

基于文献计量学分析中药多糖作用于肠道菌群的研究现状与发展前景

王虹洁¹, 王 永², 王 英², 陈慧娟³, 曾 勇¹, 邝婷婷^{2*}

1. 成都中医药大学药学院, 四川 成都 611137

2. 成都中医药大学民族医药学院, 四川 成都 611137

3. 四川省第二中医医院, 四川 成都 610014

摘要: **目的** 基于文献计量学和可视化分析技术对多糖作用于肠道菌群的研究现状和热点进行系统性分析, 为今后相关研究提供方向。 **方法** 以中国知网、维普、万方及 Web of Science 为数据来源, 检索“肠道微生物群和多糖”相关中英文文献, 运用 Cite Space、VOS viewer 及 Microsoft Excel 等工具, 对文献发文量、核心研究机构、高产作者、高被引期刊、关键词聚类及突现特征展开可视化与计量分析。 **结果** 共纳入有效中文文献 1 684 篇、英文文献 872 篇, 近 10 年该领域发文量整体呈“先升后降”趋势, 2017 年后进入快速增长阶段; 中国(以南昌大学、南京农业大学为核心机构)与美国为主要研究力量, 其中中国因中药多糖资源丰富、政策支持力度大, 发文量居全球首位; 中英文研究呈现差异化路径, 中文文献早期聚焦单一多糖(如黄芪多糖、枸杞多糖)对肠道菌群丰度的基础调节, 后期转向构效关系与畜牧/临床应用; 英文文献则从肠道屏障功能研究逐步拓展至溃疡性结肠炎机制解析, 体外发酵模型的应用推动了代谢综合征与短链脂肪酸(short-chain fatty acids, SCFAs)的关联研究。关键词聚类与突现分析表明, 免疫调节、结构表征、代谢综合征、短链脂肪酸为核心热点, 2022 年后“高脂饮食”“精准调控”成为新兴方向。 **结论** 多糖与肠道菌群的互作机制、构效关系及在代谢性疾病(肥胖等)中的应用是未来核心研究方向, 中英文研究的协作互补将推动该领域向“精准化、临床化”发展。

关键词: 肠道菌群; 中药; 多糖; 文献计量分析; 研究热点及趋势; 可视化

中图分类号: G350; R285 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-2670(2026)03-1041-13

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2026.03.021

Research status and development prospects of traditional Chinese medicine polysaccharides acting on intestinal flora based on bibliometric analysis

WANG Hongjie¹, WANG Yong², WANG Ying², CHEN Huijuan³, ZENG Yong¹, KUANG Tingting²

1. Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, School of Pharmacy, Chengdu 611137, China

2. Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, School of Ethnic Medicine, Chengdu 611137, China

3. Sichuan Second Hospital of Traditional Chinese Medicine, Chengdu 610014, China

Abstract: Objective Drawing on bibliometric and visualization techniques, this study systematically maps the current landscape and emerging hotspots of polysaccharide-gut microbiota research, offering an evidence-based roadmap for future investigations. **Methods** China National Knowledge Infrastructure (CNKI), VIP, Wanfang and Web of Science (WOS) were searched for Chinese- and English-language publications on “gut microbiota AND polysaccharides”. CiteSpace, VOSviewer and Microsoft Excel were employed to visualize and quantify annual output, leading institutes, prolific authors, highly cited journals, keyword clusters and burst terms. **Results** A total of 1 684 Chinese and 872 English articles were retained. Over the past decade, the field exhibited an “ascend-descend” pattern, entering a rapid-growth phase after 2017. China (Nanchang University and Nanjing Agricultural University as hubs) and the USA dominate the output; China ranks first globally, benefiting from abundant traditional-Chinese-medicine polysaccharide resources and strong policy support. Chinese and English literatures evolved differently: Chinese papers initially focused on single polysaccharides (e.g., *Astragali Radix* or *Lycium barbarum* polysaccharides) modulating

收稿日期: 2025-08-26

基金项目: 四川省自然科学基金项目(面上项目)(2026NSFSC0614); 四川省自然科学基金项目(青年基金项目)(2025ZNSFSC1821); 2023 年全国中药特色技术传承人才培养项目(T20234832005)

作者简介: 王虹洁, 硕士研究生, 研究方向为中药药理学。E-mail: wanghongjie@stu.cdutcm.edu.cn

*通信作者: 邝婷婷, 副教授, 硕士生导师, 从事中药化学与分析学研究。E-mail: kuangtingting@cdutcm.edu.cn

microbial abundance, then shifted to structure–activity relationships and veterinary/clinical applications, whereas English papers moved from gut–barrier function to ulcerative colitis mechanisms, with *in vitro* fermentation models advancing studies linking metabolic syndrome to short-chain fatty acids (SCFAs). Keyword clustering and burst detection identified immunomodulation, structural characterization, metabolic syndrome and SCFAs as core topics, while “high-fat diet” and “precision regulation” emerged after 2022. **Conclusion** Interactions between polysaccharides and gut microbiota, their structure–activity relationships, and applications in metabolic diseases such as obesity constitute the central research agenda. Complementary Chinese–English collaboration will propel the field toward precision and clinical translation.

Key words: intestinal flora; traditional Chinese medicine; polysaccharides; bibliometric analysis; research hotspots and trends; visualization

多糖是一类由多个单糖通过糖苷键缩合而成的高分子类化合物。植物、动物及真菌类均含有不同类型的多糖。多糖具有调节免疫、抗肿瘤、降血糖、神经保护等作用，因其不良反应少、安全性高、功能广泛等优点已成为现代药物研究的热点。大多数天然多糖在口服后不能在胃或小肠中消化，而是在大肠中由肠道微生物菌群发酵后发挥作用^[1-2]。肠道作为人体重要消化吸收场所，是一个包含细菌、真菌、古菌等多种微生物菌落的复杂共生生态系统。不同肠道菌群种类对疾病预防和治疗发挥不同的重要调控作用。多糖与肠道菌群相互作用，对宿主健康产生重要影响，多糖通过调节有益菌增殖、抑制有害菌生长，调节肠道菌群组成，改善肠道功能，缓解肠黏膜损伤。同时肠道菌群中的拟杆菌门、厚壁菌门、变形菌门等能降解多糖，并生成短链脂肪酸等一系列代谢产物。

多糖通过肠道菌群直接或间接调控宿主健康，承担这一作用的关键依赖于各种多糖复杂的化学结构和衍生物的多样性。中药多糖由不同单糖构成，其单糖构成组分和比例、糖苷键的连接，以及空间结构均对其生物活性有影响。多糖结构的精细化以及通过改变多糖物理化学性质使其高活性化是大分子多糖研究与利用的必经之路。近年来，多糖与肠道菌群相互作用的研究报道越来越多，阐明中药多糖通过肠道菌群发挥作用的机制和及其构效关系也越来越被关注，因此对其研究现状和发展趋势进行分析具有重要意义。

文献计量学作为运用数学与统计手段剖析不同领域发展动态的学科，能够高效识别领域内的核心贡献者、期刊及研究机构，并精准定位前沿研究^[3]。据此，采用文献计量学方法，分析 2014 年 11 月—2024 年 11 月与“肠道微生物群和多糖”相关的国内外文献，梳理该领域的发展历程与现状，了解其研究进展及主要研究成果；通过作者合作网

络分析、期刊影响力评价等方法，揭示肠道菌群与多糖研究领域的国际合作情况、主要学术机构及核心作者的学术影响力，并通过分析该领域文献关键词识别肠道菌群与糖尿病研究中的热点问题和前沿方向，为本领域科研工作者提供一个全面、客观的发展框架。

1 材料与方法

1.1 数据来源与检索策略

中国知网（China National Knowledge Infrastructure, CNKI）、万方和维普是国内最重要的 3 个中文学术数据库，其中 CNKI 覆盖了我国 90% 以上的学术文献，是最全面的中文文献数据库^[4]。Web of Science（WOS）作为全球最大、覆盖学科最多的学术信息资源，具备多样且强大的检索功能^[5]。本研究选择 CNKI、维普、万方和 WOS 作为文献来源，通过检索 2014 年 11 月—2024 年 11 月发表的中英文文献，分析多糖在调控肠道菌群方面的研究现状、热点和未来趋势。文献具体检索策略见表 1、图 1。

1.2 数据收集与可视化

CiteSpace 是应用 Java 语言开发的一款信息可视化软件，主要基于共引分析理论和寻径网络算法等方式计算，通过知识网络图谱可视化展现特定领域的发展规律及未来趋势^[6]。基于文献计量学方法，CNKI、维普和万方的文献以 Refwoks 格式导出，WOS 中文文献则以纯文本导出，数据提取格式为“full record and cited references”。利用 CiteSpace 6.3.R1（64 bit）对原始数据进行去重、合并与格式转化，并对关键词进行聚类及突现分析，捕捉特定期内出现的热点信息。其中时间分区（time slicing）选择 2014—2024 年，时间节点（years per slice）为 1 年；阈值（top N per slice）= 50；top $N\%$ = 10.0%，g-index 项下 k 值设为 7。

英文文献利用 CiteSpace 6.3.R1（64 bit）对原始

表 1 文献检索策略

Table 1 Literature retrieval strategy

检索方式	数据收集
文献来源	CNKI、万方、维普、WOS 数据库
检索式	TS=(“肠道微生物”+“肠道菌群”)* (“多糖”) TS=(“gut microbiota”+“intestinal flora”)* (“polysaccharide”)
主题词来源	篇名、关键词、摘要
检索时间	2014 年 11 月—2024 年 11 月
纳入条件	研究课题涉及多糖调控肠道菌群及其相关研究的论文
排除条件	与本研究内容不符；文献类型为新闻、会议等；作者、关键词、年份等信息不全；撤回或重复文献
文献类型	学位论文 (articles)、综述 (reviews articles)

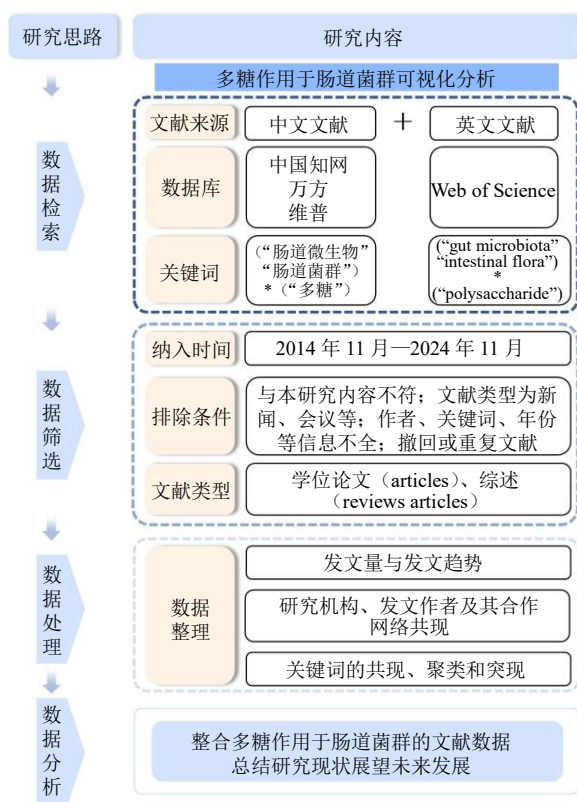


图 1 基于文献计量学分析多糖作用于肠道菌群的研究现状与发展前景技术路线图

Fig 1 Technical roadmap of research status and development prospects of polysaccharides acting on intestinal flora based on bibliometric analysis

数据进行去重、合并与格式转化，并对关键词进行聚类及突现分析，捕捉特定时期内出现的热点信息。其中时间分区选择 2014—2024 年，时间节点为 1 年；阈值=50；top N%=10.0%，g-index 项

下 k 值设为 17；此外需利用 VOS viewer 1.6.20.0 构建网络可视化图谱，分析国家、机构、期刊、作者、关键词之间的协同关系，以及期刊与作者之间的共被引网络；最后借助 Microsoft Excel 对文献发文量及其发文趋势进行统计。

2 结果

2.1 发文量与发文趋势分析

相关研究领域内论文发文量及发文趋势，能从一定程度上反映该领域的发展速度及成熟程度^[7]。依据表 1 检索式，共检索到 4 786 篇 CNKI、维普和万方来源的中文文献和 3 323 篇 WOS 来源的英文文献，根据纳入与排除条件，经人工逐一筛选后，共有 1 684 篇中文文献和 872 篇英文文献用于进一步分析。各年度具体发文量及发文趋势见图 2。从宏观角度看，多糖与肠道菌群领域的总发文量在近 10 年间整体呈先上升后下降的趋势，而且中文文献数量远多于英文文献数量。从微观视角看，随着经济和科研技术的发展，人们对多糖调控肠道菌群这一研究方向的关注度逐渐提升，英文文献总发文量于 2022—2024 年均呈明显增长态势，于 2024 年发文量达 214 篇。



图 2 发文量统计

Fig. 2 Statistics on number of published papers

2.2 研究机构、发文作者及其合作网络共现分析

2.2.1 研究机构、国家分析 运用 Citespace 对中文文献各发文机构的发文量进行分析可知，近 10 年间共有 138 家机构进行了多糖调控肠道菌群的相关研究。发文量排名前 10 的机构见表 2，其中南昌大学发文量最多，达 33 篇。中文机构合作知识图谱（图 3-a）网络密度较低，说明机构之间的合作联系较浅，但存在以佳木斯大学、集美大学等发文量大的机构为核心的机构合作群。但由于地理位置因素影响，大部分合作群中的机构为同一地区的高校及

表 2 中英文发文量前 10 的机构
Table 2 Top 10 institutions by number of Chinese and English published papers

排名	中文文献		英文文献	
	机构	发文量/篇	机构	发文量/篇
1	南昌大学	33	南京农业大学	52
2	四川农业大学	15	南昌大学	40
3	天津科技大学	14	大连理工大学	39
4	华南理工大学	14	中国科学院	37
5	山东农业大学	13	中华人民共和国农业农村部	36
6	上海中医药大学	12	华南理工大学	31
7	江南大学	12	中国农业科学院	23
8	南京农业大学	12	中国农业大学	23
9	中国农业科学院特产研究所	11	济南大学	22
10	大连医科大学	11	福建农业大学	22

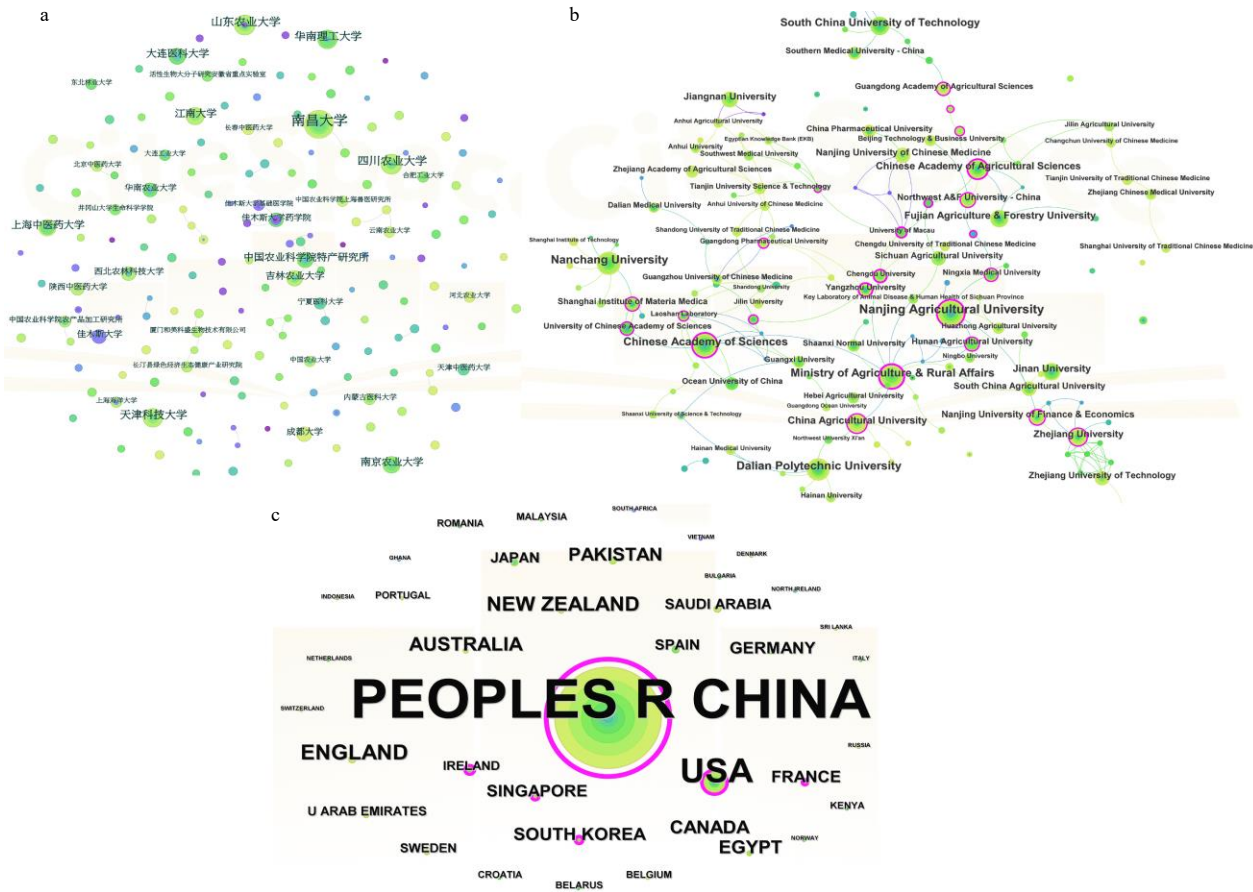


图 3 中文 (a) 和英文 (b) 文文献发文机构共现及英文文献发文国家共现 (c) 图谱
Fig. 3 Co-occurrence maps of publishing institutions in Chinese (a) and English literature (b), and co-occurrence map of publishing countries in English literature (c)

其附属医院和研究所，如佳木斯大学与佳木斯大学附属第一医院的合作最为紧密，而与跨省份的机构间合作较少。

英文文献中近 10 年间共有 200 家机构进行了多糖调控肠道菌群的相关研究（图 3-b，表 2）。发

文量排名前 10 也多为中国各高校，其中南京农业大学发文量最多，达到 52 篇，其核心研究聚焦茯砖茶多糖、枸杞多糖等药食同源中药来源多糖，通过唾液-模拟胃-小肠消化及体外肠道菌群发酵模型，验证这些多糖可在消化过程中保持结构稳定并安全

到达大肠被肠道菌群利用，能显著调节菌群组成与丰度，如提升双歧杆菌、拟杆菌等有益菌丰度，增加短链脂肪酸含量。同时，探索这些多糖作为功能食品原料及干预代谢综合征的应用潜力，且相关研究成果质量突出，如关于茯砖茶多糖的研究在 WOS 上被引频次达 369 次、发表期刊影响因子 9.8，关于枸杞多糖的研究被引 243 次、期刊影响因子 8.5，得到国际学界广泛认可^[8-10]。

对英文文献国家发文量（图 3-c，表 3）进行分析后发现，*N* 为 41 即参与研究肠道菌群与多糖之间关联的国家有 41 个。各国家节点间的连接条数为 84，可直接看出各国家之间在肠道菌群与多糖之间联系的研究领域中的合作关系密切。2014—2024 年，多个国家对肠道菌群与多糖的相关性进行了研究，其中中国研究者发文量居首，其次为美国、英国、新西兰、澳大利亚等。中国研究者发文量断层式居高可能的原因：（1）中国拥有丰富的中医药资源，如黄芪、枸杞、茯砖茶、桑枝等富含多糖的中药，且应用历史悠久；（2）中国提出“健康中国 2030”规划纲要，坚持中西医并重，鼓励在生物医药、功能食品等领域进行科技创新，国家自然科学基金等也持续支持中药现代化等的基础与应用研究，推动多糖结构、功能和作用机制的深入探索；（3）目前，国内糖尿病、高脂血、结肠炎等疾病的患病率逐年增长，严重影响患者生活质量，多糖因其独特的消化吸收特性有效地调控肠道菌群，在免疫调节、代谢改善和慢性病预防中展现出巨大的潜力；（4）近年来，中国科研团队国际合作意识增强，与海外机构联合开展中药多糖的国际研究，故增加了多糖相关的发文量。而美国发文量居第 2 位可能是美国居民

表 3 英文发文量前 10 的国家

Table 3 Top 10 countries with highest number of English publications

排名	英文文献	
	国家	发文量/篇
1	中国	826
2	美国	53
3	英国	10
4	新西兰	9
5	澳大利亚	8
6	加拿大	7
7	埃及	7
8	巴基斯坦	7
9	新加坡	5
10	德国	5

日渐重视合理膳食，而多糖被视作一种重要的可调节肠道菌群的益生元，因此其研究逐渐深入。

2.2.2 发文作者分析 运用 VOS viewer 对发文作者进行发文量统计，结果见表 4 和图 4。导入的中文文献共包含作者 248 位，发文量超过 2 篇的作者有 228 位；中文文献作者合作共现图谱（图 4-a）由 248 个节点和 348 条连线组成，存在多个合作组合；英文文献作者合作共现图谱（图 4-b）由 285 个节点、564 条连线组成。中、英文文献发文量排名前 10 的作者见表 4，中文文献中存在以马淑霞、张圣方、王雪和邱霞等为核心作者的研究团队，其中以马淑霞发文量最多（10 篇），马淑霞团队早在 1991 年便将研究重心逐渐聚焦于肠道菌群领域，后又探究了马齿苋多糖、山药多糖等对肠道菌群的影响^[11-12]；而赵凤春等团队则聚焦泰山蛹虫草多糖对免疫抑制小鼠肠道菌群的干预机制及长根菇多糖对菌

表 4 发文量排名前 10 的作者

Table 4 Top 10 authors with highest number of Chinese and English publications

排名	中文文献		英文文献	
	频次	作者及单位	频次	作者及单位
1	10	马淑霞，佳木斯大学	28	艾春青，大连工业大学
2	9	张圣方，山东农业大学	28	曾晓雄，南京农业大学
3	8	王雪，山东农业大学	27	宋爽，大连工业大学
4	8	赵凤春，山东农业大学	21	陈翠洁，广东省第二人民医院
5	8	于莲，佳木斯大学	13	陈丹，华南农业大学
6	8	赵龙玉，山东农业大学	12	聂少平，南昌大学
7	8	杨正友，山东农业大学	8	丁侃，中国科学院上海药物研究所
8	8	邱霞，青岛明月海藻集团海藻活性物质国家重点实验室	7	陈士国，浙江大学
9	8	孙占一，青岛明月海藻集团海藻活性物质国家重点实验室	7	刘忠华，华南农业大学
10	7	任多多，西北农林科技大学	7	孙怡，南京农业大学
10	7	何欣，河北农业大学		
10	7	师鑫潮，河北农业大学		

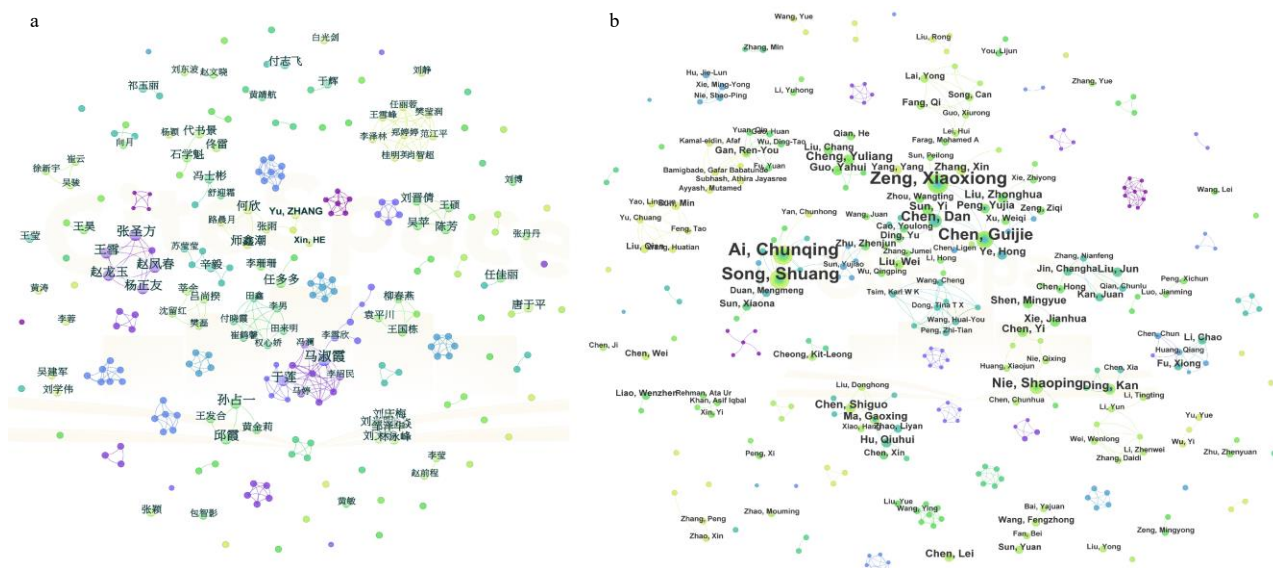


图 4 中文 (a) 和英文 (b) 文献作者合作共现图谱

Fig. 4 Co-occurrence maps of authors in Chinese (a) and English (b) literature

群组成的影响^[13-14]；英文发文量最多的为艾春青和曾晓雄（28 篇），艾春青团队专研藻类多糖对肠道微生态的调节机制^[15]，曾晓雄团队致力于发现枸杞多糖经肠道菌群介导改善高脂高糖诱导的认知障碍^[16]。在可视化图谱中，节点的字体大小与作者的中心性成正比，节点大小与发文量成正比，字体越大、节点自身的圆圈面积越大则表明该作者在本领域研究成果数量较多，具有一定权威性，各节点间连线的粗细及数量代表合作关系的紧密度^[17]。

2.3 文献被引频次分析

被引频次是指学术论文发表后被引用的次数，常被作为衡量作者科研能力、论文学术价值的重要指标。通过分析高被引文献，可以清楚地看到某一领域的研究背景和趋势热点，可为该领域的后续研究提供借鉴和参考依据^[18]。对所筛选的中文文献收录期刊进行统计发现，共有 205 种期刊发表过“肠道菌群”与“多糖”相关文章，发文量在 5 篇及以上的有 86 种期刊，其中《食品工业科技》发表篇数最多（69 篇），见图 5。运用 Excel 和 VOSviewer 对英文文献进行可视化，被引频次见表 5。在 Citespace 上被引频次前 10 的英文文献均发表于 2013 年之后，且单篇被引频次均超 150，最高达 4 241 次。在 VOSviewer 中被引用文献最高次数达到 110 次，前 10 的次数均大于 46 次。

2.4 关键词分析

2.4.1 关键词共现分析 关键词共现分析可观察

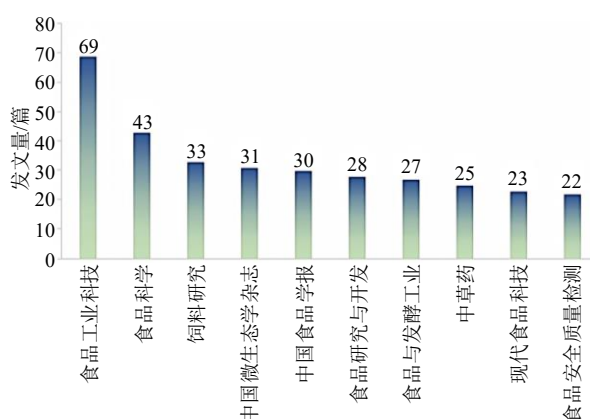


图 5 中文文献期刊前 10 统计图

Fig. 5 Statistical chart of top 10 Chinese literatures journals

该文献集所代表学科中各主题间的关系，反映研究领域的热点及发展趋势，在同一篇论文中，关键词共现次数越多，代表这 2 个主题关系越紧密^[19]。关键词是对研究内容的简要解释，间接反映研究方向。因此，关键词经常被用来反映某领域的研究动态。本研究共纳入与多糖和肠道菌群相关的中文文献关键词 3 662 个，英文文献关键词 2 681 个，可视化分析结果如图 6 所示。其中，中文文献共现图谱（图 6-a），包含 241 个节点和 278 条连线，由共现节点大小同该节点产出文献量呈正相关^[20]。可知，中文文献关键词中除检索主题词“肠道菌群”与“多糖”之外，主要出现的关键词有黄芪多糖、抗氧化、代谢组学、益生元、免疫调节、结构表征及生物活性等。此外节点颜色显示，近 5 年国内相关研究聚

表 5 “肠道微生物群与多糖”领域被引频次前 10 的英文文献

Table 5 Top 10 English literature by citation frequency in “gut microbiota and polysaccharides” field

序号	第一作者	文献名称	期刊	被引频次	通信作者国家	出版年份	共引文献引文频数
1	Chang Chih-jung	Ganoderma lucidum reduces obesity in mice by modulating the composition of the gut microbiota	Nature Communications	833	中国	2015	110
2	Koh Now	From dietary fiber to host physiology: Short-chain fatty acids as key bacterial metabolites	Cell	4 241	瑞典	2016	102
3	Chen Guijie	Digestion under saliva, simulated gastric and small I ntestinal conditions and fermentation <i>in vitro</i> by human intestinal microbiota of polysaccharides from Fuzhuan brick tea	Food Chemistry	339	中国	2018	94
4	Wu Tsungru	Gut commensal <i>Parabacteroides goldsteinii</i> plays a predominant role in the anti-obesity effects of polysaccharides isolated from <i>Hirsutella sinensis</i>	Gut	577	中国	2019	64
5	El Kaoutari Abdessamad	The abundance and variety of carbohydrate-active enzymes in the human gut microbiota	Nature Reviews Microbiology	1 183	法国	2013	62
6	Ding Yu	<i>In vitro</i> digestion under simulated saliva, gastric and small intestinal conditions and fermentation by human gut microbiota of polysaccharides from the fruits of <i>Lycium barbarum</i>	International Journal of Biological Macromolecules	222	中国	2019	60
7	Shin Nari	Proteobacteria: Microbial signature of dysbiosis in gut microbiota	Trends in Biotechnology	2 580	韩国	2015	54
8	Xu Xiaofei	Gut microbiota, host health, and polysaccharides	Biotechnology Advances	196	中国	2013	49
9	Zhao Liping	Gut bacteria selectively promoted by dietary fibers alleviate type 2 diabetes	Science	1 562	中国	2018	47
10	Fu Xiong	Structural characterization and <i>in vitro</i> fermentation of a novel polysaccharide from <i>Sargassum thunbergii</i> and its impact on gut microbiota	Carbohydrate Polymers	157	中国	2018	46

共引文献引文频数指同另一文献被第 3 篇文献同时引用的次数，用以衡量 2 篇文献间的学术关联强度。

Co-citation frequency refers to the number of times two publications are cited together by a third publication, used to measure the strength of the academic relationship between them.

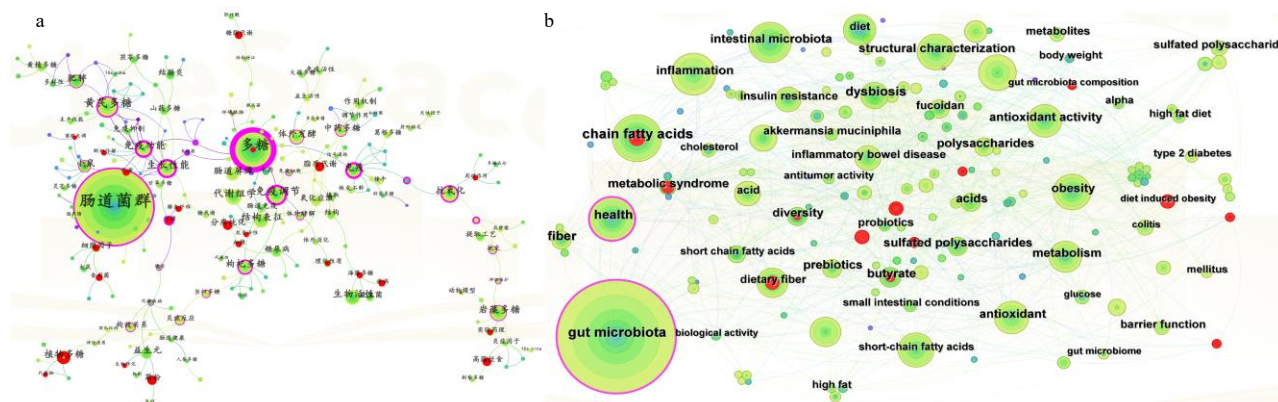


图 6 中文 (a) 和英文 (b) 文献关键词共现图

Fig. 6 Keywords co-occurrence maps of Chinese (a) and English (b) literature

焦于多糖的结构表征及糖、脂代谢领域。英文文献共现图谱（图 6-b）中共包含 280 个节点和 1 683 条连线，除检索主题词之外，出现频次较多的关键词有短链脂肪酸、益生菌、胰岛素抵抗菌群失调、膳食纤维等。从节点的颜色可知，近 10 年国外的研究主要集中在肠道微生物的生物学活性、健康、益生菌、链脂肪酸、节食引起的肥胖等方面。此外，关

键词共现性与其中心性大小紧密相关，中心性越大说明与其他关键词共现的概率越大，在共现图谱中的影响也越大。一般认为中心性 ≥ 0.1 为关键节点。如表 6 所示，该研究领域的中文文献关键节点为多糖（1.21）、生长性能（0.57）及免疫调节（0.53），英文文献该研究领域的关键节点为肠道菌群（0.12）、健康（0.10）及链脂肪酸（0.06）。

表 6 中英文文献中出现频次前 10 的关键词

Table 6 Top 10 keywords by occurrence frequency in Chinese and English literature

序号	中文文献			英文文献		
	关键词	频次	中心性	关键词	频次	中心性
1	肠道菌群	1 212	0.34	gut microbiota	627	0.12
2	多糖	297	1.21	chain fatty acids	129	0.06
3	黄芪多糖	100	0.24	inflammation	113	0.03
4	免疫调节	69	0.53	health	106	0.10
5	代谢组学	61	0.02	antioxidant	74	0.04
6	生长性能	60	0.57	ulcerative colitis	68	0.01
7	结构表征	50	0.08	antioxidant activity	67	0.03
8	生物活性	49	0.00	metabolism	66	0.03
9	岩藻多糖	49	0.15	oxidative stress	55	0.01
10	免疫功能	47	0.41	dietary fiber	54	0.03

2.4.2 关键词聚类分析 对关键词进行聚类分析能够进一步了解多糖在调控肠道菌群领域的研究动态及前沿趋势。基于对数似然比算法 (log-likelihood-ratio, LLR), 利用 Citespace 对导入的中英文文献关键词进行聚类分析。中文文献聚类图谱包含 241 个节点、278 条连线。为突出代表性, 选择节点数前 9 的关键词进行聚类并展示, 聚类模块值 (Q) 为 0.848 3 (>0.3), 说明聚类有效; 平均轮廓值 (S) 为 0.955 1 (>0.5), 说明网络同质性很高, 关键词间联系紧密, 聚类情况有效且合理^[21]。英文文献聚类图谱包含 293 个节点, 1 767 条连线。选择节点数前 9 的关键词进行聚类展示, Q 为 0.373 4 (>0.3), S 为 0.675 3 (>0.5), 聚类有效, 结果具有可信度。

如图 7-a 及表 7 所示, 2014—2024 年相关研究的聚类分析揭示了从功能验证到机制深化的清晰演进路径。关键词聚类#0~#8 系统性地展现了多糖研究的整体格局。研究以#0 多糖为核心, 涵盖了从技术开发 (#8 提取工艺)、结构解析 (#4 结构表征)、

功能评价 (#6 生物活性、#7 免疫) 到健康应用 (#2 肠道菌群、#5 腹泻) 的全链条, 显示多糖已成为代谢疾病干预研究的重要靶点。高热点 (节点 ≥ 24) 聚类#0 多糖、#1 黄芪多糖、#2 肠道菌群为该领域核心, 说明经典多糖——黄芪多糖-肠道菌群互作是中文文献多糖研究的主流方向, 文献积累丰富。聚类#8 提取工艺、#4 结构表征为多糖的后续研究提供坚实的基础, 多糖结构表征技术已形成多维度分析体系, 色谱 (高效凝胶渗透色谱、高效液相色谱) 用于检测相对分子质量分布, 光谱 (傅里叶变换红外光谱、核磁共振) 用于分析官能团与糖苷键, 质谱 (气相色谱-质谱联用、电喷雾电离质谱) 用于解单糖组成及序列; 聚类#0 多糖 (中药、金耳)、#1 黄芪多糖、#3 中药多糖、#6 生物活性 (海藻多糖) 覆盖多来源的多糖, 现已被验证其生物活性与相对分子质量、单糖组成、糖苷键类型、分支度、取代基等结构特征密切相关; 聚类#3 中药多糖 (氧化应激、信号通路)、#7 免疫 (肠道酶活)、#2 肠道

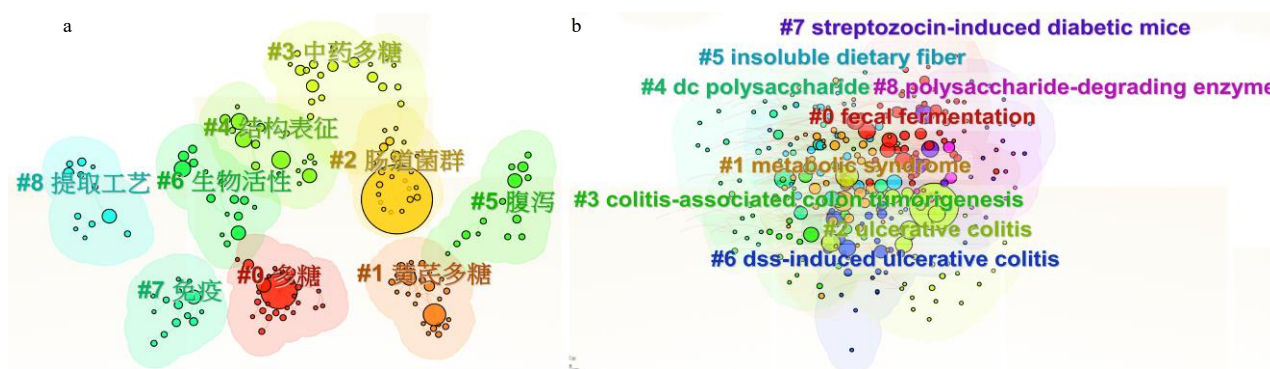


图 7 中文 (a) 和英文 (b) 文献关键词聚类分析图

Fig. 7 Cluster analysis maps of keywords in Chinese (a) and English (b) literature

表 7 排名前 9 的中文文献关键词聚类分析

Table 7 Cluster analysis of top nine keywords in Chinese literature

聚类名称	节点数	年份	S	LLR
#0 多糖	28	2019	0.951	多糖; 肠道屏障; 中药; 环磷酸胺; 金耳
#1 黄芪多糖	25	2018	0.857	黄芪多糖; 生长性能; 免疫功能; 多糖; 肠道微生物菌群
#2 肠道菌群	24	2019	1.000	肠道菌群; 细胞因子; 马齿苋多糖; 大鼠; 肠道微生物
#3 中药多糖	21	2020	0.932	中药多糖; 氧化应激; 信号通路; 血糖; 糖代谢
#4 结构表征	18	2019	0.984	结构表征; 枸杞多糖; 免疫调节; 分离纯化; 代谢组学
#5 腹泻	15	2018	0.982	腹泻; 益生元; 代谢疾病; 肠道健康; 膳食纤维
#6 生物活性	15	2020	0.969	生物活性; 海藻多糖; 提取; 体外发酵; 结构
#7 免疫	14	2019	0.996	免疫; 葛根多糖; 酵解多糖; 犍牛; 肠道酶活
#8 提取工艺	12	2020	0.923	提取工艺; 药理作用; 抗肿瘤; 抗氧化; 沙棘多糖

菌群(细胞因子)表明多糖的研究已深入分子机制,同免疫调节、糖代谢相关;聚类#5 腹泻(代谢疾病、肠道健康)、#7 免疫(犍牛),结合“肠道菌群、益生元”,将基础研究转化为临床或畜牧场景的应用。

如图 7-b 及表 8 所示,英文文献关键词聚类分析中,聚类#0 fecal fermentation、#1 metabolic syndrome 及#5 insoluble dietary fiber 着重对肠道菌群代谢功能及膳食纤维干预机制进行研究,并结合体外发酵实验对短链脂肪酸生成及其在代谢综合征中的作用进行了系统分析;聚类#2 ulcerative colitis、#3 colitis-associated colon tumorigenesis 和#6 dss-induced ulcerative colitis 则从肠道炎症微环境、屏障功能损伤及菌群失调角度对结肠炎相关病理机制进行探究,并揭示多糖通过调节胆汁酸代谢和芳香烃受体通路对肠道稳态的影响;聚类#4 dc polysaccharide、#7 streptozocin-induced

diabetic mice 和#8 polysaccharide-degrading enzyme 集中在多糖结构与功能研究,包括多糖化学构效关系、降解酶催化机制及其通过调控肠道菌群改善糖尿病代谢紊乱的作用。

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,进而展示近 10 年多糖类物质研究热点变化及未来研究趋势^[22]。利用 Citespace 对每个聚类的关键词时间跨度及其各聚类间的关系进行可视化分析。由图 8-a 可知,2014—2024 年多糖对肠道菌群的调控研究呈现“结构-功能”双主线发展:早期研究(2014—2018 年)以#0 多糖、#1 黄芪多糖等多来源单一多糖的基础鉴定为核心,同时聚焦肠道菌群,初步关联免疫活性、抗氧化、畜牧生长性能(肉鸡、犍牛)等基础功能验证;中期(2019—2022 年)转向构效关系与机制深度解析,通过理化结构表征揭示黄芪多糖、桑枝多

表 8 排名前 9 的英文文献关键词聚类分析

Table 8 Cluster analysis of top nine keywords in English literature

聚类名称	节点数	年份	S	LLR
#0 fecal fermentation	52	2020	0.566	<i>in vitro</i> fermentation; <i>in vitro</i> digestion; fecal fermentation; simulated digestion; molecular weight
#1 metabolic syndrome	52	2019	0.552	short-chain fatty acids; metabolic syndrome; type 2 diabetes
#2 ulcerative colitis	34	2018	0.793	gut microbiota; 16S rRNA; polysaccharide; diabetes
#3 colitis-associated colon tumorigenesis	33	2021	0.606	alcoholic liver disease; cyclophosphamide; bile acid; barrier function; health
#4 dc polysaccharide	32	2017	0.861	cells; gynura divaricata; dc polysaccharide
#5 insoluble dietary fiber	30	2021	0.616	type 2 diabetes mellitus; insoluble dietary fiber; astragalus polysaccharide; short-chain fatty acid
#6 dss-induced ulcerative colitis	29	2019	0.723	ulcerative colitis; pathogenesis; inflammatory bowel disease; intestinal barrier; aryl hydrocarbon receptor
#7 streptozocin-induced diabetic mice	14	2017	0.872	gut microbiome; dietary fiber; ulcerative colitis; simulated gastrointestinal digestion
#8 polysaccharide-degrading enzyme	14	2017	0.821	chemical structure; bacteroides; lyophyllum decastes; xylanolytic bacteria; carbohydrate active enzymes

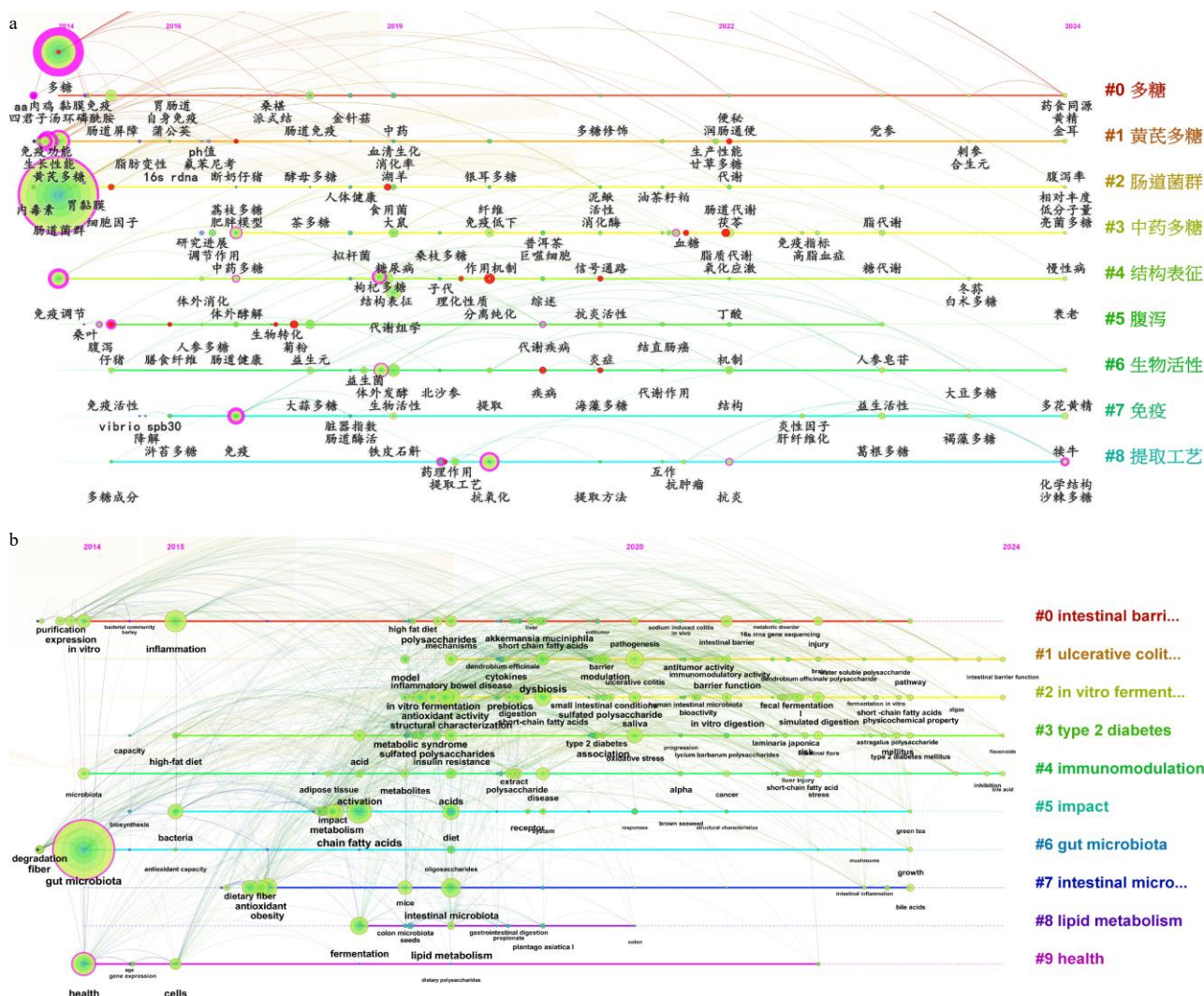


图 8 中文 (a) 和英文 (b) 文献关键词聚类时间线图

Fig. 8 Cluster timeline graphs of keywords in Chinese (a) and English (b) literature

糖、铁皮石斛多糖的免疫调节、糖脂代谢机制,并建立体外消化/酵解模型衔接临床和畜牧研究(糖尿病、高脂血症、犍牛);近期(2023—2024 年)则出现益生菌协同干预新方向,益生菌与海藻多糖、沙棘多糖的提取优化及协同调控肠道免疫、结直肠癌等场景成为新兴突破口。值得注意的是,结构表征-免疫活性的正反馈机制贯穿整个研究周期,提示多糖分子精细结构解析仍是该领域机制突破的关键。由图 8-b 分析得出,英文文献以#0、#4、#6 跨度最长,早期(2014—2016 年)聚焦多糖对肠道屏障功能的调控及高脂饮食的体外作用验证;中期(2017—2020 年)转向溃疡性结肠炎的病理机制,关注菌群失调与炎症微环境;2018 年后体外发酵模型兴起,推动短链脂肪酸(short-chain fatty acids, SCFAs)与代谢综合征关联研究;2020 年后研究进

一步分化,深入糖尿病模型中菌群-宿主代谢互动及胆汁酸/SCFAs 的调控网络,标志着领域从基础机制向代谢性疾病转化应用的系统性过渡。

2.4.3 关键词突现分析 关键词突现指在较短的一段时间内关键词出现的频次显著增加,可以呈现该领域在某段时间的研究热点,捕获研究前沿并推测未来的发展趋势。突现词是指在某个特定时间段内突现频次显著增多的词,根据突现词的词频变化趋势可以有效判断研究领域的前沿趋势与研究热点^[23]。如表 9、10 所示,细线代表时间跨度为 2014—2024 年,粗线代表每个时间段的突发关键词。表 9 展示了国内在多糖与肠道菌群调控研究领域的 10 个突现词,其中突现性最强的为高脂饮食(突现强度 4.32),其突现期覆盖 2022—2024 年。研究表明,高脂饮食诱导的全身性代谢紊乱可能通过

表 9 中文文献关键词突现情况
 Table 9 Emergence of keywords in Chinese literature

关键词	首次出现	强度	开始年份	终止年份	2014—2024 年
动物模型	2014	4.04	2014	2017	<div></div>
生长性能	2014	3.88	2014	2017	<div></div>
肥胖	2015	3.56	2015	2016	<div></div>
菌群失调	2016	3.74	2016	2018	<div></div>
菊粉	2018	3.88	2018	2022	<div></div>
生物转化	2018	3.56	2018	2019	<div></div>
食用菌	2019	3.46	2019	2021	<div></div>
海藻多糖	2021	3.64	2021	2022	<div></div>
高脂饮食	2022	4.32	2022	2024	<div></div>
植物多糖	2018	3.94	2022	2024	<div></div>

表 10 英文文献关键词突现情况
 Table 10 Emergence of keywords in English literature

关键词	首次出现	强度	开始年份	终止年份	2014—2024 年
metabolism	2017	3.97	2017	2018	<div></div>
butyrate	2017	3.48	2017	2020	<div></div>
colon microbiota	2017	3.26	2017	2019	<div></div>
diversity	2017	3.25	2017	2019	<div></div>
induced obesity	2018	3.08	2018	2020	<div></div>
human gut microbiota	2019	4.39	2019	2020	<div></div>
identification	2019	3.9	2019	2020	<div></div>
dietary fiber	2016	3.35	2020	2021	<div></div>
responses	2020	3.31	2020	2021	<div></div>
metabolic syndrome	2018	2.93	2020	2021	<div></div>

改变肠道菌群结构影响宿主免疫平衡，而植物多糖的摄入可调节菌群-代谢轴，改善肥胖相关代谢综合征^[24]。从时间演化看，2015—2017 年聚焦实验基础体系探索，搭建动物模型验证多糖对机体生长性能等的基础调节作用，摸索多糖导致菌群的生理指标的变化，形成了“多糖+肠道菌群+药效作用”的研究模式；2018—2021 年研究转向功能物质与机制层面，将代谢疾病（肥胖）同菌群失调相联系，着眼于人类饮食相关的实际健康问题，并探索物质的“生物转化”机制，该阶段为短期过渡性阶段，关键词突现周期相对短；同时多糖对肠道菌群的差异调控也逐渐被提出；2022 年后进入精准调控阶段，植物多糖和高脂饮食的突现完全同步，通过多糖改善高脂饮食引起脂质代谢紊乱等，在未来很长一段时间该热点可能是更深入特定肠道菌的调控。类比同期英文文献中的关键词突现（表 10），中英文文献中该领域发展进程基本同步，中文文献侧重于不同来源多糖功能的开发，英文文献侧重多糖调控菌群机制研究，多糖进入肠道后被肠道菌群利用，通过多种代谢途径，维持机体健康，有益菌的运作使多糖产生不同的短链脂肪酸，如乙酸、丙酸、丁酸等，

当肠道菌群受到有益菌和有害菌的平衡被打破，丁酸产生减少，脂质代谢被扰乱，以中心性肥胖、高血糖、高血脂、高血压为主要特征的代谢综合征等热点便陆续出现在此领域。中英文文献的关键词突现差异是分工互补的，中文文献建立稳定实验模型，将真菌、海藻、植物等多来源多糖进行功能开发，英文文献则略过此项，运用 16S rRNA 测序、宏基因组技术等精准解析肠道菌群结构，并将其和人类肠道菌群关联，结合临床形成“多糖开发-机制解析-临床应用”的完整研究链条。

3 结果与讨论

3.1 研究现状

本研究借助文献计量学方法对 2014 年 11 月—2024 年 11 月发表自 CNKI、维普、万方和 WOS 数据库中有关多糖调控肠道菌群的中、英文文献进行了可视化分析。结果发现，在该研究领域中文发文量占总文献量的 65.88%，发文机构和作者的所属国家以中国和美国最多。在发文趋势方面，中英文文献的发文总量每年虽有波动，但在 2018 年后呈明显增长态势。主题词聚类分析发现，中文文献展现的路径偏向传统提取工艺优化（如沙棘多糖提取工

艺)、动物实验模型,且常结合中医“整体观”开展复方/多成分研究(如四君子汤多糖、中药复方与菌群互作);而英文文献依赖分子生物学与多组学技术(代谢组学、单细胞测序、宏基因组学)解析多糖-菌群互作的分子网络;同时广泛应用体外发酵模型、类器官模型模拟肠道微环境,技术手段更偏向“精准化、高通量”。基于文献计量学展现的研究布局描绘了领域发展的“互补拼图”。

整合中英文文献,发现多糖与肠道菌群间的调控是“结构-代谢-功能”的动态网络,多糖对肠道菌群存在差异选择,不同来源、结构的多糖可定向调控肠道菌群组成,如中药中的黄芪多糖、枸杞多糖、桑枝多糖等、海藻类的岩藻多糖等,多糖因糖链长度、分支度、官能团差异对菌群调控具“偏好性”,且能双向调节菌群结构,显著提升产 SCFAs 菌丰度并抑制有害菌生长,从而重塑肠道微生态平衡,这一调节在畜牧、医学等学科均有体现;同时,肠道菌群分泌的多糖降解酶可将复杂多糖分解为寡糖、单糖乃至 SCFAs、维生素等活性物质,这些代谢物不仅是中间产物,更是调控宿主生理的“信号分子”,为后续生理过程提供物质基础;在此基础上,多糖-菌群互作的代谢产物通过多条分子通路广泛影响宿主免疫、代谢、肠道屏障等系统,例如 SCFAs 可激活腺苷酸活化蛋白激酶信号通路强化肠道屏障,激活 G 蛋白偶联受体 43/G 蛋白偶联受体 109A 受体调节免疫应答,维持代谢稳态^[25]。由此可见,中英文文献的探索形成互补,共同完善了多糖和肠道菌群之间的调控机制网络,未来只需进一步打通基础研究-结构解析、机制验证与产业化-工艺优化、产品设计的壁垒,就能让这套动态调控真正落地为改善大众健康、赋能畜牧与食品行业的实用方案。

3.2 局限性和未来研究趋势

多糖-肠道菌群互作的研究虽已取得显著进展,但在基础研究深度、技术方法应用及产业化过程中,仍面临多维度的实际困难与挑战,本研究分析发现其局限性主要为以下几个方面:(1)不同来源多糖结构多样,糖链长度、分支度等差异大,且多为混合物,难以量化构效关系。(2)多糖在抵达肠道之前,可能会被胃蛋白酶消化,与肠道菌群发挥效应的剂量降低,且即使部分多糖可被菌群降解为寡糖/单糖,其降解产物的种类与比例也受个体菌群组成影响。(3)Abdill 等^[26]通过 16.8 万份样本构建人类肠道菌群图谱,发现全球肠道菌群“区域差异

大”,多糖-肠道菌群互作的效应可能也会有区域性的差异,故而无法建立统一的“多糖-菌群调控”评价标准,阻碍了该领域内研究结论的横向对比与整合。(4)目前多数机制研究依赖的模型同人类菌群有实质差异,难以用于产业转化,近来利用“无菌小鼠+人源菌群移植”或能解决该问题,但动物模型与人类自然的饮食结构不符,仍存在模型偏差。综合以上问题多糖-肠道菌群互作领域还有诸多困难亟待解决,未来需通过发展精准的结构表征技术、建立更贴近人体的模型系统、完善多学科协作机制,逐步突破这些瓶颈,推动领域从“现象描述”向“精准调控”与“临床转化”迈进。

4 结论

近 10 年该领域发文量整体呈“先升后调整”趋势,2017 年后进入快速增长阶段,标志其已成为食品科学、微生物学、药理学与中医药学交叉融合的核心研究方向。中国依托黄芪、枸杞、茯砖茶、桑枝等丰富的中药多糖资源,再有“中医药现代化”政策支持,发文量呈断层式领先,其中南昌大学(中文文献 33 篇)、南京农业大学(专注茯砖茶多糖、枸杞多糖研究)等机构形成特色研究集群,相关成果在国际上也引起关注;英文文献则侧重体外发酵模型构建与分子机制解析,二者形成“中药多糖资源开发-菌群调控机制验证”的互补研究体系。中英文研究思路略显差异,中文文献凸显中医药特色,围绕“中药多糖提取工艺-结构表征-菌群调节-功能应用”展开,并延伸至畜牧业犊牛肠道健康等方向;英文文献则以“机制解析-代谢疾病干预”为核心,虽较少涉及中药多糖,但技术方法为中药多糖研究提供参考。

中医药领域在该方向潜力巨大,中药多糖资源丰富且临床应用历史悠久,未来可进一步挖掘特色中药(如金耳、沙棘、铁皮石斛)的多糖成分,结合现代分离纯化与结构表征技术,明确更多中药多糖的“结构-菌群调节效应”关联,构建“中药多糖数据库”,为精准调控提供物质基础;另外,可依托中医“整体观”“辨证施治”理论,探索中药复方多糖对肠道菌群的协同调控作用,解析复方多糖与菌群互作的整体机制,丰富中医药干预肠道微生态的理论体系与实践方案。

对于多糖调控肠道菌群,未来需以“突破技术瓶颈、强化临床转化”为核心,深化机制研究,聚焦多糖降解产物通过通路调控肠道屏障、免疫与代谢的分子网络,明确不同来源多糖的菌群调控偏好

性;推动多学科交互,发展贴合人体肠道环境的模型,解决个体菌群差异导致的调控效果不均问题,建立统一的多糖-菌群调控评价标准;基础的研究是为了加速临床转化,需将中药多糖的菌群调控作用与代谢性疾病、肠道炎症等临床疾病结合,开发靶向肠道菌群的中药多糖功能食品或辅助治疗制剂,为肠道微生物相关疾病的防治提供新策略。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] Yu Y, Shen M Y, Song Q Q, *et al.* Biological activities and pharmaceutical applications of polysaccharide from natural resources: A review [J]. *Carbohydr Polym*, 2018, 183: 91-101.
- [2] Keung W S, Zhang W H, Luo H Y, *et al.* Correlation between the structures of natural polysaccharides and their properties in regulating gut microbiota: Current understanding and beyond [J]. *Carbohydr Polym*, 2025, 352: 123209.
- [3] Pollock J, Pritchard A J. The tracking problem for distributed systems with unbounded control action [J]. *IMA J Appl Math*, 1980, 25(4): 387-396.
- [4] Yan S, Pang M, Wang J, *et al.* Correction: A comparative study of bibliometric analysis on old adults' cognitive impairment based on web of science and CNKI via CiteSpace [J]. *Health Econ Rev*, 2024, 14(1): 15.
- [5] Liu J Y, Li X. Standardization, objectification, and essence research of traditional Chinese medicine syndrome: A 15-year bibliometric and content analysis from 2006 to 2020 in Web of Science database [J]. *Anat Rec*, 2023, 306(12): 2974-2983.
- [6] 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.
- [7] 张潇一, 张彬彬, 张林, 等. 基于 CiteSpace 对酒精性肝病药物研究进展的知识图谱分析 [J]. *实用中医内科杂志*, 2024, 38(9): 1-3.
- [8] Chen G J, Xie M H, Wan P, *et al.* Digestion under saliva, simulated gastric and small intestinal conditions and fermentation *in vitro* by human intestinal microbiota of polysaccharides from Fuzhuan brick tea [J]. *Food Chem*, 2018, 244: 331-339.
- [9] Ding Y, Yan Y M, Peng Y J, *et al.* *In vitro* digestion under simulated saliva, gastric and small intestinal conditions and fermentation by human gut microbiota of polysaccharides from the fruits of *Lycium barbarum* [J]. *Int J Biol Macromol*, 2019, 125: 751-760.
- [10] Chen G J, Xie M H, Wan P, *et al.* Fuzhuan brick tea polysaccharides attenuate metabolic syndrome in high-fat diet induced mice in association with modulation in the gut microbiota [J]. *J Agric Food Chem*, 2018, 66(11): 2783-2795.
- [11] 冯澜, 李绍民, 代立娟, 等. 马齿苋多糖对溃疡性结肠炎小鼠肠黏膜细胞因子及肠道菌群的影响 [J]. *中国微生物生态学杂志*, 2015, 27(2): 139-142.
- [12] 于莲, 徐新, 苏瑾, 等. 纳米山药多糖合生元结肠靶向微生态调节剂对菌群失调大鼠免疫因子及 SOD、MDA、NO、MPO 表达的影响 [J]. *中国微生物生态学杂志*, 2016, 28(8): 889-892.
- [13] 张圣方, 赵龙玉, 赵凤春, 等. 泰山蝓虫草多糖对免疫抑制小鼠肠道菌群及分泌型免疫球蛋白 A 的影响 [J]. *食品科学*, 2015, 36(5): 148-152.
- [14] 王雪, 赵龙玉, 赵凤春, 等. 应用 Illumina 高通量测序技术探究长根菇多糖对小鼠肠道菌群的影响 [J]. *食品科学*, 2015, 36(19): 222-226.
- [15] Bai L, Yang Y N, Gao J Y, *et al.* Galactofuran from *Undaria pinnatifida* sporophyll enhances immune function by restoring intestinal barrier and microbiota balance and evaluating serum guanidoacetic acid [J]. *Int J Biol Macromol*, 2025, 327(Pt 1): 147377.
- [16] Tian X Y, Dong W, Zhou W T, *et al.* The polysaccharides from the fruits of *Lycium barbarum* ameliorate high-fat and high-fructose diet-induced cognitive impairment via regulating blood glucose and mediating gut microbiota [J]. *Int J Biol Macromol*, 2024, 258(Pt 2): 129036.
- [17] 秦龙, 刘培功. “人类命运共同体”研究的现状、热点与演化路径——基于 CiteSpace 可视化工具知识图谱分析的研究视角 [J]. *河南社会科学*, 2020, 28(4): 28-38.
- [18] 沈蒙, 宋若兰, 简伟杰, 等. 基于 VOSviewer 和 CiteSpace 可视化图谱分析党参的研究现状与发展趋势 [J]. *中国现代应用药学*, 2023, 40(24): 3473-3484.
- [19] 李翠茹, 谭周进, 郑淘, 等. 甜味剂对七味白术散治疗抗生素相关性腹泻小鼠肠道微生物及酶活性的影响 [J]. *中国微生物生态学杂志*, 2023, 35(5): 504-509.
- [20] 邓国艳, 米惠, 刘红宇, 等. 基于 VOSviewer 和 CiteSpace 对中药注射剂类过敏反应研究热点和趋势的可视化分析 [J]. *中草药*, 2024, 55(3): 907-918.
- [21] 涂孝康, 刘洪端, 谭昊宇, 等. 基于 CiteSpace 和 VOSviewer 可视化分析心房颤动外科消融透壁性研究 [J]. *中国胸心血管外科临床杂志*, 2024, 31(3): 446-453.
- [22] 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.
- [23] 周文, 李俊, 包卫东, 等. 国内 BOPPPS 模型研究的知识图谱分析 [J]. *高等教育研究学报*, 2019, 42(3): 44-52.
- [24] Sun Y, Liu X L, Zhao L, *et al.* *Lactocaseibacillus rhamnosus* HF01 postbiotics reprogram gut microbial tryptophan metabolism to coordinate enterohepatic barrier-insulin signaling axis [J]. *Curr Res Food Sci*, 2025, 11: 101111.
- [25] Zhang Y, Jiang H, Peng X H, *et al.* Mulberry leaf improves type 2 diabetes in mice via gut microbiota-SCFAs-GPRs axis and AMPK signaling pathway [J]. *Phytomedicine*, 2025, 145: 156970.
- [26] Abdill R J, Graham S P, Rubinetti V, *et al.* Integration of 168,000 samples reveals global patterns of the human gut microbiome [J]. *Cell*, 2025, 188(4): 1100-1118.

[责任编辑 潘明佳]