

## 基于文献计量学的沙棘多糖研究现状与发展动态的可视化分析

凌娜<sup>1,2\*</sup>, 郭春秋<sup>1,2</sup>, 田海燕<sup>1,2</sup>, 王子豪<sup>1,2</sup>, 王祺瑶<sup>3</sup>, 高铭泽<sup>1,2</sup>, 汲晨锋<sup>1,2\*</sup>

1. 哈尔滨商业大学 药物工程技术研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150076

2. 教育部抗肿瘤天然药物工程研究中心, 黑龙江 哈尔滨 150076

3. 山东大学药学院, 山东 济南 250012

**摘要:** 目的 利用 CitySpace 对沙棘多糖的中英文文献进行计量学分析, 探究沙棘多糖的研究进展与未来研究热点。方法 利用 Web of Science 数据库和中国知网(CNKI)数据库检索 1997—2024 年发表的与沙棘多糖研究相关的文献, 使用 CiteSpace 对其发文量、作者、发文机构、发文期刊、资助基金、关键词、文献被引频次等进行可视化分析。根据可视化结果探讨沙棘多糖的研究概况与未来发展趋势。**结果** 共检索到文献 165 篇, 其中中文文献 135 篇, 英文文献 30 篇。2021 年中文文献发表量最高, 为 22 篇, 而英文文献发表量最高在 2023 年, 为 7 篇, 中文文献发表量远多于英文。发文机构中, 新疆农业大学和内蒙古农业大学发文量最高; 发表沙棘多糖文献最多的中英文期刊分别是《食品工业科技》与 *International Journal of Biological Macromolecules*; 对沙棘多糖进行研究资助的资金主要来自国家自然科学基金; 关键词分析显示, 沙棘多糖近几年的研究热点主要在于多糖提取、结构表征、抗氧化、肝损伤、肠道菌群、炎症等方面; 引用频次最高的文献主要研究内容为提取纯化、抗氧化、肝损伤等方面。**结论** 沙棘多糖的年发文量呈现增长趋势, 在国家自然科学基金与地方资金的资助下, 以新疆农业大学及内蒙古农业大学为首的高校、科研机构的研究人员对沙棘多糖展开了大量研究。沙棘多糖的研究热点集中在多糖提取纯化、抗氧化、肠道菌群、炎症、自噬、神经保护等方面, 预测未来研究热点将主要围绕沙棘多糖药理活性与肠道菌群之间的作用机制及相关信号通路。深入探究沙棘多糖的药理作用及其临床应用, 以及在动物医学领域的应用, 为推动沙棘多糖新型功能性食品和医药产品的研发奠定坚实的基础。

**关键词:** 沙棘多糖; 文献计量学; CiteSpace; VOSviewer; 可视化分析; 抗氧化; 神经保护

中图分类号: G350; R282.7 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2024)20-7047-15

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2024.20.020

## Visualized analysis of research status and development trend of *Hippophae rhamnoides* polysaccharides based on bibliometrics

LING Na<sup>1,2</sup>, GUO Chunqiu<sup>1,2</sup>, TIAN Haiyan<sup>1,2</sup>, WANG Zihao<sup>1,2</sup>, WANG Qiyao<sup>3</sup>, GAO Mingze<sup>1,2</sup>, JI Chenfeng<sup>1,2</sup>

1. Pharmaceutical Engineering Technology Research Center, Harbin University of Commerce, Harbin 150076, China

2. Engineering Research Center for Natural Antitumor Drugs, Ministry of Education, Harbin 150076, China

3. School of Pharmaceutical Sciences, Shandong University, Jinan 250012, China

**Abstract: Objective** To explore the history and future research hotspots of *Hippophae rhamnoides* polysaccharides (HRPs) by adopting CitySpace to conduct a metrological analysis of Chinese and English literature on HRPs. **Methods** Web of Science core collection database and China National Knowledge Internet (CNKI) database were adopted to retrieve published literatures related to HRPs from 1997 to 2024. Meanwhile, CiteSpace software was conducted to visually analyze the number of publications, authors, publishing institutions, publishing journals, funding, keywords and citation frequency. According to the visualization results, the research status and future development trends of HRPs were discussed. **Results** A total of 165 Chinese and English articles have been retrieved, of which 135 in Chinese and 30 in English literatures. The highest number of published Chinese literatures is 22 in 2021, while that of English papers is seven in 2023. The number of published Chinese literatures is much more than that in English articles.

收稿日期: 2024-05-16

基金项目: 黑龙江省双一流学科协同创新成果项目 (LJGXCG2023-039); 黑龙江省省属高等学校基本科研业务费项目资助 (2020CX38, 2023-KYYWF-1088); 黑龙江省中医药科研项目 (ZYW2022-093); 哈尔滨市创新人才项目 (2022CXRC013); 中央引导地方科技发展专项项目 (ZY2022B-HRB-12)

\*通信作者: 凌娜 (1979—), 女, 副研究员, 硕士生导师, 研究方向为中药多糖活性研究。E-mail: lingnaqd@163.com

汲晨锋, 研究员, 博士生导师, 从事中药多糖药理学研究。E-mail: smilejcf001@sina.com

Among the publishing institutions, Xinjiang Agricultural University and Inner Mongolia Agricultural University have the highest number of publications. Additionally, the Chinese and English journals possessing the highest articles on HRP are *Science and Technology of Food Industry* and *International Journal of Biological Macromolecules*, respectively. The main funding for the research on HRP comes from the National Natural Science Foundation of China. Key words analysis reveals the research focus of HRP in recent years is mainly extraction, structural characterization, antioxidation, liver injury, intestinal flora, inflammation and so on. The most frequently cited literatures is concentrating on extraction and purification, antioxidation, liver injury and so on. **Conclusion** The annual published volume of HRP demonstrates an increasing trend. With the support of National Natural Science Foundation of China and local funds, researchers from universities and research institutions led by Xinjiang Agricultural University and Inner Mongolia Agricultural University have carried out a lot of research on HRP. The research hotspot of HRP concentrates upon the extraction and purification of polysaccharide, antioxidation, regulation of intestinal flora, inflammation, autophagy, and neuroprotection. It is predicted that future research hotspots will mainly focus on the mechanism of action and related signaling pathways between the pharmacological activities and intestinal flora of HRP. Exploring pharmacological effects and clinical trials of HRP, as well as the application in the field of animal husbandry and medicine, will lay a solid foundation for promoting the research and development of new functional food and pharmaceutical products of HRP.

**Key words:** *Hippophae rhamnoides* polysaccharides; bibliometrics; CiteSpace; VOSviewer; visualization analysis; antioxidation; neuroprotection

沙棘为胡颓子科沙棘属植物沙棘 *Hippophae rhamnoides* L. 的干燥成熟果实, 为药食同源之品<sup>[1]</sup>。沙棘用于疾病的治疗最早记载于公元 8 世纪初的藏医巨著《月王药诊》曰: “沙棘对金属、珍宝类药物具有解毒之功效和主治肺病”<sup>[2]</sup>。1977 年, 沙棘正式收录于《中国药典》, 标志着其在医学领域的地位得到肯定; 1981 年沙棘被卫生部列为我国第 1 批药食两用植物品种之首。沙棘具有止咳祛痰、消食化滞、活血散瘀之功效, 对咳嗽痰多、消化不良、食积腹痛、跌扑瘀肿、瘀血经闭等症有显著疗效<sup>[3]</sup>。沙棘果实营养丰富, 富含多种活性成分, 如黄酮类、萜类、甾醇类、多糖、脂肪酸以及多种氨基酸、维生素等, 对人体健康大有裨益。现代研究表明沙棘具有广泛的药理活性, 具有抗氧化、抗衰老、保护肝脏、抗炎、抗癌、调节血糖和血脂、预防和治疗动脉粥样硬化以及慢性支气管炎等多重作用<sup>[4-5]</sup>。沙棘多糖主要是从沙棘果实中提炼的一种多糖类成分, 是沙棘中含量最多的独特成分, 具有肝脏保护、抗氧化、抗衰老、抗炎、抗肿瘤、免疫调节、降血糖等多种生物学活性<sup>[6-8]</sup>, 在食品与医药领域具有巨大的应用前景和开发潜力。

文献计量学融合了统计学、数学以及词汇分析、引文分析、共词分析等手段, 通过对特定领域的学术文献进行深度剖析, 揭示研究领域内的相互关系、学者及其团队的学术影响力, 已成为探究科学出版物趋势的重要工具。在信息时代的背景下, 跨学科研究的兴起为文献计量学带来了新的发展契机, 其在医药、经济、环境、教育等领域的应用研究不断

涌现<sup>[9]</sup>。常用的文献计量学软件有 CiteSpace、Bibliometrix 和 VOSviewer 等, 通过构建关键词网络和知识图谱, 对全球科学领域的生产力和文献数据进行计量和分析, 从而识别特定研究领域的现状和未来发展潜力<sup>[10-11]</sup>。

本研究采可视化软件用 CiteSpace、VOSviewer 以及 R 语言环境下的 Bibliometrix 文献计量包, 对中国知网 (CNKI) 数据库和 Web of Science (WOS) 数据库中有关沙棘多糖文献的发表量、作者、机构、国家、期刊、资助基金、关键词以及文献被引频次等多个维度进行深入分析, 并绘制可视化网络图谱, 快速梳理沙棘多糖研究的知识架构及其发展轨迹。同时, 本研究对比分析了中外在沙棘多糖研究方面的差异, 以及该领域研究热点的发展脉络和不足之处, 并对未来发展趋势进行预测, 进而促进沙棘多糖在多个领域的广泛应用, 并激发沙棘多糖研究的发展和创新。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据来源

中文文献源于 CNKI, 进入高级检索窗口设定特定检索条件: 主题“沙棘多糖”, 发表时间设定为 1997 年 1 月 1 日—2024 年 2 月 29 日。英文文献源于 WOS 核心数据库, 进入高级检索页面设定检索条件: 主题“*Hippophae rhamnoides* polysaccharide” or “*Sea buckthorn* polysaccharide”, 时间跨度为 1984 年 1 月 1 日—2024 年 2 月 29 日。通过 Endnote 软件的仔细筛选与分析, 去除重复文献、专利和无关文献后获得符合标准的有效文献基础数据集。

1.2 纳入标准

中医药领域沙棘多糖的相关文献。

1.3 排除标准

重复文献；会议论文、科技成果、图书、专利等文献；与中医药领域无关的其他领域，如园艺、有机化工、畜牧与动物医学、体育等文献。

1.4 研究方法

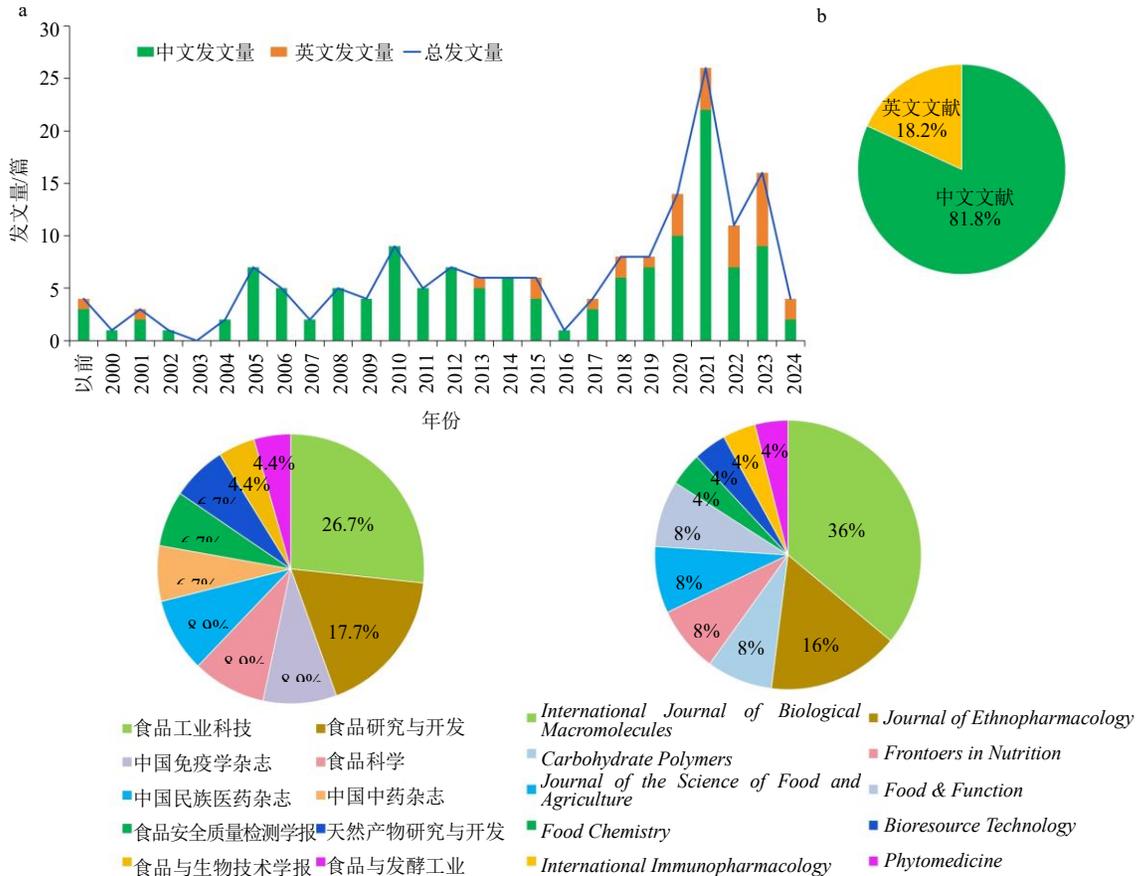
相关软件包括 CiteSpace (6.3.R1、6.2.R6)、VOSviewer (1.6.18)、Bibliometrix、Microsoft Excel (2021)、R (4.1.2)、Java (17) 等。将 xlsx 格式的原始数据用 Microsoft Excel 打开，对中英文文献的发表量、资助资金、发表期刊进行统计分析。在 Java 语言环境下运行 CiteSpace 和 VOSviewer，在 R 语言环境下运行 Bibliometrix，将选中的文献以 Refworks 格式导出，再经过 CiteSpace 进行转换。

2 结果

2.1 发文趋势及发文期刊分析

通过对沙棘多糖相关文献的深入统计分析，可

以有效评估沙棘多糖研究的发展脉络，洞察当前的研究状态，预测未来的发展趋势。统计 CNKI 和 WOS 数据库发表的有关沙棘多糖的文献，中文文献共检索出 235 篇，排除与中医药无关的文献 100 篇，共筛选出 135 篇；英文文献共检索出 57 篇，排除 27 篇无效论文，共筛选出 30 篇。中英文共纳入沙棘多糖相关文献 165 篇。将中英文文献原始数据导入 Microsoft Excel，对历年沙棘多糖的中英文发文章量进行统计并制作图表，见图 1-a、b。沙棘多糖的中文文献占总发文章量的 81.8%，最早发表于 1997 年；英文文献占总发文章量的 18.2%，最早发表于 1984 年。中文文献数量明显高于英文文献数量。最早发表英文文献的作者为前苏联的斯特罗耶夫 (Stroev) 和前苏联的马丁诺夫 (Martinov)。俄罗斯独特的地理位置，其所产的沙棘果大、刺少、易采摘、营养价值高。最早的中文文献是由陈玉香教授和张丽萍教授带领的团队发表的，张丽萍教授多年从事多糖结构和功能关系的研究，在国内较早地开展了多糖硫酸



a-中英文文献年发表量与累计发文章量；b-中英文文献发文章量百分比；c-发文章量 top 10 的中文期刊及发文章比例。a-annual and cumulative published number of Chinese and English literature; b-percentage of published Chinese and English literature; c-top 10 Chinese journals in terms of published number and published ratio; d-top 10 English journals in terms of published number and published ratio.

图 1 发文章量与发文章期刊

Fig. 1 Number of published literature and journals

化修饰及抗病毒活性的研究，最早的文献是关于对沙棘果水溶性多糖的分离纯化<sup>[12]</sup>。

此外，沙棘多糖的中英文文献发文量呈现上升趋势。2021 年中文文献的发文量达到 22 篇的历史新高；在 2023 年英文文献的发文量达到峰值（7 篇）。中文文献的发文量呈曲折上涨，但在 2020—2021 年迎来了最大增长，共计 32 篇。英文文献的发文量在 2019 年之前呈现缓慢上涨趋势，在 2020—2023 年呈快速上涨趋势。发文量大幅增长可能是因为沙棘的食疗价值、经济价值以及生态价值被逐步挖掘。同时，伴随着“健康中国 2030”战略目标的提出以及中医药振兴发展重大工程的实施，对新时期的中医药事业发展做出了重大战略部署，如《中医药发展战略规划纲要》（2016—2030 年）、《中医药“一带一路”发展规划》（2016—2020 年）等，为中医药事业发展提供了制度保障及创造了良好的学术氛围，中医药事业发展进入蓬勃发展期。国内、外对于沙棘食品和药品的研究热情预示着这一研究领域的开发和应用前景非常广阔。

此外，对筛选出的 165 篇文献进一步筛选核心数据库，中文文献发表于属于北大核心、CSCD 核心期刊且关联度较高的文献有 73 篇，英文文献去除关联度不高的剩余 25 篇进入核心数据库。CNKI 数据库中共有 73 篇文献发表于 51 种期刊，平均刊载量为 1.43 篇。发表沙棘多糖相关文献数排名 top 10 的核心期刊如图 1 所示。发表沙棘多糖相关文献最多的期刊是《食品工业科技》（12 篇），其次为《食品研究与开发》（8 篇）、《中国免疫学杂志》（4 篇）、《食品科学》（4 篇）等（图 1-c）。《食品工业科技》《食品研究与开发》和《食品科学》为食品领域的核心学术期刊，主要刊载国内外食品行业的高新技术和研究成果，体现国内食品行业的前沿科技成果，具有重要的影响力。

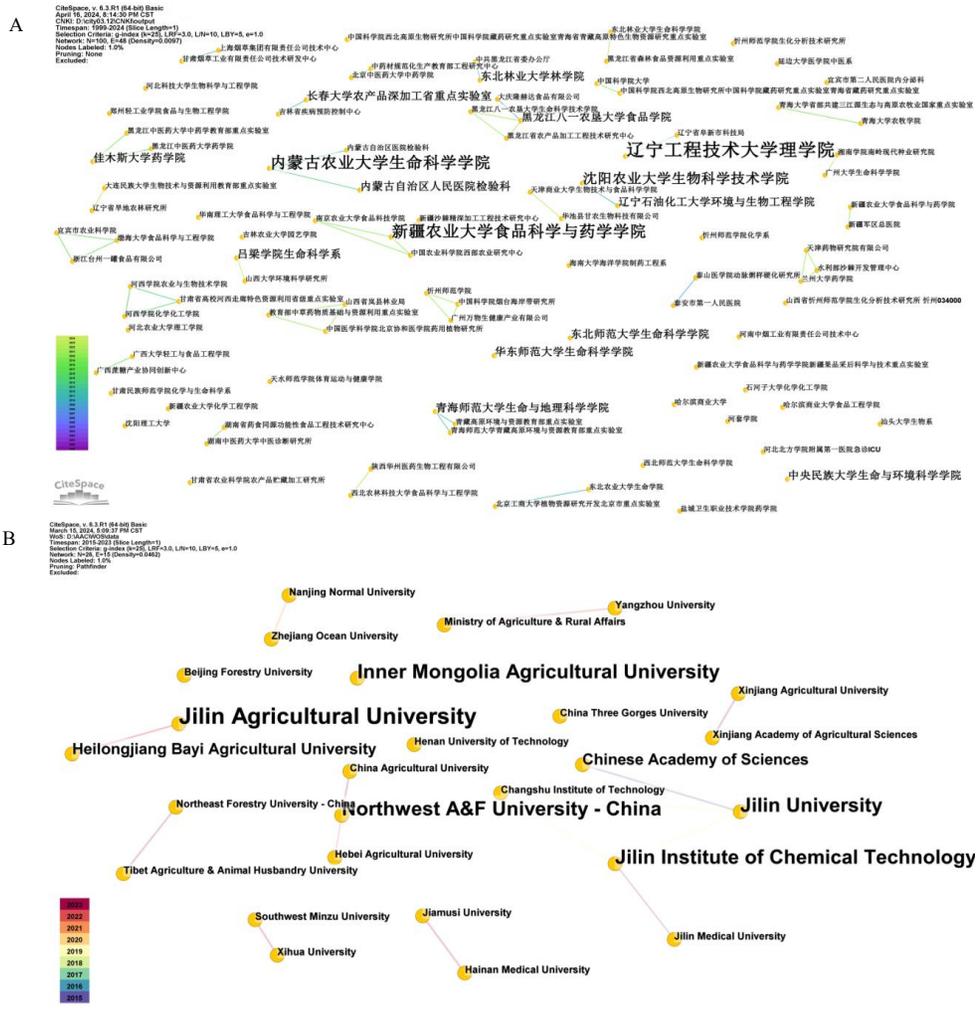
WOS 核心合集数据库中 25 篇文献发表于 16 种期刊，平均刊载量为 1.56 篇。英文文献主要发表于 *International Journal of Biological Macromolecules*（9 篇），该期刊为化学领域一区学术期刊。其次为 *Journal of Ethnopharmacology*（4 篇）、*Carbohydrate Polymers*（2 篇）、*Frontiers in Nutrition*（2 篇）等（图 1-d）。沙棘多糖的研究成果多发表于食品、医学、农林科学等领域的 top 期刊，在国际上具有较高的影响力。

## 2.2 作者、发文机构分析

**2.2.1 发文机构分析** 中文文献的选择标准是所发表期刊进入北大核心、中文社会科学引文索引（Chinese Social Sciences Citation Index, CSSCI）和中国科学引文数据库（Chinese Science Citation Database, CSCD），再根据内容进行选择，最终筛选出 73 篇文献，以“RefWorks”形式导出，将中文文献原始数据导入 CiteSpace 中，选择“institution”对文献机构进行分析，结果如图 2-A 所示。共得到 90 个节点，42 条连线，表明共有 90 个机构发表过有关沙棘多糖成分的文献，连线表明机构间存在合作，字体的大小表明该机构发文的数量。图中所示机构的发文量均在 1 篇以上，其中新疆农业大学食品科学与药学学院、内蒙古农业大学生命科学院以及辽宁工程技术大学的发文量多于其他机构。新疆农业大学食品科学与药学学院在 2021 年之前主要研究沙棘多糖的提取工艺以及抗氧化活性，2022 年开始关注对肝癌细胞的影响<sup>[13]</sup>；2020 年与南京农业大学以及中国农业科学院合作研究沙棘多糖对发酵乳凝胶特性的影响及改善酸奶品质的效用<sup>[14]</sup>。内蒙古农业大学生命科学院更多的是着眼于沙棘多糖对肝损伤的保护作用研究<sup>[15]</sup>，该机构与内蒙古自治区人民医院合作的 2 篇文献均是关于沙棘多糖对肝损伤的保护作用及相关机制的研究<sup>[16-17]</sup>。

英文文献选择 WOS 核心数据库将所选择的 25 篇文献以“Plain text file”形式导出，将英文文献原始数据导入 CiteSpace 中，设定时间等相关参数，选择“institution”进行分析，结果如图 2-B 所示。共有 26 个节点，15 条连线，表明共有 26 个机构发表有关于沙棘多糖的文献，其中在这 26 个机构中有 15 次合作。其中 Jilin Agricultural University（吉林农业大学）、Jilin Institute of Chemical Technology（吉林化工学院）、Northwest A & F University（西北农林科技大学）、Jilin University（吉林大学）和 Inner Mongolia Agricultural University（内蒙古农业大学）的发文量较多。此外，吉林大学与 Chinese Academy of Sciences（中国科学院）合作研究沙棘浆果中提取的多糖的抗肿瘤和免疫刺激活性<sup>[18]</sup>；吉林农业大学与 Heilongjiang Bayi Agricultural University（黑龙江八一农垦大学）分别在 2020 年和 2022 年联合发表了关于沙棘多糖基于转录组和蛋白质组学干预 IPEC-J2 细胞炎症及免疫应激机制的研究<sup>[19-20]</sup>。

**2.2.2 作者分析** 作者合作图谱展示了在沙棘多糖



A-中文文献发文机构; B-英文文献发文机构。

A-published institution of Chinese literature; B-published institution of English literature.

图 2 中英文文献发文机构共现图

Fig. 2 Co-occurrence chart of publishing institution of Chinese and English literature

领域有突出贡献的作者，并挖掘具有较高学术价值的论文，间接反映了作者在该领域的影响力。对中英文文献进行作者共现分析，如图 3 所示，中文图谱选取频数  $\geq 1$  的作者进行标注，英文图谱选取频数  $\geq 2$  的作者进行标注。

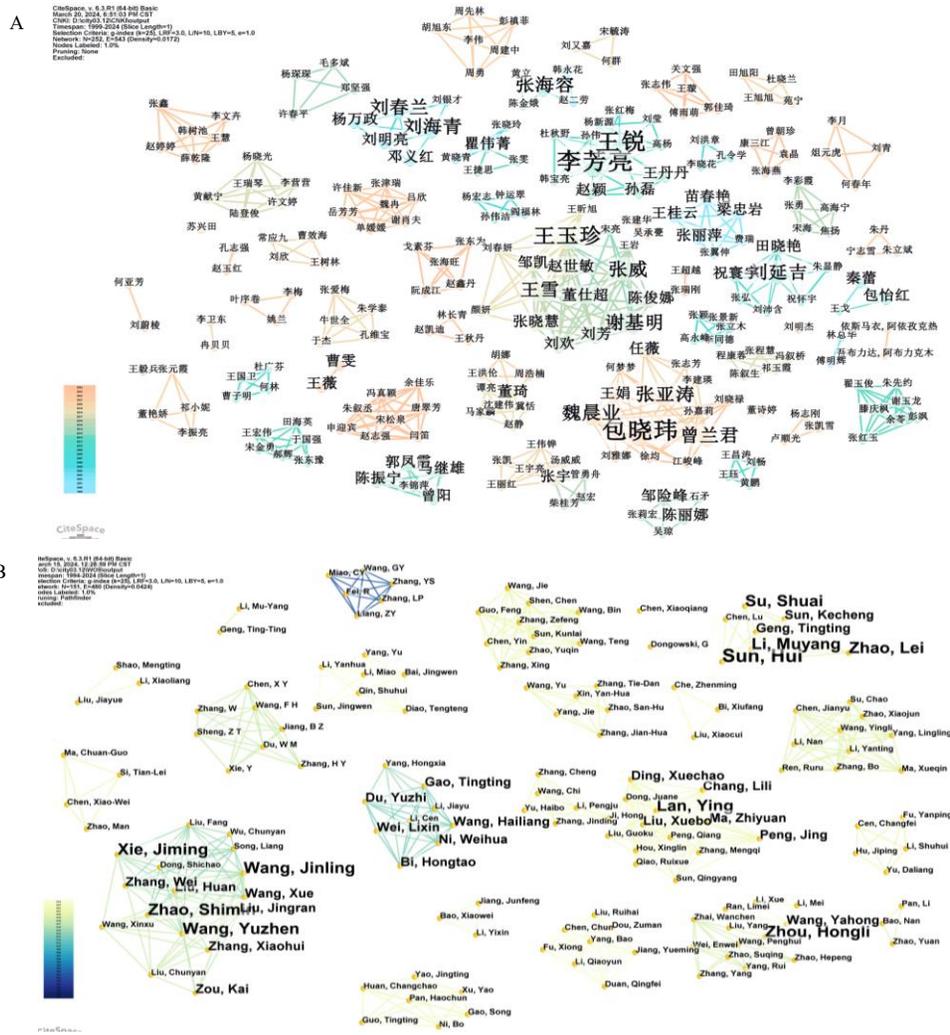
中文图谱共有 252 个节点，543 条连线，如图 3-A 所示，显示李芳亮、王锐、王玉珍、魏晨业、包晓玮等作者的发文量最多，其所在单位分别为辽宁工程技术大学、内蒙古农业大学和新疆农业大学，其中李芳亮和王锐多次合作研究沙棘多糖的提取工艺<sup>[21]</sup>；魏晨业与包晓玮多次合作研究沙棘多糖抗氧化活性等方面<sup>[22]</sup>。主要形成了以李芳亮、魏晨业和包晓玮为主的 3 个核心研究团队。3 个团队内部合作密切，但团队与团队之间的合作较少。

英文图谱共有 151 个节点，480 条连线，如图

3-B 所示，连线的颜色代表作者之间的合作时间，作者名字颜色相同证明彼此之间存在合作，名字的大小代表发文的数量，显示 Sun Hui、Wang Yuzhen、Zhou Hongli、Lan Ying 等的发文量最多，同时形成了以几人为主的 4 个研究团队，其中 Lan Ying 主要研究领域为化学、生物化学和分子生物学等，该作者与 Chang Lili、Ding Xuechao 等合作发表沙棘多糖通过调节肠道菌群失调来改善高脂饮食诱导的小鼠神经炎症和突触功能障碍<sup>[23]</sup>；Sun Hui 与 Zhao Lei、Li Muyang 及 Su Shuai 等合作发表了关于沙棘多糖对猪肠上皮细胞免疫调节和抗氧化活性的影响<sup>[24]</sup>。

### 2.3 基金资助情况

根据数据库导出的原始数据，导入 Microsoft Excel 进行统计分析，在 CNKI 与 WOS 数据库中，



A-中文文献作者合作图谱；B-英文文献作者合作图谱。

A-collaborative chart of authors of Chinese literature; B-collaborative chart of authors of English literature.

图 3 中英文文献作者合作图谱

Fig. 3 Collaborative chart of authors of Chinese and English literature

对中英文文献有关沙棘多糖的基金资助情况进行统计，结果见表 1。获得基金支持的中文论文总数达 57 篇，英文论文总数达 38 篇。其中国家自然科学基金资助占比最多，共有 32 篇，占 top 10 基金总数的 43.8%，其次为内蒙古自然科学基金资助 8 篇，中国博士后基金和国家重点研发计划项目资助发表论文分别为 6 篇和 5 篇。

进一步对国家自然科学基金资助的沙棘及其多糖类项目进行统计，结果如图 4 所示。在 2000—2023 年，共资助沙棘项目 65 项，资助金额高达 2 689 万元。究其原因，2013 年国家发展改革委员会编制了《西部地区重点生态区综合治理规划纲要（2012—2020 年）》以及 2019 年发布了《中共中央国务院关于促进中医药传承创新发展的意见》等文

件，在国家政策支持下，沙棘作为首批纳入药食同源名单的植物，同时其生长特性对生态环境的改善有所助益，因此在 2013、2015 和 2020 年资助沙棘的项目数量较之前有所增加，均为 8 项，资助金额分别为 305 万元、293 万元和 303 万元；资助金额最多是在 2014 年，为 343 万元（4 项）。此外，对沙棘多糖的资助项目共计 5 项，总金额为 172 万元，其中内蒙古农业大学的王玉珍教授于 2012、2015 年共获得 2 项资助，共计 85 万元。结果表明，国家自然科学基金委以及地方政府高度重视对沙棘及其多糖成分的研究，也间接反映学术界普遍认为沙棘具有深挖的价值和潜力，对相关下游产业和产品的研究和开发将带来质的提升和巨大的经济价值和社会效益。

表 1 中英文文献基金资助情况 (top 10)

Table 1 Situation of Chinese and English literature received fund support (top 10)

序号	基金项目	数目	序号	基金项目	数目
1	国家自然科学基金	32	8	吉林省自然科学基金	4
2	内蒙古自治区自然科学基金	8	9	国家高技术研究发展计划	2
3	中国博士后科学基金	6	10	陕西省自然科学基金	2
4	国家重点研发计划项目	5	11	新疆自然科学基金	2
5	青海省自然科学基金	4	12	Russian Science Foundation	1
6	黑龙江省自然科学基金	4	13	Ministry of Science and Higher Education of Poland	1
7	黑龙江省博士后基金	4	14	Tekes-Finnish Funding Agency for Technology and Innovation	1

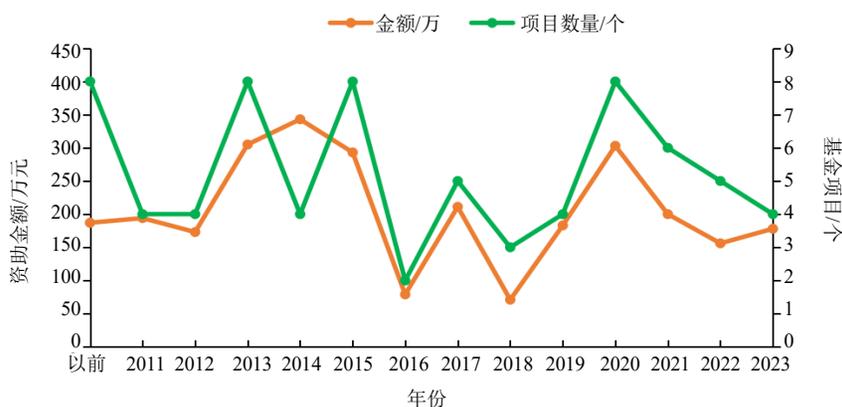


图 4 沙棘国家自然科学基金资助项目统计

Fig. 4 Statistics of *Hippophae Fructus* project funded by National Natural Science Foundation of China

## 2.4 文献被引频次

2000—2023 年被引频次 Top 10 的中英文文献及其发表期刊如表 2 所示。从被引频次可以看出，中文文献中李晓花等<sup>[25]</sup>在 2007 年发表于《吉林农业大学学报》的“沙棘有效成分研究进展”被引频次最高，为 126 次，该文献介绍了沙棘的药效成分及药用价值并提出了开发利用途径。

英文文献中，Ni 等<sup>[26]</sup>于 2013 年发表于 *Journal of Ethnopharmacology* 的“Anti-fatigue activity of polysaccharides from the fruits of four Tibetan plateau indigenous medicinal plants”，在本地被引频次与全球被引频次均为最高达到 159 次，该文献报道从青藏高原本土浆果果实中提取的水溶性沙棘多糖 (HRWP) 表现出明显的抗疲劳活性，其机制是通过刺激运动时的三酰甘油，以及通过调节多种酶如超氧化物歧化酶 (superoxide dismutase, SOD)、谷胱甘肽过氧化物酶、肌酸磷酸激酶、乳酸脱氢酶的活性防止脂质过氧化进而保护红细胞膜；HRWP 主要由 HG 型果胶和部分葡聚糖组成。其次为发表在 *International Journal of Biological Macromolecules* 的

“*Hippophae rhamnoides* polysaccharides protect IPEC-J2 cells from LPS-induced inflammation, apoptosis and barrier dysfunction *in vitro* via inhibiting TLR4/NF- $\kappa$ B signaling pathway”，在本地与全球被引频次为 76 次，该文献主要探讨沙棘多糖通过抑制 Toll 样受体 4 (toll-like receptor 4, TLR4)/核因子- $\kappa$ B (nuclear factor- $\kappa$ B, NF- $\kappa$ B) 信号通路，保护 IPEC-J2 细胞免受脂多糖 (lipopolysaccharide, LPS) 诱导的炎症、凋亡和功能障碍<sup>[27]</sup>。

## 2.5 关键词分析

聚类分析是一种用于将数据点归为相似组的无监督学习方法。在聚类分析过程中，可以尝试将样本数据分成不同的簇，以便通过聚类簇来发现数据的内在结构，从而揭示结果之间存在的类似性或差异性。关键词是对文献主题的高度概括和凝练，不同时期的高频关键词反映该领域研究热点的转变，同时其聚类视图体现聚类间的结构特征，突出关键节点及重要连接，揭示一个知识领域研究主题及其演变进程<sup>[28]</sup>。在共现网络的基础上，采用对数似然比 (log-likelihood ratio, LLR) 算法对中、英文文献关键词分

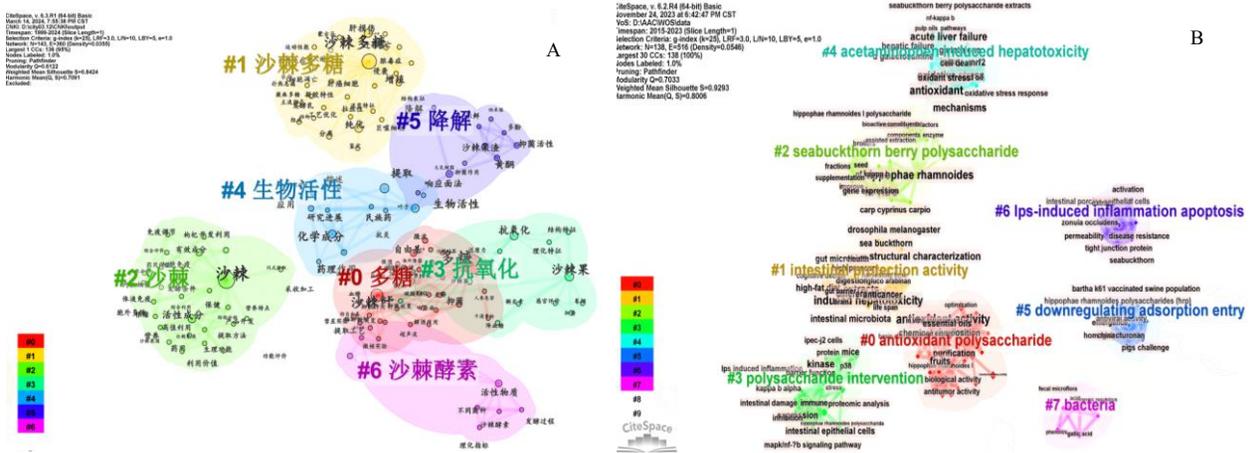
表 2 文献被引频次 (top 10)  
Table 2 Citation frequency of literature (top 10)

序号	中文文献			英文文献		
	题目	期刊	被引频次	题目	期刊	被引频次
1	沙棘有效成分研究进展	吉林农业大学学报	126	Anti-fatigue activity of polysaccharides from the fruits of four Tibetan plateau indigenous medicinal plants	<i>Journal of Ethnopharmacology</i>	159
2	沙棘果水溶性多糖的分离纯化、组分分析及抗氧化活性的研究	食品科学	88	<i>Hippophae rhamnoides</i> polysaccharides protect IPEC-J2 cells from LPS-induced inflammation, apoptosis and barrier dysfunction <i>in vitro</i> via inhibiting TLR4/NF- $\kappa$ B signaling pathway	<i>International Journal of Biological Macromolecules</i>	76
3	沙棘的综合价值研究进展	食品工业科技	85	Protective effects of sea buckthorn polysaccharide extracts against LPS/d-GalN-induced acute liver failure in mice via suppressing TLR4-NF- $\kappa$ B signaling	<i>Journal of Ethnopharmacology</i>	74
4	沙棘果水溶性多糖 Hn 的分离纯化与抗病毒研究	东北师大学报	74	Microwave-assisted extraction releases the antioxidant polysaccharides from seabuckthorn ( <i>Hippophae rhamnoides</i> L.) berries	<i>International Journal of Biological Macromolecules</i>	70
5	沙棘化学成分及药理作用的研究进展	华西药学期刊	66	Seabuckthorn berry polysaccharide extracts protect against acetaminophen induced hepatotoxicity in mice via activating the Nrf-2/HO-1-SOD-2 signaling pathway	<i>Phytomedicine</i>	58
6	沙棘多糖对小鼠实验性高脂血症的影响	营养学报	63	Modulatory effects of several herbal extracts on avian peripheral blood cell immune responses	<i>Phytotherapy Research</i>	53
7	沙棘叶水溶性多糖的分离纯化及体外清楚自由基活性研究	中药材	60	Anticancer and immunostimulating activities of a novel homogalacturonan from <i>Hippophae rhamnoides</i> L. berry	<i>Carbohydrate Polymers</i>	48
8	沙棘果皮多糖清除氧自由基的活性研究	植物学通报	53	Seabuckthorn berry polysaccharide protects against carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in mice via anti-oxidative and anti-inflammatory activities	<i>Food &amp; Function</i>	46
9	沙棘多糖清除自由基及抗脂质过氧化作用研究	食品工业科技	53	Combination of steam explosion pretreatment and anaerobic alkalization treatment to improve enzymatic hydrolysis of <i>Hippophae rhamnoides</i>	<i>Bioresource Technology</i>	30
10	沙棘活性物质研究及开发利用现状	食品研究与开发	51	Seabuckthorn polysaccharide ameliorates high-fat diet-include obesity by gut microbiota-SCFAs-liver axis	<i>Food &amp; Function</i>	29

别进行聚类分析,如图 5 所示。聚类模块值 ( $Q$ ) > 0.3 表明聚类有效;聚类轮廓性指数 ( $S$ ) > 0.7 表明聚类分析结果可信。关键词聚类图谱中有多个聚类相互重叠,提示重叠部分聚类间联系紧密<sup>[29]</sup>。

中文文献纳入关键词 114 个,连线 316 条,  $Q=$

0.572 8,表明聚类有效;  $S=0.834 4$ ,说明聚类分析结果可信。聚类后共得到 6 个标签,数字越小表示包含的关键词越多<sup>[30]</sup>。#0 多糖、#1 沙棘多糖、#2 沙棘,反映了沙棘多糖研究的主体;#3 抗氧化、#4 生物活性,聚焦于沙棘多糖的功效研究,主要探讨沙



A-中文文献关键词聚类; B-英文文献关键词聚类。  
A-keyword clustering of Chinese literatures; B-keyword clustering of English literature.

图 5 中英文文献关键词聚集

Fig. 5 Keyword clustering of Chinese and English literature

棘多糖在抗氧化、抗衰老、抗癌、增强免疫活性以及治疗阿尔茨海默症等机制方面的研究<sup>[4,18]</sup>; #5 降解、#6 沙棘酵素, 表明沙棘作为一种重要的药食同源中药材, 其成分沙棘多糖降解后在抑菌和抗炎方面发挥着巨大作用, 沙棘酵素在发酵后其营养成分及抗氧化活性显著增强, 为沙棘在食品领域的应用提供重要的参考依据<sup>[31]</sup>。

英文文献纳入关键词 138 个, 连线 519 条,  $Q=0.7039$ , 表明聚类有效;  $S=0.943$ , 说明聚类模块是高效率的。WOS 核心合集数据库中选择包含文献数最多的 7 个主要关键词聚类, 包括 #0 antioxidant polysaccharide、#1 intestinal protection activity、#2 seabuckthorn berry polysaccharide、#3 polysaccharide intervention、#4 acetaminophen induced hepatotoxicity、#5 downregulating adsorption entry、#6 LPS-induced inflammation apoptosis 以及 #7 bacteria, 其中沙棘多糖抗氧化方面的研究更为密切<sup>[32]</sup>。综上, 沙棘多糖中外研究热点大致相似, 目前主要集中于沙棘多糖的提取纯化、抗氧化、肠道菌群、炎症、自噬等方面的研究。

### 2.6 关键词突现分析

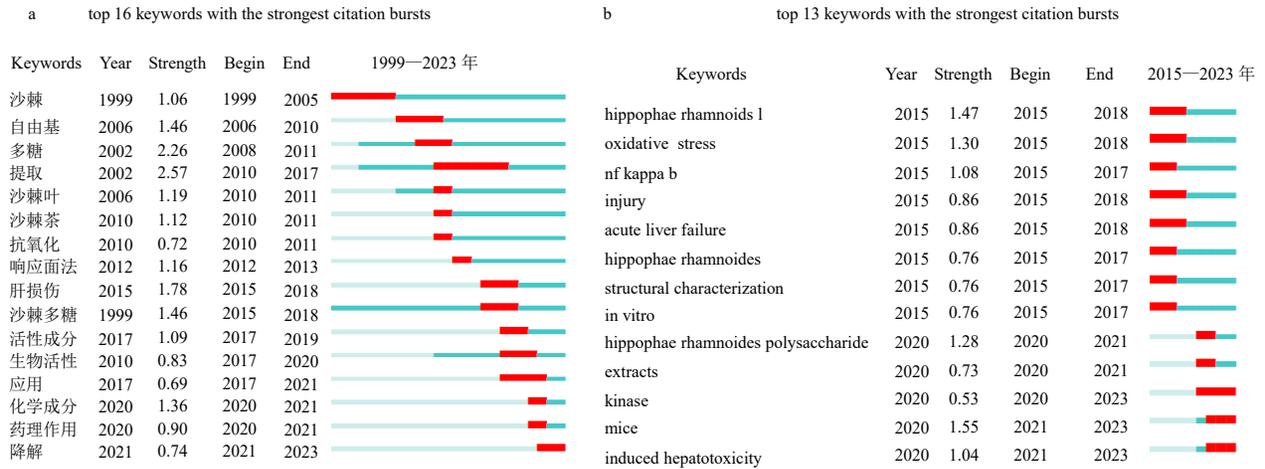
关键词突现是指特定关键词在短期内出现频次急剧攀升, 反映出此段时间内对该词的关注度快速上升, 这种变化不仅揭示了不同时间段内研究热点的转移, 而且可以预测潜在的发展趋势, 为前沿研究领域提供重要的参考依据<sup>[33]</sup>。沙棘多糖中、英文文献关键词突现可视化图谱如图 6 所示, “begin”和“end”分别表示突变的开始时间和结束时间, “strength”表示关键词突变强度, 强度越高表示影

响力越大, 蓝色线表示时间间隔, 红色线表示关键字突现发生的时间间隔。在 20 多年的发展过程中, 中文文献共出现 16 个突现词, 涵盖了沙棘多糖的来源、药理作用、活性成分、作用机制以及应用等内容。1999—2017 年主要集中于沙棘多糖的提取、抗氧化活性等, 关键词包括沙棘多糖、自由基、提取、沙棘叶、抗氧化、响应面法等。2017—2021 年主要是对沙棘多糖的药理作用、活性成分以及应用方面的研究, 关键词包括肝损伤、活性成分、生物活性、应用、化学成分、药理作用等, 2021—2023 年对沙棘降解多糖的研究逐渐增多。

英文文献共出现 13 个突现词, 近年来沙棘多糖的研究热点持续时间不长。2015—2018 年, 英文文献关注于沙棘多糖在氧化应激、急性肝衰竭、NF- $\kappa$ B、结构表征等方面的研究 (关键词包括 oxidative stress、NF- $\kappa$ B、injury、acute liver failure、structural characterization、*in vitro*)。2019 年未出现有影响力的突显关键词。2020—2021 年聚焦于探索沙棘多糖的提取工艺 (关键词 extracts); 2021—2023 年, 实验中多采用以小鼠为模型的体内实验来研究沙棘多糖对肝毒性的影响 (关键词包括 mice、induced hepatotoxicity)。

### 2.7 关键词时间线图分析

时间线图可展现各个研究热点的时间跨度以及不同研究热点之间的相互联系, 进而展示沙棘及多糖类物质研究热点的变化及未来研究趋势<sup>[34]</sup>。利用软件以 1 年作为 1 个时区, 将纳入的关键词结合发表时间进行聚类, 得出沙棘及多糖类物质研究中的



a-中文文献关键词突现图谱; b-英文文献关键词突现图谱。  
a-keyword emergence chart of Chinese literature; b-keyword emergence chart of English literature.

图 6 中英文文献关键词突现图谱

Fig. 6 Keyword emergence chart of Chinese and English literature

关键词时间线图 (图 7)。结果显示, 对沙棘及沙棘多糖的研究一直未停止, 对沙棘叶的研究在近 2 年遇冷, 对沙棘药理作用以及活性物质的研究时间段略短。目前多聚焦于沙棘多糖的抗氧化作用, 以及沙棘多糖的降解对其结构和功效的影响。与突现词结合分析, “降解”这一关键词主要分布

在 2010—2024 年, 沙棘降解多糖是此领域新兴的研究热点。

同时, 将所纳入关键词结合发表时间和聚类得到沙棘多糖的英文文献关键词时间线图 (图 8)。抗氧化多糖在 2010—2020 年的关注度更高, 特别是沙棘多糖的纯化和结构表征, 之后有所减缓; 从 2020

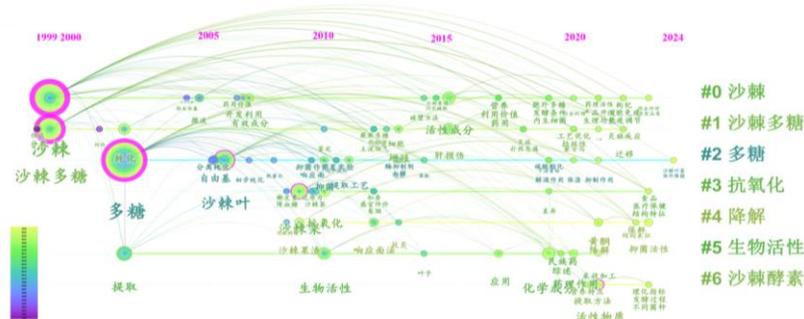


图 7 中文文献关键词时间线图

Fig. 7 Keyword timeline map of Chinese literature

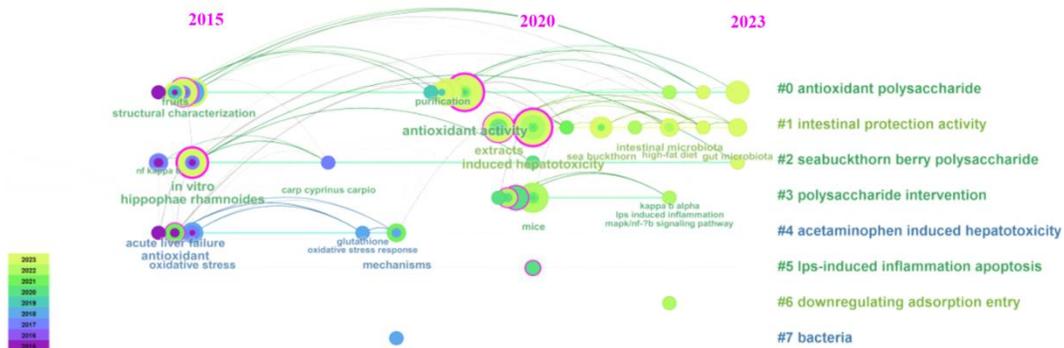


图 8 英文文献关键词时间线图

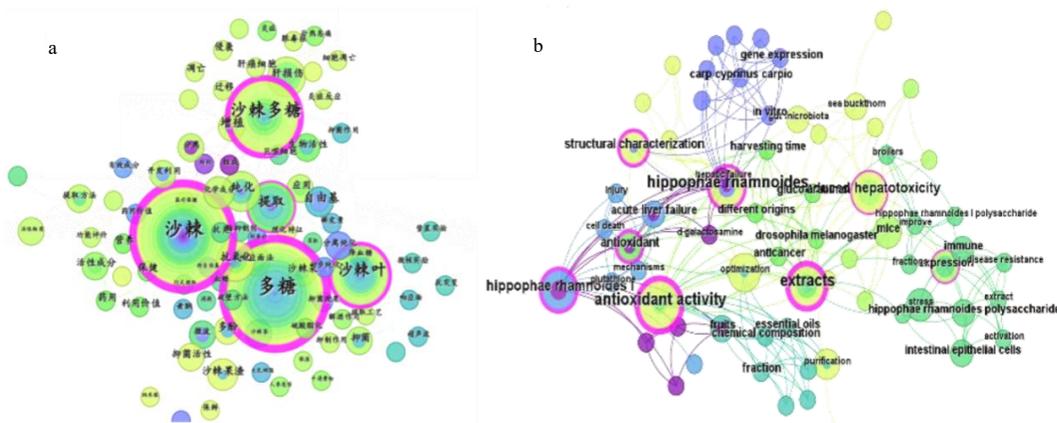
Fig. 8 Keyword timeline map of English literature

年开始对沙棘多糖在肠道保护方面的作用进行研究（主要关注于肠道微生物），一直持续至 2023 年；沙棘多糖的干预及对乙酰氨基酚引起的肝毒性在 2020 年之前有一定的研究。综合分析，目前英文文献多聚焦于沙棘多糖在肠道保护方面的研究。

2.8 关键词共现分析

对文献中高频和高中心度关键词进行分析并以

可视化图谱的形式展现出来，可以探寻该领域的研究热点。节点外圈的紫色年轮代表中心度，即 1 个节点作为其他 2 个节点之间最短路径的桥梁的次数，紫色年轮边框的厚度与其中中心度的强度成正比。中英文文献均选取频数 ≥ 2 的关键词进行标注，中英文文献关键词共现图谱如图 9 所示。中英文文献高频关键词见表 3。



a-中文关键词共现图；b-英文关键词共现图。

a-keyword co-occurrence chart of Chinese literature; b-keyword co-occurrence chart of English literature.

图 9 中英文关键词共现图

Fig. 9 Keyword co-occurrence chart of Chinese and English literature

表 3 沙棘多糖中英文文献高频关键词信息 (Top 20)

Table 3 Information of high frequency keywords in Chinese and English literature on *Hippophae Fructus* polysaccharides (Top 20)

中文关键词	频次	中心度	英文关键词	频次	中心度
多糖	33	0.82	antioxidant activity	7	0.39
沙棘	24	0.80	induced hepatotoxicity	7	0.29
沙棘多糖	17	0.58	<i>in vitro</i>	4	0.27
沙棘叶	12	0.11	<i>hippophae rhamnoides</i>	4	0.26
抗氧化	5	0.04	expression	3	0.19
生物活性	3	0.04	kinase	2	0.19
微波	2	0.03	extracts	5	0.18
提取	6	0.03	structural characterization	4	0.17
提取方法	2	0.03	activation	1	0.16
化学成分	3	0.02	antioxidant	2	0.14
活性物质	2	0.02	mice	5	0.10
纯化	5	0.02	fruits	3	0.10
降解	2	0.02	stress	3	0.10
黄酮	3	0.02	mechanisms	2	0.09
响应面法	3	0.01	intestinal microbiota	2	0.07
多酚	2	0.01	sea buckthorn	3	0.06
应用	2	0.01	barrier function	1	0.06
沙棘果	4	0.01	acute liver failure	2	0.04
自由基	3	0.01	purification	3	0.03
药理作用	2	0.01	oxidative stress	3	0.03

中文文献关键词共现图谱中包括 94 个节点, 212 条连线, 节点间联系较为紧密。结合图谱和检索词对各关键词进一步梳理, 包括沙棘多糖的化学成分、结构表征、理化性质及质量评价(关键词为化学成分、结构表征、流变特征、理化指标); 沙棘多糖的提取、制备工艺研究(关键词为提取工艺、超声提取、分离纯化、采收加工); 沙棘多糖的生物活性和药理作用研究(关键词为生物活性、药理作用、抗氧化、免疫调节、巨噬细胞、炎症反应、抗突变); 沙棘多糖治疗疾病方面的研究(关键词为抗氧化、降血糖、肝损伤、抗炎、自由基、抑菌); 沙棘多糖的其他研究(关键词为沙棘茶、医疗保健、食品、开发利用、产品开发)。中心度 $\geq 0.03$ 的关键词有多糖(0.82)、沙棘(0.8)、沙棘多糖(0.58)、沙棘叶(0.11)、抗氧化(0.04)、生物活性(0.04)、微波(0.03)、提取(0.03)、提取方法(0.03), 且前 4 位频次大于 10, 提示中文文献侧重于沙棘多糖的化学成分、药理作用、生物活性和提取工艺的研究。

英文文献关键词共现图谱中包括 78 个节点, 230 条连线, 各节点间联系紧密, 说明英文文献研究面较广。结合图谱和检索词对各关键词进一步梳理, 包括沙棘多糖化学成分及结构表征研究(关键词为 structural characterization、chemical composition、extracts、*D*-galactosamine、glutathione 等), 该方向的研究主要注重对沙棘多糖的提取、纯化和鉴定, 以确定其分子结构、组成和理化性质; 生物活性及药理作用研究(关键词为 antioxidant activity、induced hepatotoxicity、antioxidant、intestinal microbiota、oxidative stress 等), 该方向的研究主要探讨沙棘多糖对生理机能的作用, 并探索其作为代谢调节剂或者药物的潜在价值; 沙棘多糖在疾病治疗方面的应用研究, 包括急性肝衰竭、抗癌、对肠道微生物群的调节及免疫调节作用等(关键词为 acute liver failure、anticancer、intestinal microbiota、immune)。中心度 $\geq 0.1$ 的前 10 位关键词有 antioxidant activity(0.39)、induced hepatotoxicity(0.29)、*in vitro*(0.27)、hippophae rhamnoides(0.26)、expression(0.19)、kinase(0.19)、extracts(0.18)、structural characterization(0.17)、activation(0.16)、antioxidant(0.14)。提示沙棘多糖提取物在抗氧化和抗肝毒性方面展现出较好的生物活性以及应用前景。

### 3 讨论

CNKI 是世界上最大的、连续动态更新的中文

学术期刊全文数据库; WOS 是全球最大、覆盖学科最多的综合信息资源检索数据库。沙棘因其独特的营养价值和广泛的药用潜力而受到全球研究者的广泛关注。沙棘多糖作为沙棘关键的活性成分之一, 国内外大量的研究人员和团队对其进行了广泛研究。为了全面掌握沙棘多糖在国内外的研究动态和热点, 本研究采用文献计量学的方法, 对来自 CNKI 数据库的中文文献和 WOS 数据库的英文文献应用 Citespace 进行可视化分析; 并在 VOSviewer 的基础上, 引入 Biblimetrix 分析工具, 通过关键词演化图、关键词热点预测图对沙棘多糖的研究历史、趋势变迁、未来的研究热点等进行多方位的分析, 以获得更加精准可靠、具有重要参考价值的结果, 为后续的研究工作提供了坚实的理论基础和方向指引。

从沙棘多糖的文献计量分析中可以看出, 中英文文献的发文量呈现曲折上升的趋势, 近 3 年保持高水平的研究态势, 且中英文文献数量之间的差距逐渐缩小, 中国作者的发文量远多于外国作者。《食品工业科技》和《食品研究与开发》为中文文献发文量排名前 2 的期刊。新疆农业大学、内蒙古农业大学分别是沙棘多糖中英文文献发文量最高的机构, 原因可能是沙棘的应用历史最早记载出自于藏药、蒙医专著, 同时机构所在的地区适宜沙棘的生长, 大多数研究机构主要集中在高校。但应加强机构间的交流合作, 分享不同地区的研究成果, 提升沙棘及其多糖类物质的研究水平并增强其国际影响力, 推动沙棘及其多糖在功能性食品与医药产品方面的研发与应用。

根据关键词突现和共现分析, 发现中英文文献都着重于从不同方面探究沙棘多糖的活性成分、药理活性、作用机制及应用等。中文文献更侧重于沙棘的活性成分、提取纯化、药食同源价值、抗氧化、开发利用等, 而英文文献主要关注沙棘多糖的结构表征、抗氧化、肠道保护、急性肝衰竭、炎症细胞凋亡等研究及作用机制。沙棘多糖对肝损伤的保护作用及氧化应激为 2015—2018 年的研究热点之一。沙棘多糖对 LPS/*D*-氨基半乳糖、 $\text{CCl}_4$ 、对乙酰氨基酚等多种药物诱导的小鼠急性肝损伤及非酒精性脂肪肝具有良好的保护作用, 减轻炎症反应造成的肝损伤, 其作用机制涉及抗氧化、抗炎以及 TLR4/NF- $\kappa$ B、丝裂原活化蛋白激酶(mitogen activated protein kinases, MAPK)、核因子 E2 相关因子 2(nuclear factor E2-related factor 2, Nrf2)/血红素氧合酶-1(heme

oxygenase-1, HO-1)-SOD-2 等多种信号通路<sup>[35-36]</sup>。沙棘多糖有望开发成为一种新型的能够改善肝脏损伤的功能性食品或保肝药物。2021—2024 年沙棘多糖的研究热点突现为化学结构、肥胖、糖尿病、肠道菌群、认知功能障碍等。多项研究表明,沙棘多糖通过调节肠-肝轴,重塑肠道微生物菌群结构,促进菌群代谢物短链脂肪酸产生,在肥胖、糖尿病、免疫、炎症等多方面发挥治疗作用<sup>[37-39]</sup>。此外,沙棘多糖对小鼠认知功能障碍具有显著的神经保护作用。Lan 等<sup>[23]</sup>研究发现,沙棘多糖通过激活响应性元件结合蛋白(cAMP responsive element-binding protein, CREB)/脑源性神经营养因子(brain derived neurotrophic factor, BDNF)/酪氨酸激酶 B (tyrosine kinase B, TrkB) 通路改善突触功能障碍,抑制 NF- $\kappa$ B 通路减少小鼠脑内神经炎症的发生,还可调节高脂饮食小鼠的肠道菌群结构,减轻肠道屏障损伤、炎症反应和脂多糖入侵血液循环。另一项研究发现,沙棘多糖可以改善 D-Gal 和 AlCl<sub>3</sub> 诱导的阿尔茨海默病小鼠的学习记忆能力和认知功能障碍,减轻  $\beta$ -淀粉样蛋白肽沉积和神经元细胞坏死,其机制可能与调节 Kelch 样 ECH 相关蛋白(Kelch-like ECH-associated protein 1, Keap1)/Nrf2 和 TLR4/髓样分化蛋白 88(myeloid differential protein 88, MyD88) 信号通路介导氧化应激和炎症反应,上调阿尔茨海默病小鼠脑内 Nrf2、SOD 和谷胱甘肽过氧化物酶的表达有关<sup>[40]</sup>。关键词分析提示,已开展了沙棘多糖的化学结构、药理活性、肠道菌群以及神经保护等方面相关研究,其作用途径与相关通路等仍需进一步深入研究,而这些方面仍然是未来沙棘多糖的研究热点。

然而,通过可视化分析结合当前沙棘多糖的研究现状,可以看出沙棘多糖的研究和应用仍有许多问题亟待解决,主要包括以下几点:(1) 缺乏提取、炮制及质量控制的标准化研究,应制定一套完善的分离提纯、炮制加工以及质量控制的标准化方法。(2) 沙棘多糖的药理作用机制研究不够深入,许多目标靶点的分子机制尚不清晰。精准解析沙棘多糖的生物活性机制、构效关系以及药动学,有望将沙棘多糖开发成为治疗肝损伤、免疫疾病、抗癌等方面理想的辅助药物,具有广阔的开发应用前景。(3) 临床应用与商业开发明显不足。尽管对沙棘多糖的药理活性和作用机制进行了广泛的体外研究,但其临床研究及应用上的局限性仍然明显。沙棘作为一

种药食同源的宝贵资源,应大力推动其功能性食品和医药产品的研发,并且积极开展安全科学的临床试验,这不仅能够确保产品的安全性和有效性,更能够促进中医药与现代科技的深度融合与发展。此外,虽然市场上已有沙棘酒制品、沙棘茶、沙棘果汁、沙棘果脯、沙棘乳制品等产品问世,但目前仍处于发展阶段,市场知名度、市场份额较低,沙棘多糖食品的开发和推广任重道远。(4) 动物医学领域研究相对匮乏。由于中药多糖具有免疫调节、抗菌、抗氧化、降血糖等多种生物活性,被广泛应用于畜牧与动物医学领域,并取得了显著成效<sup>[41]</sup>。例如,黄芪多糖能够增强机体免疫力和调节肠道菌群平衡等功效,在经济动物的养殖领域获得了广泛应用<sup>[42]</sup>。同样,枸杞多糖也被证实可在肉鸡及水产养殖中,可以有效提升养殖产品的肉质、色泽等生物学指标及产量,同时降低病害的发生率<sup>[43]</sup>。然而,沙棘多糖在此领域鲜有报道,在日粮中添加 10% 沙棘多糖可以提高蒙古马的运动性能,降低运动后血清中糖代谢指标含量,缓解运动后疲劳<sup>[44]</sup>。该研究为沙棘多糖在此领域的应用提供了一定的理论基础,具有可观的应用前景。

#### 4 结论

本研究采用文献计量学方法,展示了沙棘多糖的主要研究内容、研究热点及发展演进过程。沙棘多糖研究经历了缓慢上升期、波动增长期,目前处于快速增长阶段。关键词突现及演化图谱显示沙棘多糖的化学结构、药理活性、构效关系、肝损伤保护、肠道菌群、神经保护等方面依然可能是未来几年的研究热点。

沙棘作为一种药食同源中药,富含多种活性成分,但其功效、结构和构效关系有待于深入研究。未来应致力于以下几方面:(1) 探究沙棘多糖工业化生产的质量标准;(2) 完善沙棘多糖治疗肝损伤、提高免疫功能、抗氧化、炎症反应及对肠道菌群的调节等分子机制及其构效关系的研究,在临床实践中深入开展沙棘多糖的药理作用及其临床应用研究;(3) 深化沙棘多糖在新型功能性食品和医药产品领域的研发力度,并拓宽其推广渠道,充分发挥沙棘多糖药食同源的优势;(4) 积极开展沙棘多糖在畜牧与动物医学领域的研究,探索其在经济动物养殖中的潜在价值。综上所述,本研究梳理了沙棘多糖的研究热点及其发展脉络,为进一步研究及开发沙棘多糖提供了新的思路。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 何长廷, 昂青才旦, 才曾卓玛, 等. 沙棘资源、药用状况及其对心血管疾病药理作用概述 [J]. 中国野生植物资源, 2023, 42(4): 1-7.
- [2] 王欣欣, 陈小艳, 张文莲, 等. 蒙药沙棘概况及药理作用研究进展 [J]. 中国民族医药杂志, 2022, 28(11): 51-54.
- [3] 中国药典 [S]. 一部. 2020: 191.
- [4] 尼亚孜·乌吉艾合买提, 刘续元, 阿卜来海提·阿卜杜瓦伊提, 等. 沙棘不同部位化学成分和药理作用研究概况 [J]. 中国民族民间医药, 2020, 29(12): 72-76.
- [5] Ciesarová Z, Murkovic M, Cejpek K, *et al.* Why is sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) so exceptional? A review [J]. *Food Res Int*, 2020, 133: 109170.
- [6] Teng H, He Z G, Hong C Z, *et al.* Extraction, purification, structural characterization and pharmacological activities of polysaccharides from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.): A review [J]. *J Ethnopharmacol*, 2024, 324: 117809.
- [7] 胡高爽, 高山, 王若桦, 等. 沙棘活性物质研究及开发利用现状 [J]. 食品研究与开发, 2021, 42(3): 218-224.
- [8] 王蓉, 李胜男, 陈春, 等. 沙棘多糖对巨噬细胞和免疫抑制小鼠的免疫调节作用研究 [J]. 中南药学, 2020, 18(3): 384-388.
- [9] 孔雨朦, 刘晓轩, 钟鹏英, 等. 基于文献计量学的鱼腥草研究热点可视化分析 [J]. 中草药, 2023, 54(20): 6777-6790.
- [10] 郝毫, 陈琛. 基于文献计量的我国食品沙棘研究进展分析 [J]. 现代食品, 2022, 28(9): 12-17.
- [11] 邓清月, 吕芳, 董英, 等. 枸杞多糖中医药研究概况: 文献计量学分析 [J]. 中草药, 2023, 54(9): 2852-2862.
- [12] 陈奕璇, 郭佳琦, 关文强, 等. 沙棘综合开发利用研究进展 [J]. 食品研究与开发, 2023, 44(19): 201-207.
- [13] 包晓玮, 魏晨业, 刘晓禄, 等. 沙棘多糖对肝癌细胞 Hep-G2 生长、凋亡、迁移和侵袭的影响 [J]. 中国食品学报, 2022, 22(9): 47-54.
- [14] 周勇, 李伟, 彭祺菲, 等. 沙棘多糖对发酵凝胶特性的影响及沙棘多糖酸奶工艺优化 [J]. 中国乳品工业, 2020, 48(7): 26-31.
- [15] 张晓慧, 宋亮, 赵世敏, 等. 沙棘多糖对脂多糖诱导的小鼠急性肝损伤的保护作用 [J]. 内蒙古农业大学学报: 自然科学版, 2017, 38(3): 1-7.
- [16] 王雪, 张威, 刘欢, 等. 沙棘多糖提取物对 LPS/D-GalN 诱导的小鼠肝损伤的保护作用及其对 TLR4, SOCS3 表达的调控 [J]. 中国免疫学杂志, 2015, 31(11): 1457-1460.
- [17] 刘芳, 赵世敏, 张威, 等. 沙棘多糖对急性肝损伤小鼠氧化应激的抑制作用及其对 BCL-2/Bax 和 PPAR $\gamma$  的调控 [J]. 中国免疫学杂志, 2016, 32(3): 358-361.
- [18] Wang H L, Gao T T, Du Y Z, *et al.* Anticancer and immunostimulating activities of a novel homogalacturonan from *Hippophae rhamnoides* L. berry [J]. *Carbohydr Polym*, 2015, 131: 288-296.
- [19] Zhao L, Geng T T, Sun K C, *et al.* Proteomic analysis reveals the molecular mechanism of *Hippophae rhamnoides* polysaccharide intervention in LPS-induced inflammation of IPEC-J2 cells in piglets [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 164: 3294-3304.
- [20] Li M Y, Chen L, Zhao Y R, *et al.* Research on the mechanism of HRP relieving IPEC-J2 cells immunological stress based on transcriptome sequencing analysis [J]. *Front Nutr*, 2022, 9: 944390.
- [21] 李芳亮, 王锐, 孙磊, 等. 响应面优化蒽酮-硫酸法测定水溶性沙棘叶多糖含量 [J]. 光谱实验室, 2012, 29(1): 185-190.
- [22] 魏晨业, 包晓玮, 王娟, 等. 沙棘多糖分离纯化及抗氧化活性 [J]. 食品科学, 2021, 42(4): 227-232.
- [23] Lan Y, Ma Z Y, Chang L L, *et al.* Sea buckthorn polysaccharide ameliorates high-fat diet induced mice neuroinflammation and synaptic dysfunction via regulating gut dysbiosis [J]. *Int J Biol Macromol*, 2023, 236: 123797.
- [24] Zhao L, Li M Y, Su S, *et al.* *Hippophae rhamnoides* L. polysaccharide enhances antioxidant enzyme activity, cytokine level, and related mRNA expression in intestinal porcine epithelial cells [J]. *Can J Anim Sci*, 2020, 100(1): 193-204.
- [25] 李晓花, 孔令学, 刘洪章. 沙棘有效成分研究进展 [J]. 吉林农业大学学报, 2007, 29(2): 162-167.
- [26] Ni W H, Gao T T, Wang H L, *et al.* Anti-fatigue activity of polysaccharides from the fruits of four Tibetan Plateau indigenous medicinal plants [J]. *J Ethnopharmacol*, 2013, 150(2): 529-535.
- [27] Zhao L, Li M Y, Sun K C, *et al.* *Hippophae rhamnoides* polysaccharides protect IPEC-J2 cells from LPS-induced inflammation, apoptosis and barrier dysfunction *in vitro* via inhibiting TLR4/NF- $\kappa$ B signaling pathway [J]. *Int J Biol Macromol*, 2020, 155: 1202-1215.
- [28] 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能 [J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253.
- [29] 李浩林, 雒扬, 李伟青, 等. 2000—2022 年中医药调控骨代谢研究文献可视化分析 [J]. 中国中医药信息杂志, 2023, 30(8): 56-62.

- [30] 赵蓉英, 许丽敏. 文献计量学发展演进与研究前沿的知识图谱探析 [J]. 中国图书馆学报, 2010, 36(5): 60-68.
- [31] 孔志强, 赵玉红. 沙棘降解多糖结构表征和功能特性研究 [J]. 食品科学技术学报, 2023, 41(6): 65-74.
- [32] Zhang W, Zhang X H, Zou K, *et al.* Seabuckthorn berry polysaccharide protects against carbon tetrachloride-induced hepatotoxicity in mice via anti-oxidative and anti-inflammatory activities [J]. *Food Funct*, 2017, 8(9): 3130-3138.
- [33] Zhong D L, Li Y X, Huang Y J, *et al.* Molecular mechanisms of exercise on cancer: A bibliometrics study and visualization analysis via CiteSpace [J]. *Front Mol Biosci*, 2022, 8: 797902.
- [34] 刘晓轩, 张驰, 黄思琪, 等. 黄精多糖类物质研究现状及发展动态的文献计量学分析 [J]. 中草药, 2023, 54(21): 7130-7141.
- [35] Liu H, Zhang W, Dong S C, *et al.* Protective effects of sea buckthorn polysaccharide extracts against LPS/d-GalN-induced acute liver failure in mice via suppressing TLR4-NF- $\kappa$ B signaling [J]. *J Ethnopharmacol*, 2015, 176: 69-78.
- [36] Wang X, Liu J R, Zhang X H, *et al.* Seabuckthorn berry polysaccharide extracts protect against acetaminophen induced hepatotoxicity in mice via activating the Nrf-2/HO-1-SOD-2 signaling pathway [J]. *Phytomedicine*, 2018, 38: 90-97.
- [37] Ma Z Y, Sun Q Y, Chang L L, *et al.* A natural anti-obesity reagent derived from sea buckthorn polysaccharides: Structure characterization and anti-obesity evaluation *in vivo* [J]. *Food Chem*, 2022, 375: 131884.
- [38] Lan Y, Sun Q Y, Ma Z Y, *et al.* Seabuckthorn polysaccharide ameliorates high-fat diet-induced obesity by gut microbiota-SCFAs-liver axis [J]. *Food Funct*, 2022, 13(5): 2925-2937.
- [39] Wang J M, Ren C X, Jin L L, *et al.* Seabuckthorn Wuwei Pulvis attenuates chronic obstructive pulmonary disease in rat through gut microbiota-short chain fatty acids axis [J]. *J Ethnopharmacol*, 2023, 314: 116591.
- [40] Zhao H, Liu J Y, Wang Y Y, *et al.* Polysaccharides from sea buckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) berries ameliorate cognitive dysfunction in AD mice induced by a combination of d-gal and AlCl<sub>3</sub> by suppressing oxidative stress and inflammation reaction [J]. *J Sci Food Agric*, 2023, 103(12): 6005-6016.
- [41] 段晨晨, 赵文晓, 吕琴, 等. 药食同源类中药多糖在功能性保健食品方面的药理作用研究进展 [J]. 世界科学技术—中医药现代化, 2022, 24(10): 3844-3850.
- [42] 李金泽, 李梦蕊, 李永霞, 等. 黄芪多糖在动物疾病与保健中的应用 [J]. 当代畜牧, 2023, 1: 72-74.
- [43] 王大会, 胡强, 李泰君. 枸杞及枸杞多糖在水产养殖中的应用分析 [J]. 江西水产科技, 2020(3): 43-45.
- [44] 苏兴田. 饲料中添加不同水平的沙棘多糖对蒙古马运动性能及糖代谢的影响 [J]. 中国饲料, 2020(13): 53-56.

[责任编辑 潘明佳]