1431-1437 (in Chinese)
- [33] Teixeira da Silva J A, Winarto B, Dobránszki J, Cardoso J C, Zeng S J. Tissue disinfection for preparation of *Dendrobium in vitro* culture [J]. *Folia Horticulturae*, 2016, 28(1): 57-75
- [34] Teixeira da Silva J A, Hossain M M, Sharma M, Dobránszki J, Cardoso J C, Zeng S J. Acclimatization of in vitro-derived *Dendrobium* [J]. *Horticultural Plant Journal*, 2017, 3(3): 110-124
- [35] Si C, da Silva J A T, He C M, Yu Z M, Zhao C H, Wang H B, Zhang M Z, Duan J. DoRWA3 from *Dendrobium officinale* plays an essential role in acetylation of polysaccharides [J]. *International Journal of Molecular Sciences*, 2020, 21(17): 6250
- [36] Yu Z M, He C M, Teixeira da Silva J A, Luo J P, Yang Z Y, Duan J. The GDP-mannose transporter gene (DoGMT) from *Dendrobium officinale* is critical for mannan biosynthesis in plant growth and development [J]. *Plant Science*, 2018, 277: 43-54
- [37] Yu Z M, Zhang G H, Teixeira da Silva J A, Yang Z Y, Duan J. The β -1, 3-galactosyltransferase gene DoGALT2 is essential for stigmatic mucilage production in *Dendrobium officinale* [J]. *Plant Science*, 2019, 287: 110179
- [38] Mittraphab A, Muangnoi C, Likhitwitayawuid K, Rojsitthisak P, Sritularak B. A new bibenzyl-phenanthrene derivative from *Dendrobium signatum* and its cytotoxic activity [J]. *Natural Product Communications*, 2016, 11(5): 657-659
- [39] Kongkatitham V, Dehlinger A, Wang M, Poldorn P, Weidinger C, Letizia M, Chaotham C, Otto C, Ruprecht K, Paul F, Rungrotmongkol T, Likhitwitayawuid K, Böttcher C, Sritularak B. Immunomodulatory effects of new phenanthrene derivatives from *Dendrobium crumenatum* [J]. *Journal of Natural Products*, 2023, 86(5): 1294-1306
- [40] Ranong S N, Likhitwitayawuid K, Mekboonsonglarp W, Sritularak B. New dihydrophenanthrenes from *Dendrobium infundibulum* [J]. *Natural Product Research*, 2019, 33(3): 420-426
- [41] Wu C F, Gui S H, Huang Y C, Dai Y F, Shun Q S, Huang K W, Tao S C, Wei G. Characteristic fingerprint analysis of *Dendrobium huoshanense* by ultra-high performance liquid chromatography-electrospray ionization-tandem mass spectrometry [J]. *Analytical Methods*, 2016, 8(18): 3802-3808
- [42] Shang Z Z, Qin D Y, Li Q M, Zha X Q, Pan L H, Peng D Y, Luo J P. *Dendrobium huoshanense* stem polysaccharide ameliorates rheumatoid arthritis in mice *via* inhibition of inflammatory signaling pathways [J]. *Carbohydrate Polymers*, 2021, 258: 117657
- [43] 蔡莉, 赵致, 刘红昌, 李金玲, 杨继勇, 邓贤芬. 基于 SRAP 分子标记的金

- 钗石斛遗传多样性研究[J]. 时珍国医国药, 2019, 30(8): 1975-1978
- Cai L, Zhao Z, Liu H C, Li J L, Yang J Y, Deng X F. Genetic diversity of *Dendrobium nobile* based on SRAP molecular markers[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2019, 30(8): 1975-1978 (in Chinese)
- [44] 李明松, 李金玲, 赵致, 罗春丽, 罗夫来, 王华磊, 杨继勇, 丁刚, 邓浪. 附丹霞石栽培金钗石斛品质与矿质元素相关性研究[J]. 时珍国医国药, 2023, 34(6): 1473-1476
- Li M S, Li J L, Zhao Z, Luo C L, Luo F L, Wang H L, Yang J Y, Ding G, Deng L. Correlation analysis of quality and mineral elements of *Dendrobium nobile* cultivated with Danxia stone[J]. *Lishizhen Medicine and Materia Medica Research*, 2023, 34(6): 1473-1476 (in Chinese)
- [45] 刘刚, 俞年军, 韩荣春, 谢冬梅, 刘路路, 彭代银, 何祥林, 张淇军. 霍山石斛药材 HPLC 指纹图谱研究[J]. 安徽中医药大学学报, 2018, 37(5): 67-71
- Liu G, Yu N J, Han R C, Xie D M, Liu L L, Peng D Y, He X L, Zhang Q J. A study on the high-performance liquid chromatography fingerprint of *Dendrobium huoshanense*[J]. *Journal of Anhui University of Chinese Medicine*, 2018, 37(5): 67-71 (in Chinese)
- [46] Forman H J, Zhang H Q. Targeting oxidative stress in disease: Promise and limitations of antioxidant therapy [J]. *Nature Reviews Drug Discovery*, 2021, 20(9): 689-709
- [47] 林聪, 刘紫玉, 何成芬, 石京山, 李菲. 关于金钗石斛抗氧化损伤作用的微综述[J]. 生物资源, 2024, 46(3): 304-309
- Lin C, Liu Z Y, He C F, Shi J S, Li F. Mini review about antioxidant damage effects of *Dendrobium nobile*[J]. *Biotic Resources*, 2024, 46(3): 304-309 (in Chinese)
- [48] Yang F X, Gao J, Li J, Wei Y L, Xie Q, Jin J P, Lu C Q, Zhu W, Wong S M, Zhu G F. The China orchid industry: Past and future perspectives [J/OL]. *Ornamental Plant Research*, [2024-09-20]. DIO: 10.48130/OPR-0023-0024
- [49] Song C, Wang Y, Manzoor M A, Mao D, Wei P P, Cao Y P, Zhu F C. In-depth analysis of genomes and functional genomics of orchid using cutting-edge high-throughput sequencing[J]. *Frontiers in Plant Science*, 2022, 13: 1018029
- [50] Wang M T, Yu W H, Yang J P, Hou Z Y, Li C, Niu Z T, Zhang B H, Xue Q Y, Liu W, Ding X Y. Mitochondrial genome comparison and phylogenetic analysis of *Dendrobium* (Orchidaceae) based on whole mitogenomes[J]. *BMC Plant Biology*, 2023, 23(1): 586
- [51] Zhuang S T, Zhang J P, Lin X H, Wang X N, Yu W Z, Shi H. *Dendrobium* mixture ameliorates type 2 diabetes mellitus with non-alcoholic fatty liver disease through PPAR gamma: An integrated study of bioinformatics analysis and experimental verification [J]. *Frontiers in Pharmacology*, 2023, 14: 1112554

责任编辑: 申青苗



第一作者简介:李杰, 博士, 副研究员, 主要从事兰花栽培与育种研究。先后主持国家自然科学基金1项, 国家重点研发计划子课题1项, 省级项目5项和市厅级项目5项, 参与国家级和省级项目12项。发表论文50篇, 以第一发明人授权国家专利3件, 制定地方标准1项, 获省部级三等奖1项, 市级奖励4项。



通讯作者简介:朱根发, 博士, 研究员。现兼任中国园艺学会常务理事、中国花卉协会常务理事、中国花卉协会兰花分会会长。长期从事兰花资源、育种和生物技术研究工作。先后主持承担了国家自然科学基金和省市重大科研项目等60余项, 获得科技成果奖励21项, 其中获国家科技进步奖二等奖1项(排名第2), 神农中华农业科技奖优秀创新团队奖1项(排名第1), 广东省科学技术奖一等奖2项(排名第1)、二等奖2项(1项排名第1)、三等奖4项(2项排名第1)。获国家授权发明专利18件; 主持制定国家农业行业标准1项; 发表论文290余篇, 出版著作17部。