

• 数据挖掘与循证医学 •

21 世纪全球视域下陇药红芪科学协作与热点前沿知识图谱构建及可视化分析

刘娟娟¹, 陈奕旻¹, 张佳玲¹, 王良才¹, 杨莉萍¹, 席少阳¹, 黄璐琦^{2*}, 晋 玲^{1,3,4,5*}

1. 甘肃中医药大学, 甘肃 兰州 730000

2. 中国中医科学院 中药资源中心, 北京 100700

3. 西北中藏药协同创新中心, 甘肃 兰州 730000

4. 陇药产业创新研究院, 甘肃 兰州 730000

5. 甘肃省珍稀中药资源评价与保护利用工程研究中心, 甘肃 兰州 730000

摘要: 目的 红芪 *Hedysari Radix* 为我国甘肃省的道地药材, 回顾红芪相关领域的研究重点并进行可视化分析, 促进红芪跨地域多维度发展。方法 采取科技创新与产业发展深度融合的科学研究方法, 基于数据融合与驱动可视化技术, 从时间和地域的视角出发, 检索 2000 年 1 月 1 日—2021 年 12 月 31 日中国知网、万方、维普及 Web of Science (WOS) 等国内外数据库中红芪的相关文献, 使用 Coocation (COOC) 进行数据处理筛选。采用 VOSviewer 可视化技术从国家、机构、作者、关键词及期刊等方面对红芪的研究热点、前沿动态及研究主题的时序与地域分布进行梳理和总结, 探析 21 世纪以来全球在陇药红芪科学研究领域的未来研究趋势及多维度协作价值。结果 最终纳入中文文献 5615 篇, 英文文献 83 篇。中国为国际上发表相关文献最多的国家, 甘肃省为国内发表最多的省份, 机构研究主要以兰州大学和甘肃中医药大学为代表, 且合著方面机构内合作占据主流, 中文核心作者为程卫东, 英文核心作者为 FENG Shi-lan, “信号通路和网络药理学”为目前红芪的研究热点。结论 红芪在中医临床及中西药合用方面的研究是当前乃至未来持续关注的前沿领域, 红芪知识图谱的构建为其产业高质量发展进程中新经济成长点的战略规划与实施提供了依据。

关键词: 红芪; 知识图谱; 文献计量学; 共现分析; 可视化分析

中图分类号: R28

文献标志码: A

文章编号: 0253-2670(2023)12-3932-17

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2023.12.020

Construction and visual analysis of scientific collaboration and hot frontier knowledge graph of Longyao *Hedysari Radix* from global perspective in 21st century

LIU Juan-juan¹, CHEN Yi-yang¹, ZHANG Jia-ling¹, WANG Liang-cai¹, YANG Li-ping¹, XI Shao-yang¹, HUANG Lu-qi², JIN Ling^{1,3,4,5}

1. Gansu University of Traditional Chinese Medicine, Lanzhou 730000, China

2. Traditional Chinese Medicine Resource Center, China Academy of Chinese Medical Sciences, Beijing 100700, China

3. Northwest Chinese-Tibetan Medicine Collaborative Innovation Center, Lanzhou 730000, China

4. Long-yao Industry Innovation Research Institute, Lanzhou 730000, China

5. Gansu Engineering Research Center for Evaluation, Protection and Utilization of Rare Traditional Chinese Medicine Resources, Lanzhou 730000, China

Abstract: Objective Hongqi (*Hedysari Radix*) is a genuine medicinal materials in Gansu Province of China, and the research

收稿日期: 2023-03-23

基金项目: 中国工程院战略研究与咨询项目 (GS2021ZDA06); 道地药材生态种植及质量保障项目 (国中医药科技 (2020) 153 号); 财政部和农业农村部: 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-21); 甘肃省珍稀中药资源评价与保护利用工程研究中心开放基金项目 (GSZXZY202203)

作者简介: 刘娟娟, 硕士研究生, 研究方向为中药资源评价、保护与可持续利用。E-mail: 1521795050@qq.com

***通信作者:** 晋 玲, 博士, 教授, 研究方向为中 (藏) 药资源评价、保护及可持续利用研究。E-mail: 1131858632@qq.com
黄璐琦, 中国工程院院士, 从事中药资源与分子药理学研究。E-mail: huangluqi@126.com

highlights in the field related to *Hedysari Radix* was reviewed and visual analysis was carried out to promote its multi-dimensional development across geographical regions. **Methods** Adopting a scientific research approach of deep integration of scientific and technological innovation and industrial development, based on data fusion and driven visualization techniques, from the perspective of time and region, the literature related to *Hedysari Radix* was retrieved from domestic and foreign databases such as China National Knowledge Infrastructure, Wanfang, and Web of Science (WOS) from January 1, 2000 to December 31, 2021. Coocation (COOC) was used for data processing and filtering. VOSviewer visualization technology was used to sort out the research hotspots, frontier dynamics and research topics in terms of countries, institutions, authors, keywords and journals, etc., and to explore the future research trends and multidimensional collaboration value of global TCM scholars in the field of Longyao *Hedysari Radix* scientific research since the 21st century. **Results** A total of 5615 Chinese literatures and 83 English literatures were included. China is the most published country in the international literature, Gansu Province is the most published province in China, institutional research is mainly represented by Lanzhou University and Gansu University of Traditional Chinese Medicine, and intra-institutional collaboration in co-authorship occupies the mainstream, the core author in Chinese is CHENG Wei-dong, and in English is FENG Shi-lan, “signaling pathways and network pharmacology” became the research hotspot of *Hedysari Radix*. **Conclusion** The research on the *Hedysari Radix* in clinical application of Chinese medicine and the combination of Chinese and Western medicine is the frontier field of continuous attention at present and even in the future. The construction of the knowledge map of *Hedysari Radix* provides a basis for the strategic planning and implementation of the new economic growth point in the process of high-quality development of its industry.

Key words: *Hedysari Radix*; knowledge graph; bibliometrics; co-occurrence analysis; visualization analysis

红芪又称“独根”，为多序岩黄芪 *Hedysarum polybotrys* Hand. -Mazz. 的干燥根。因其皮色红润，故称红芪，又称黑芪。其药用历史悠久，具补气升阳、固表止汗、利水消肿、生津养血、行滞通痹、托毒排脓、敛疮生肌之功效^[1]，最早记载于《神农本草经》^[2] 黄芪项下，列为上品。南北朝时期红芪作为黄芪品种之一，与黄芪同科异属，临床上与黄芪通用。近代以红芪代黄芪用的现象也较为普遍，尤其是西北地区，与甘肃为其道地产区具有较大的影响。我国台湾省、香港和澳门特别行政区以及东南亚一些地区认为红芪是黄芪的优良品种^[3]。《中国药典》1977 年版^[4] 将红芪列为黄芪正品来源之一，至《中国药典》1985 年版^[5] 才将红芪单列为一味中药，此后的《中国药典》均将红芪、黄芪分别记载^[6]。红芪主要含有红芪多糖、黄酮类、苯丙素类、生物碱类、三萜皂苷及甾体类、有机酸类等化学成分，药理作用有抗肿瘤、抗炎、抗氧化、提高免疫力、延缓糖尿病进展、降压等^[7-9]。

中药材资源的综合利用是中药研究与开发的重要内容，从多学科、多领域、多方位实现中药材的高质量可持续发展^[10-11]，则需定期回顾中药材的研究现状并预测未来发展趋势。为更加直观展示红芪研究进展及前沿，本研究运用 Coocation 和 VOSviewer 可视化软件技术对 21 世纪以来全球中医药学者对陇药红芪的研究进行追溯，采用文献计量学的方法^[12-13]，研究红芪 2000 年 1 月 1 日—2021 年 12 月 31 日的发文趋势、研究热点，以明晰其演进路径，了解掌握全世界红芪研究现状和预判未来

的发展趋势，以期为该领域的系统化深入研究提供有价值的参考。

1 数据获取及预处理

本研究采用文献计量学和数据挖掘的基本方法对 21 世纪以来全球在陇药红芪科学研究领域的主题和主要内容进行前沿分析^[14]。获得可靠分析结果的关键是文献处理，因为在原始数据中经常会发现重复的文档、无意义的项目或同义词。如果处理不当，词频可能会被低估或计算错误，从而得出不可信甚至相反的结论。然而，目前还没有关于文献计量系统中深度文本预处理的相关研究，因此本研究基于新型文献计量软件 COOC9.9，通过对条目的综合抽取来进行数据的预处理（表 1）。遵循同义词的合并算法，合理设置最小阈值以保证最大限度地保留数据价值，仔细筛选关键词的重组，确保准确性和通用性。

本研究对所得数据（中文 7095 篇、英文 130 篇）使用 COOC9.9 软件的“数据提取模块”分别对 3 个中文文献库多个 TXT 进行数据合并后保存，应用“数据清洗模块”对其分别去重（标题重复）、合并同义词（如机构更名及包含关系，甘肃中医学院合并为甘肃中医药大学，甘肃中医学院药学系合并为甘肃中医药大学），最后数据检查时为避免数据重复再次进行同义词合并、剔除（与药材发展研究无关，如散文、诗歌等题材）等标准化筛选整理后，共得 5698 篇有关红芪的论文，其中中文文献 5615 篇，英文文献 83 篇。

表 1 数据来源及预处理
Table 1 Data source and preprocessing results

检索设定项目	检索设定内容及结果
数据库	中文：中国知网、维普、万方；英文：Web of Science (WOS)
主题词	中文：红芪；英文： <i>Hedysari Radix</i> 、hongqi、 <i>Hedysarum polybotrys</i> Hand. -Mazz.
时间跨度	2000.01.01—2021.12.31
数据处理步骤	①提取合并；②去重；③合并同义词 ^[15]
清洗后的结果	中文：5615 篇；英文：83 篇
总数据	5698 篇

2 多源数据融合分析方法

文献计量学涵盖了结构性、动态性、评估性和预测性，所采用的分析方法需要系统化^[13]。本研究使用 COOC 文献计量分析软件及通过 VOSviewer 软件对文本分析结果进行核实及可视化分析，由 COOC 软件对检索数据进行预处理和数据整理^[16-17]。

3 结果

3.1 红芪科学产出的总体分析

3.1.1 国际科学产出的总体分析 21 世纪以来，有关红芪的英文研究文献较少，从 WOS 数据库筛选得到 83 篇文献，其中包含中国、加拿大、英国等 8 个国家，89 个机构。国际学术研究中以红芪为主题的研究所涉及的高频研究类别有医学、化学、高分子科学、生物化学与分子生物学、免疫学、普通和内部药理学及药理学等，涵盖了中医临床应用、新型用药规律、科学功效研究及中药组方规律等领域的研究。2000—2021 年红芪相关国际研究发文量的演变过程见图 1，由图 1 可将整个发展过程大致分为 2 个阶段：快速发展期和稳定发展期。

(1) 快速发展期（2000—2010 年）：在快速发展阶段，红芪研究涉及领域较多，主要包含关键词有黄芪、物种鉴定、DNA 测序、低血糖、肾上腺素、去甲肾上腺素、胰高血糖素、下丘脑、高效液相色谱、指纹图谱等，其中 Shi 等^[18]采用高效液相色谱研究红芪的指纹图谱，分析了 23 个共有峰，通过研究 10 份红芪样品色谱指纹图谱（chromatography fingerprint, CFP）的特征，证明 CFP 和红芪指标成分的含量测定可用于红芪质量的综合评价；Ma 等^[19]用分子遗传学方法来鉴别不同品种黄芪，同时测定了红芪的核苷酸序列，可以用作黄芪的遗传鉴定方法，同时也有利于鉴别红芪。红芪多糖作为红芪的研究热点，Sang 等^[20]通过动物实验得出黄芪多糖可以通过一种可能涉及中央葡萄糖敏感区的机制来放

大对低血糖的反调节反应，未来的研究将验证黄芪多糖在 1 型糖尿病啮齿类动物模型中的潜在治疗效果。Liu 等^[21]通过提取黄芪和红芪的化学成分，使用 2 种免疫学模型对提取物的免疫作用进行了比较，黄芪和红芪中存在的黄酮类和皂苷类物质不仅在结构上有明显的不同，而且在免疫作用上也有不同。这几篇文献的研究重点均表明快速发展期对于红芪的药理作用和活性成分的基础研究占比较大。

(2) 稳定发展期（2011—2021 年）：研究人员开始对红芪研究内容进行整理归纳，偏向于红芪的营养价值和临床疗效，关键词涉及天然产物、脂质代谢、生物碱、多酚类、抗氧化剂、抗炎症、抑郁症、卵巢癌、免疫功能等。例如，Liu 等^[22]使用高效液相色谱-紫外光谱法和高效液相色谱-蒸发光散射检测器法对红芪和黄芪的异黄酮和皂苷 2 种成分进行了比较分析，结果表明，二者间的这 2 种化学成分存在明显差异，因此其部分生物活性及功效也有所不同；Yu 等^[23]通过动物实验显示红芪多糖对内毒素所致大鼠葡萄膜炎的抑制作用，从而验证其免疫功能。2013—2021 年年均发表论文总数维持在 70 篇左右，发文波动范围较小。

3.1.2 国内科学产出的总体分析 红芪相关领域的发展趋势、知识积累和研究重点可以通过其发文数量分布的变化来反映。2000—2021 年，红芪相关中文文献 5615 篇，表明目前红芪的研究主要在中国，国外研究目前相对较少。将国内整个发展过程可以大致分为 3 个阶段：初始萌芽期、初始增长期、快速增长期，如图 2 所示。

(1) 初始萌芽期（2000—2005 年）：在这一阶段，红芪研究较少，但不乏有高质量文献，不少研究者将红芪和黄芪进行了对比研究，任晓丹^[24]及张春风等^[25]通过对复方“补阳还五汤”的临床应用和中西医结合临床治疗慢性肾功能衰竭贫血的研究体

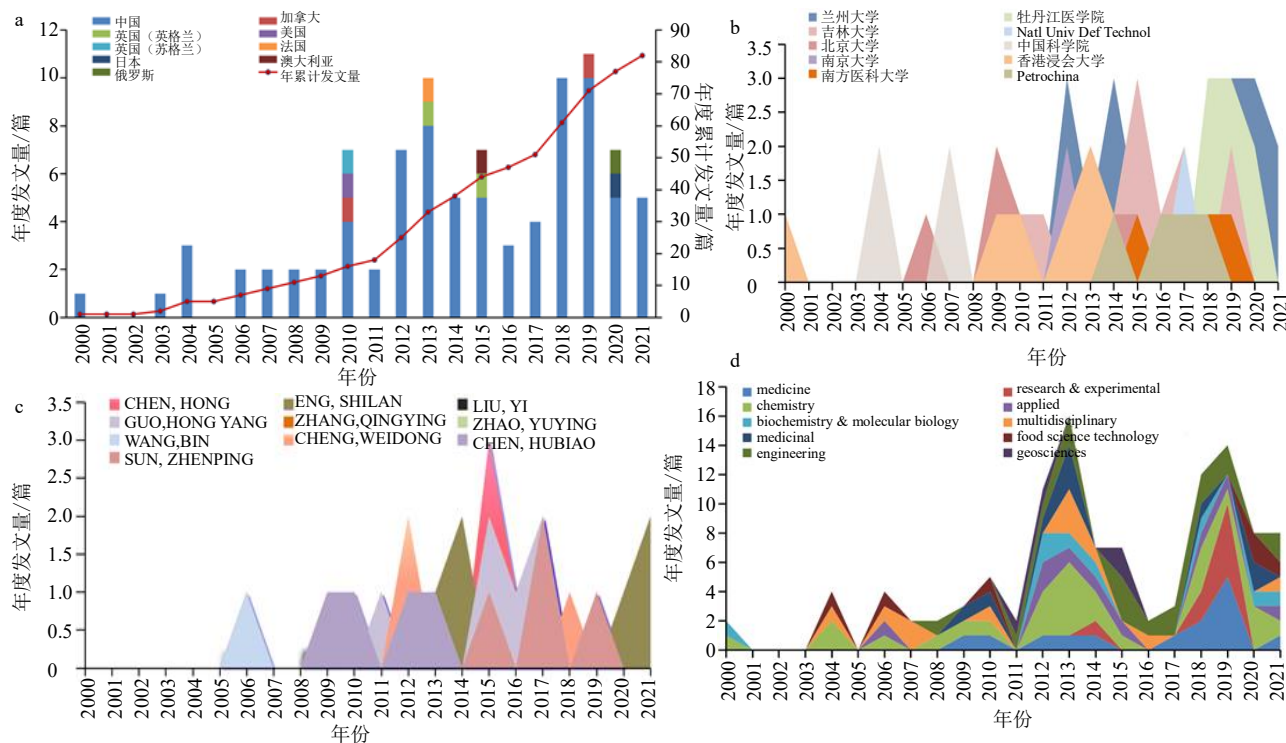


图1 红芪国际科学产出的总体趋势

Fig. 1 General trends of international scientific output of *Hedysari Radix*

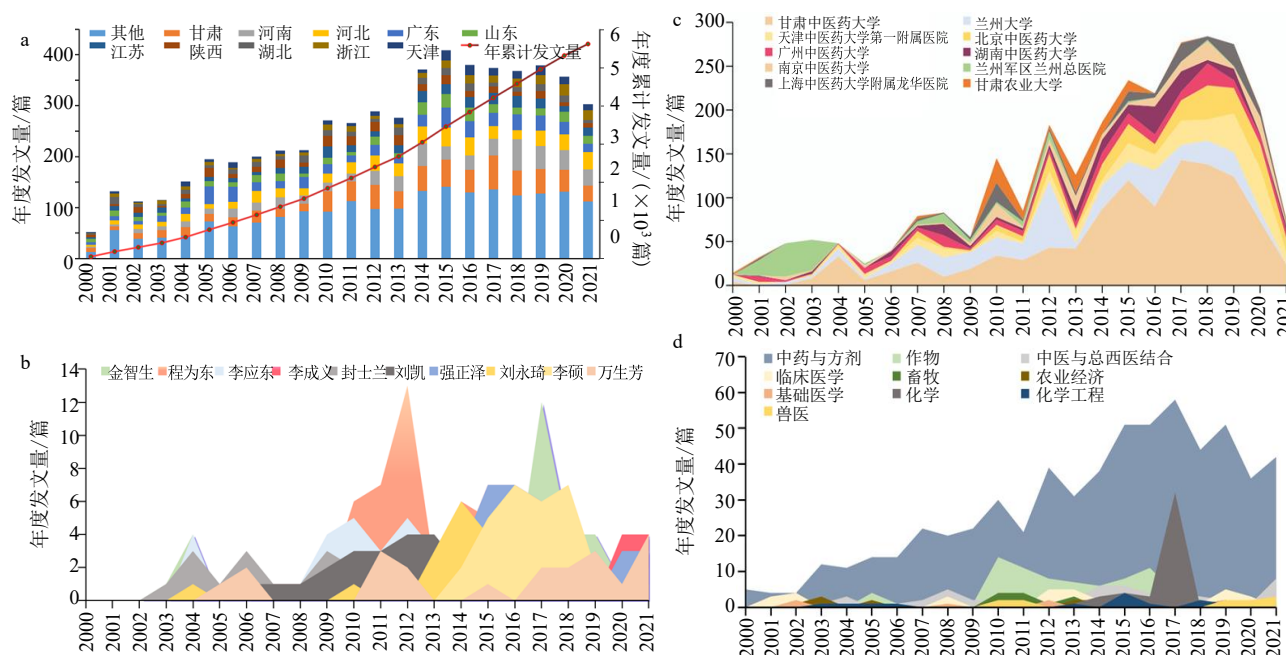


图2 红芪国内科学产出的总体趋势

Fig. 2 General trends of domestic scientific output of *Hedysari Radix*

现了黄芪的良好疗效,使更多研究人员意识到原先作为黄芪基原之一的红芪在临床研究中的重要性和研究潜力,促进了红芪研究从萌芽期向成长期的逐步过渡。

(2) 初始增长期(2006—2012 年):研究人员开始对红芪与黄芪的活性成分的差异性表现出极大兴趣,红芪多糖、黄芪注射液、红芪总黄酮、中西医结合治疗及补阳还五汤等关键词逐渐成为研究热点,发表论文总数从 2006 年的 189 篇增加到 2012 年的 289 篇,年均发表 14 篇。研究人员深入分析对比了红芪与黄芪的活性成分,并研究了产地、环境对其生长的影响,为红芪的科学种植及深入探索生物活性物质开辟了道路。

(3) 快速增长期(2013—2021 年):这一阶段年发文量增长加快。2014 年发文量首次突破 300 篇。此后,红芪研究领域发表的论文呈多元化增长趋势,研究内容开始更加丰富,继续探究中药配伍及临床用药,挖掘红芪的炮制方法及不同炮制品的对比。例如,牛江涛等^[26-27]通过对比红芪与炙红芪补中益气作用及成分差异,揭示红芪蜜炙炮制机制,发现炙红芪与红芪存在差异成分且炙红芪药效作用强于红芪,对脾气虚大鼠免疫功能具有不同程度的干预作用,炙红芪作用较强;同时开始运用大数据对红芪的用药规律进行探索,刘静霞等^[28]使用文献探索软件探究中医药治疗中心性浆液性脉络膜视网膜病变的用药规律特点,指导临床遣方用药,但是没有单独将红芪进行文献计量分析,此阶段连续 8 年年均发文量不低于 300 篇。红芪相关领域的热点论文也集中在这一阶段。即使是现在,红芪相关领域的研究兴趣仍在稳定发展,表明红芪在中药产业界的广泛应用和突出重要性。

从发表论文研究的地区分布(图 2-a)来看,发文量主要集中在红芪的道地产区:甘肃省、河南省、河北省。统计不同机构的发文量,展现发文量前 10 的机构,如图 2-c 所示,甘肃中医药大学和兰州大学发文量最大,除天津中医药大学第一附属医院外,各省份的中医药大学研究发文量也较大,通过对中的高产作者(图 2-c)进行分析可知,其研究基本与高产机构相对应。

3.2 红芪高载文期刊分析

3.2.1 国际高载文期刊分析 期刊是学术和科学报告最重要的来源和指标。通过对期刊分布的分析,可以确定该领域研究的核心方向和研究价值。英文文献中提取发表数量前 10 的期刊进行可视化分析(图 3),如 *Carbohydrate Polymers*、*Experimental and*

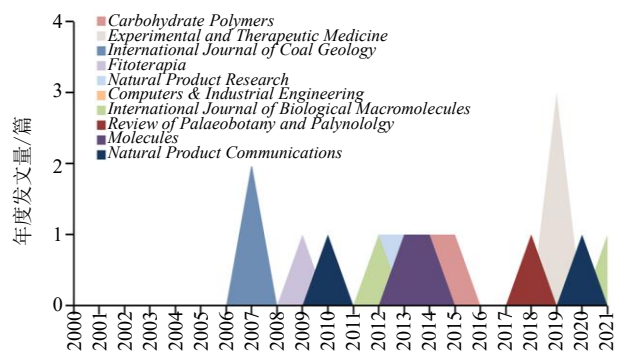


图 3 国际高产期刊年度发文量

Therapeutic Medicine 等发文量均位于前列,其中 *Carbohydrate Polymers* 为化学刊,2022 年影响因子为 10.723,《期刊引用报告》(Journal Citation Reports, JCR)分区属 Q1; *Experimental and Therapeutic Medicine* 为医学期刊,2022 年影响因子为 2.751, JCR 分区属 Q4。2021 年发表于 *Carbohydrate Polymers* 的论文围绕功能性多糖对胃黏膜的重要作用,开展了红芪多糖的结构特征研究及其对 H_2O_2 诱导的人胃上皮细胞损伤的保护作用^[29],以“多糖的胃保护作用已成为功能性多糖研究领域的热点和难点”为研究背景,主要对红芪多糖热力学特性、扫描电镜和刚果红实验结果进行系统研究,最后推测出红芪多糖 HPS-80-1 之所以具有良好的胃黏膜保护活性,可能是由于脊柱中葡萄糖含量较高。研究者通过实验以期对红芪多糖的进一步开发利用提供了科学依据。2014 年发表于 *Experimental and Therapeutic Medicine* 上的论文以红芪多糖 RHP 的抗氧化特性及免疫调节作用为出发点,实验证明了 RHP 可以通过单磷酸腺苷激活蛋白激酶途径抑制非酒精性脂肪肝大鼠模型的脂质代谢障碍,提出 RHP 可能是预防肝脏脂肪变性的一种潜在的药物^[30]。

3.2.2 国内高载文期刊分析 数据整理发现,过去的 22 年,中文文献有 988 种不同的期刊发表了与红芪相关的研究成果。结果如图 4 所示,红芪研

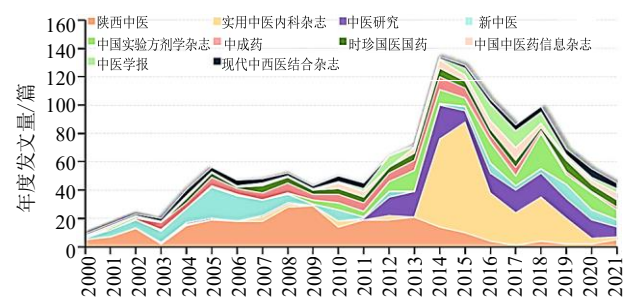


图 4 国内高产期刊年度发文量

Fig. 4 Annual publications in domestic high-yield journals

究领域出版前 10 名期刊是以发文 271 篇为代表的《陕西中医》《实用中医内科杂志》《中医研究》《新中医》《中国实验方剂学杂志》《中成药》《时珍国医国药》《中国中医药信息杂志》《中医学报》《现代中西医结合杂志》，其中《实用中医内科杂志》《中医研究》《新中医》《中国实验方剂学杂志》发文量均超过百篇。方锦颖等^[31]通过网络药理学得出肾康注射液的活性成分通过调节免疫炎症反应、能量代谢、自噬等通路，改善肾功能、降低尿蛋白、延缓糖尿病肾病进展，下载量达 498 次。而在此之前，张玥等^[32]运用了随机平行对照的方法得出补阳还五汤联合化学药分级治疗慢性心力衰竭（气虚血瘀），疗效满意，无严重不良反应，值得推广，研究主要提到了黄芪在方中所发挥的作用，也总结了红芪主要的药理活性。

3.3 红芪高被引文献分析

高被引论文可以反映该领域的影响和热点方向。本研究将对 22 年来红芪相关领域被引较高的论文进行统计分析。进一步对被引频次最高的 25 篇论文的分析表明，在这一领域中，最高产的期刊与被引频次最高的论文之间存在一定的相关性。

3.3.1 国际高被引文献分析 如图 5 所示，WOS 中研究类别>2 的有“医学、化学、高分子科学生物化学与分子生物学、药理学和药学、食品科学与技术化学及免疫学”等多个类别，同时根据被引频次≥40 的高频引用年度占比分析发现，大多数被引用超过 40 次的高被引文献主要发表在 2012 年。其中被引频次最高的文献是 Jian 等^[33]发表在 *Aquaculture* 期刊关于中药对大黄鱼非特异性免疫力和抗病力的影响，其被引频次达 181 次，内容主要研究了由黄芪（或红芪）和当归按 5:1 比例配制的中药对大黄鱼 *Pseudosciaena crocea* (Richardson)

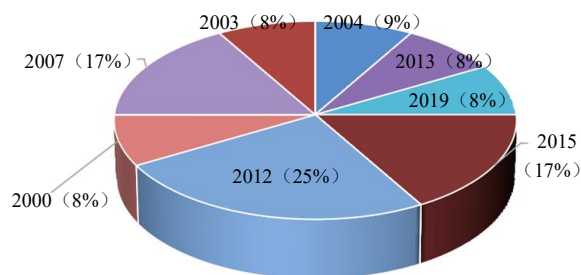


图 5 国际高被引论文年度占比

Fig. 5 Annual proportion of highly cited international article

非特异性免疫的影响，包括吞噬细胞数量、溶菌酶和补体活性，以及对溶藻弧菌的抗病能力，最终结果表明，中药配方可能提高大黄鱼的非特异性免疫功能，增强其抗病能力。前 5 篇高被引文献主要涉及红芪的调节免疫力、抗氧化、抗炎及神经保护等药理作用，其中 Jian 等^[34]发表于 *Fish & Shellfish Immunology* 上的文献关于按比例从红芪和当归中提取制备中药制剂对鲤鱼的非特异性免疫力的影响，再次表明中药配方可以提高草鱼的非特异性免疫功能。2019 年发表于 *International Journal of Clinical and Experimental Medicine* 的有关中药配方对非酒精脂肪肝（nonalcoholic fatty liver disease, NAFLD）的信号通路抗炎作用^[35]的文献，探讨了红芪调脂方在 NAFLD 大鼠肝组织中减轻炎症的潜在作用，通过研究红芪的调脂作用，寻求解决 NAFLD 这一全球性健康问题的方法。

3.3.2 国内高被引文献分析 国内最高被引文献是广州中医药大学何彦丽等^[36]探讨中药多糖通过对树突细胞（dendritic cell, DC）的影响从而发挥抗肿瘤免疫作用的研究，被引 106 次，下载 756 次，主要是“以机体内存在多种免疫监视机制发挥着抗肿瘤作用，而免疫活性细胞致敏、激活和扩增又依赖于抗原提呈细胞（antigen-presenting cell, APC）提呈相应的抗原多肽以及共刺激信号”为背景，结合以往有关中药多糖的研究，对中药多糖与 DC 间存在的可能作用进行了初步的探讨。下载量最大的文献是兰州大学张李峰^[37]通过制备免疫抑制模型，对红芪和黄芪的免疫调节作用及抗免疫老化机制进行比较研究，下载量达 2044 次。而从最高被引的前 5 篇文献来看，大多研究集中在红芪的化学成分上，如海力茜等分别在 2006 年对新疆红芪^[38]、2003 年对多岩序黄芪^[39]的化学成分研究，2004 年胡芳弟等^[40]对黄芪的高效液相色谱指纹图谱及主成分含量的研究。从以上分析表明，随着高被引文献的快速积累，红芪的化学成分类别及与黄芪的差异性成分已逐渐成为热点问题，为进一步挖掘红芪有效成分的研究提供了理论基础。

3.4 红芪研究领域贡献与合作分析

3.4.1 跨地域合作分析 为了明确红芪研究领域涉及的国际合作以及国内不同省份之间的合作关系，对国家/省份之间的相互作用进行了分析和可视化。

（1）国际协作分析：如图 6 所示，国际有 7 个国家参与了红芪研究且存在合作关系。在研究内容

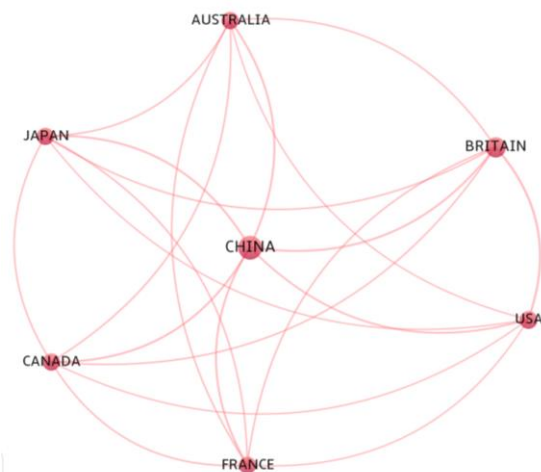


图 6 红芪研究领域的国家共现知识图谱 (频次≥1)

Fig. 6 Knowledge graph of national co-occurrence in field of *Hedysari Radix* (frequency ≥ 1)

上, 主要国家呈现出相似的主流研究分布, 集中在红芪化学成分及药理作用方面的研究。中国拥有最大的科学产出, 累计发表 81 多篇文献, 高于英国 (3 篇) 和加拿大 (2 篇)。然而, 尽管中国拥有大量的知识产出并被高量引用, 但国际影响力略低于加拿大和英国, 因此我国在红芪方面的研究质量暂未达到强国水平, 这可能与仍然存在一定数量的低价值科学论文有关, 对提高国家影响力贡献不大。因此, 开拓创新, 减少重复研究具有重要意义。

合作国家/地区的科学知识图谱 (图 6) 中, 节点代表不同的国家, 其大小代表该国家的领域活跃度和科学产出, 各种颜色表示基于相应国家的共同写作矩阵的不同集群。2 个节点之间的连接表示它们之间的知识协作, 线条粗细表示协作的程度。显然, 2 个节点之间的连线越粗, 两国之间的联系和合作就越深入。中国与各国的合作较为密切, 为红芪合作研究的核心, 同时各国合作也预示着该领域未来的趋势是多个国家和地区的多元化发展。被引频次达 115 次的文献主要研究了硒化修饰红参多糖的抗氧化活性及对氧化应激和氧化诱导的细胞凋亡的神经保护作用^[41]。

(2) 国内 (地区) 协作分析: 我国共有 37 个省份的研究机构参与了红芪研究。在研究内容上, 排名靠前的省份呈现出相似的主流研究分布, 主要集中在红芪与黄芪的有效成分对比、红芪的化学成分、配伍应用、药理作用等方面的研究, 同时越来越多的研究者研究其临床疗效及中西医结合治疗效果。甘肃省 (702 篇) 拥有国内最大的文献产出量, 远

高于河南省 (516 篇)、河北省 (473 篇)。这与甘肃是红芪的道地产区具有很大关系, 着眼于道地药材开展了较多的红芪研究, 其中兰州大学王希玉等^[42]通过对红芪总多糖进行分离、纯化, 进一步研究了其体内抗肿瘤和免疫调节作用。从文献质量及发文量来看, 甘肃省整体在红芪研究方面有较大的影响力。然而, 研究质量创新还有待进一步挖掘, 对于红芪的探索不能止步于此, 更要开拓探索, 减少重复研究, 贡献更大的研究力量。

3.4.2 机构合作分析 机构协作可以反映研究在某一主题上最具生产力的组织信息和机构互动关系。总体来看, 国内各省中医药大学、综合性大学以及科研院所为主要的发文机构, 其中兰州大学对红芪的研究走在了国际前列。运用文献计量学的方法, 对机构进行频率分析, 如图 7 所示。

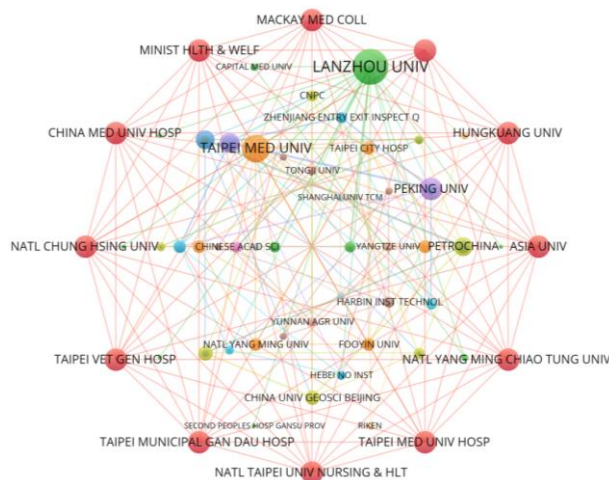


图 7 红芪研究领域的国际间机构共现知识图谱 (频次≥1)

Fig. 7 Co-occurrence knowledge graph of international institutions in field of *Hedysari Radix* (frequency ≥ 1)

(1) 国际间机构协作分析: 发表文献最多的前 10 个机构中, 中国机构占比最大, 少数来自其他国家, 可见中国学术界近年对红芪的关注度高。兰州大学发表的红芪相关文献最多 (17 篇), 其次是牡丹江医学院 (9 篇) 和吉林大学 (12 篇)。其中 2012 年 Wei 等^[43]发表在 *International Journal of Biological Macromolecules* 上的论文通过研究红芪多糖的硫酸化修饰、特性和抗肿瘤活性, 进一步证明了红芪多糖的抗肿瘤活性。

(2) 国内机构间协作分析: 为了更好地呈现组织的集群关系, 反映组织的状况以及领域联系, 本研究还进行了机构的聚类分析 (图 8-a)。由于考虑

了引文的影响力,与共现分析相比,聚类方法能够更好地揭示条目之间的复杂关系,挖掘高度一致的单元簇,有助于研究人员发现潜在的合作单元。如图 8 显示,甘肃中医药大学和兰州大学不仅是最具生产力的机构,也是处于领域核心的机构,拥有最广泛的领域关系,其次是天津中医药大学。分析表明,北京中医药大学、天津中医药大学、长春中医药大学及黑龙江中医药大学等众多中医药大学在这个网络的学术交流中发挥了重要作用,为红芪的科研产出做出了巨大贡献,并与大多数其他院校有合作,但合作程度还不够高,研究联系不紧密。因此,

加强大范围(跨区域、跨背景)的合作是红芪领域未来需要努力的方向。

3.4.3 作者合作分析 作者合作分析有助于在未来的红芪研究中发掘潜在的合作团队和合作伙伴。由于红芪研究涉及类别多,中英文数据库中有较多相关作者。本研究分别统计了中英文合作联系最多的作者合作情况,并对其进行了相应的文献计量学研究。中英文作者合作的网络图直观展现了国内外学者对红芪的研究呈现“局部集中,整体分散”的状态,大多形成了“机构网”的现象。

(1) 国际研究者协作分析:如图 9 所示,体现

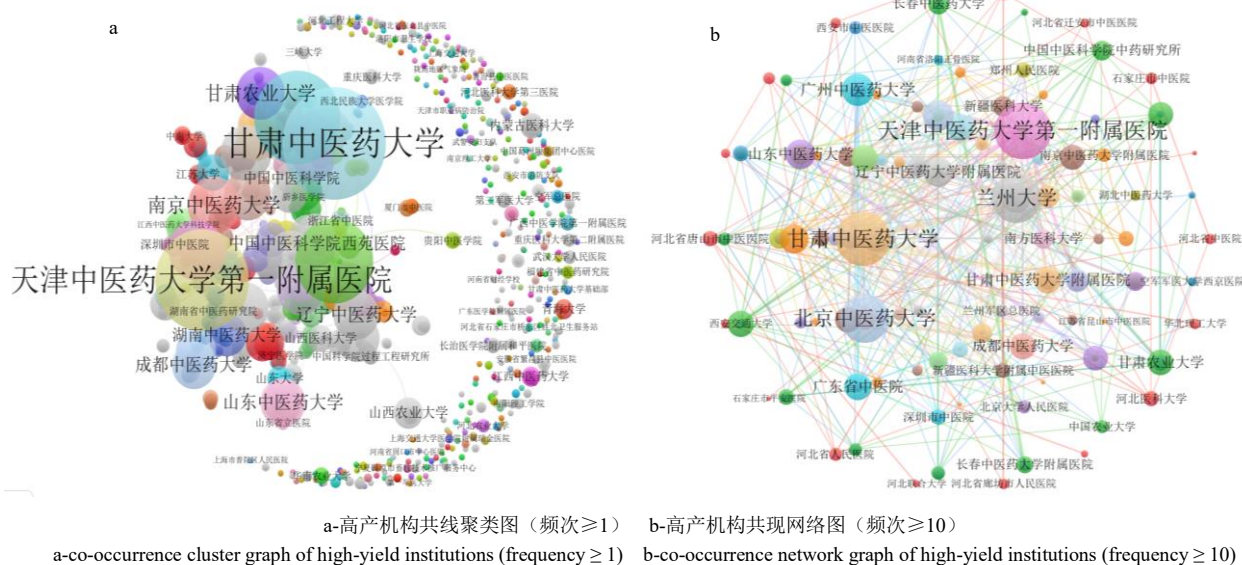


图 8 红芪研究领域的国内机构间共线知识图谱

Fig. 8 Co-occurrence knowledge graph of domestic institutions in field of *Hedysari Radix*

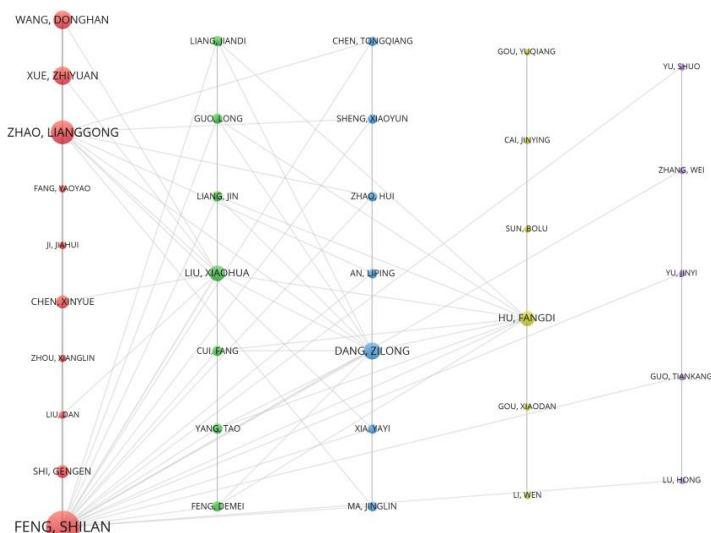


图 9 红芪研究领域的国际研究者共现知识图谱 (频次≥1)

Fig. 9 Co-occurrence knowledge graph of international researchers in field of *Hedysari Radix* (frequency ≥ 1)

了具有合作性且合作最频繁的关联作者，成竖排排列，横排间的联系较弱，形成一些紧密合作的作者群，具有很强的亚群联系，如图 9 中红色线性网络图分别以 Zhao Lianggong、Liu Xiaohua、Dang Zilong、Hu Fengdi、Guo Tiankang 为核心的合作线。其中以 Zhao Lianggong 为核心的合作团队中，依据 Feng Shilan、Wang Donghan 及 Xue Zhiyuan 等的圆圈大小来看，他们对于红芪的研究也较深入，且此合作团队在研究中占比较大。

(2) 国内研究者协作分析：如图 10 所示，大多数合作主要发生在具有相同机构背景的作者之间，如蓝色、橙色及黄色和紫色的研究小团队，以圆圈

大者为研究中心，相互联系，发文量最多的是程卫东，在 2000—2021 年共发表有关红芪的文献 49 篇，形成了以金智生（46 篇）、程卫东（54 篇）、李应东（44 篇）及李成义（39 篇）、封士兰（41 篇）等研究者为中心的合作网络，其中金智生等对红芪的实验研究进行了初步总结，突出了红芪的功效及现代药理作用^[44]，同时魏玉娇等^[45]及胡燕等^[46]分别在不同方面通过实验证明了红芪多糖可以减缓糖尿病肾病的进程，水提物的抗肿瘤和免疫调节作用涵盖了基础研究及临床研究方面，总结了现阶段红芪的研究进展、减缓糖尿病肾病的病程进展的机制以及红芪多糖的抗肿瘤作用（表 2）。

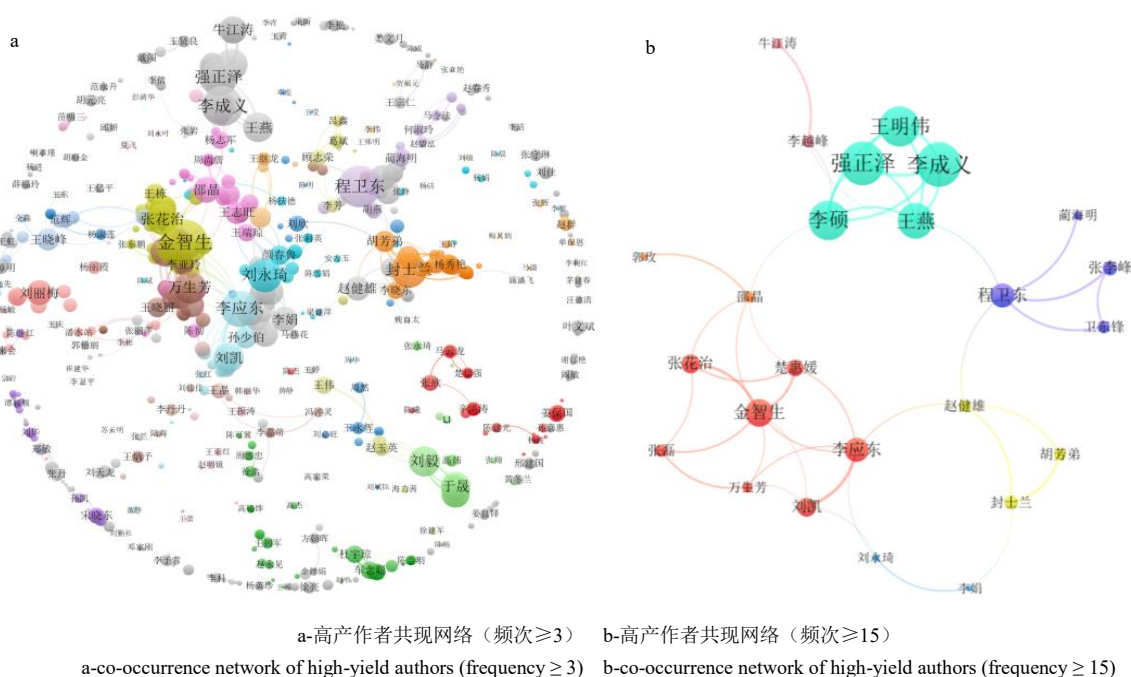


图 10 红芪研究领域的国内研究者共现知识图谱

Fig. 10 Co-occurrence knowledge graph of domestic researchers in field of *Hedysari Radix*

表 2 2000—2021 年高产作者发文量及高被引文献

Table 2 Publications of high-yield authors and highly cited literatures from 2000 to 2021

作者	发文量	主要研究方向	被引频次最高文献的研究内容	机构
程卫东	139	中药学、中医学、农作物	不同红芪多糖的抗肿瘤、免疫调节作用及影响程度 ^[46] ；五指毛桃水提物对免疫抑制小鼠细胞免疫的影响 ^[47]	南方医科大学
金智生	127	中药学、中医学、内分泌腺及全身性疾病	炎症因子在糖尿病肾病发病机制中的中西医研究 ^[48] ，红芪的实验研究，红芪多糖对糖尿病肾病的影响 ^[44-45]	甘肃中医药大学
李应东	350	中药学、中医学、农作物	当归生物活性的研究 ^[49-50] ，B 淋巴细胞瘤-2 (B-cell lymphoma-2, Bcl-2) 家族与线粒体凋亡通路相互作用的研究 ^[51]	甘肃中医药大学
封士兰	204	中药学、化学、有机化工	化学成分的研究，如黄酮类化合物及黄芪甲苷含量研究 ^[52-54]	兰州大学
李成义	178	中药学、农作物、中医学	党参的炮制及基原、栽培 ^[55-57]	甘肃中医药大学

通过分析网络共现图,发现由于研究机构和学科间的联系,作者间存在一定范围的合作关系,进一步互相关联成一张“蜘蛛网”,因此,为了进一步加强红芪的研究,应在红芪研究的发展过程中,特别强调跨背景、跨机构、跨国家的合作以及学科交叉的作用,有利于不同团队之间的相互交流,为红芪领域的跨越式、多元化发展做出贡献。

3.5 研究热点分析

学术论文关键词作为研究核心和学科信息的标签,高度概括了论文的主要内容,可以用来揭示论文的内容特点和学术研究方向。聚类分析可以直观地显示关键词之间的密切关系,判断关键词之间的关联程度,从而进一步揭示该领域的研究热点。关键词之间的距离越近,相似度越高,而距离越长的关键词就会形成其他的分支组。与主观性高、统计一致性差的作者关键词相比,使用通过数据库系统分类得到的关键词具有更高的准确度、权威性和统计价值。因此,本研究以关键词为研究对象,通过

使用 VOSviewer、COOC 的聚类技术,对 5698 篇红芪相关文献中的热词进行挖掘和分析,从而确定红芪研究的热点领域和发展趋势。

3.5.1 国际文献关键词共现聚类分析 在利用共被引方法来探测研究热点时, 首先对共被引网络进行聚类, 以聚类成员的共同特征来对聚类进行识别和解释, 以此来完成对研究热点的探测。如图 11 所示, 国际文献频次较高的前 5 个热点分别是 polysaccharide (5 次)、traditional Chinese medicine (3 次)、China (2 次)、*Astragali Radix* (2 次)、antioxidant activity (2 次)。总体来看, 国际对于红芪的研究主要与中国传统中医药相联系, 表明国际研究主要基于传统中医药学, 研究红芪的化学成分及药理活性, 探讨其有效成分及中西医结合临床疗效, 在一定程度上揭示了红芪在全世界范围内的研究热点及研究方向。

3.5.2 国内文献关键词共现分析 通过分析国内各省份的研究热点关键词(图 12), 高频关键词主

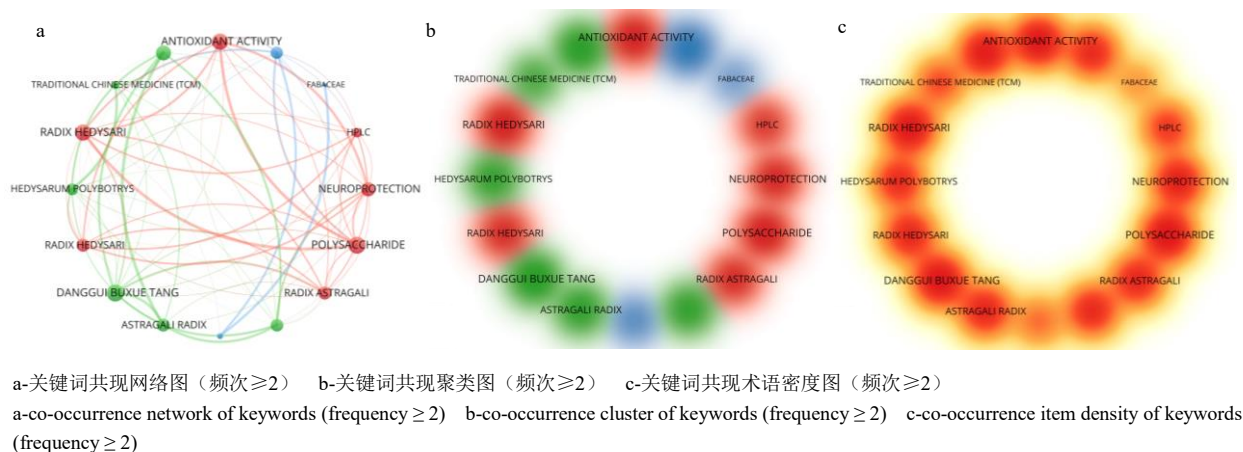


图 11 红芪研究领域的国际关键词共现知识图谱

Fig. 11 Co-occurrence knowledge graph of international keyword in field of *Hedysari Radix*

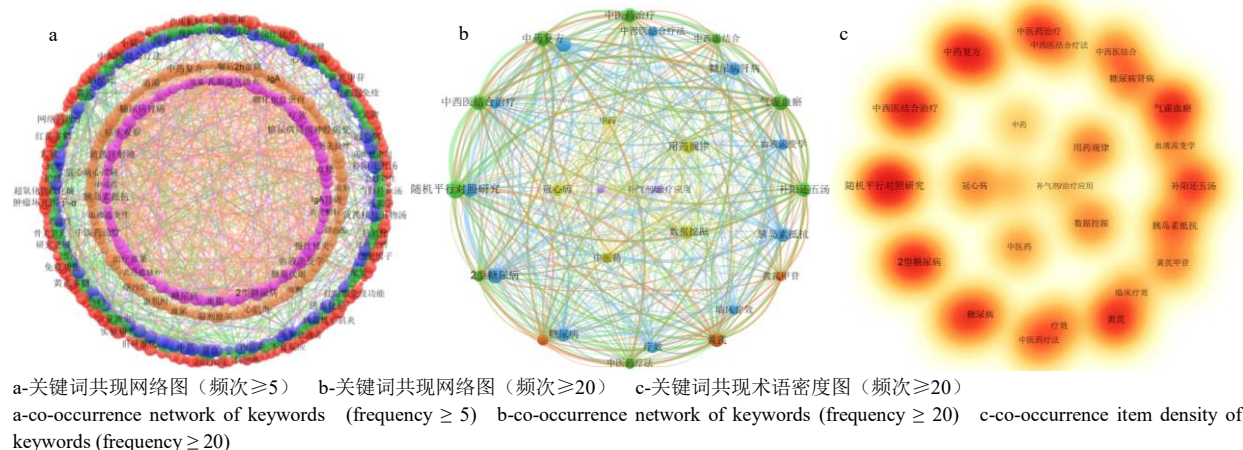


图 12 红芪研究领域的国内关键词共现知识图谱

Fig. 12 Co-occurrence knowledge graph of domestic keyword in field of *Hedysari Radix*

要有黄芪(479 次)、红芪(261 次)、补阳还五汤(203 次)、黄芪注射液(193 次)、2 型糖尿病(193 次)、糖尿病肾病(179 次)、红芪多糖(150 次)、中医药疗法(140 次)等。国内红芪研究主要与经典名方及具体的疾病相联系,如补阳还五汤和糖尿病肾病等,表明国内主要围绕如何在经典名方的基础上加减药味、创新剂型,探讨红芪具体的药理作用,以便更好地发挥其临床疗效,改进经典名方在现代临床应用上的不足。红芪多糖的研究也和全球热点研究相一致,将红芪的应用国际化[58]。

通过分析国际与国内文献关键词的一致与差异性,发现当红芪作为一味中药材进行研究时,国内外开展黄芪的鉴别研究,发现如黄芪一样,红芪多糖为红芪的主要有效成分;国内外均开展以红芪多糖为重点的药理研究,并且增强临床疗效;国内外分别对红芪的传统中医药文化进行了探索,其中国际 2 次,国内 140 次,与中医药文化自信的增强及新型冠状病毒疫情中中医药发挥的重要作用密不可分,而国际发展迅速也使对于红芪抗氧化活性(2 次)的研究稍早于国内。

3.5.3 时间视角下的红芪研究热点分析 为了探索红芪研究领域的前沿,有必要研究关键词的时间轴演变。然而,5698 篇文献中的关键词过于庞大,给文献计量分析带来了较大的困难。因此,本研究利用最能代表该领域前沿的高被引文献中的热点关键词来简化文献计量分析模型,尤其是词频分析法[59]。图 13、14 可视化展示了红芪研究领域高被引文献的关键词时间线,通过分析发现 2000—2021 年前期阶段,由于科技迅速发展,国内外的研究重点均集中于新型科学技术在中药材研究中的应用及中药多种新剂型的开发;后期随着有效成分种类的研究逐渐成熟,国外将重点逐渐转移至有效成分的药理作用研究,而国内在此基础上,随着中医药文化自信的增强指引研究回归到传统中医药的研究重心,中医药经典名方的继承创新及临床疗效成为研究重点。将关键词第 1 次出现的年份进行标记,交叉节点越大,关键词出现的频率就越高。节点链接代表关键词的协同关联,节点中心度越高,与其他关键词共现的链接越多。

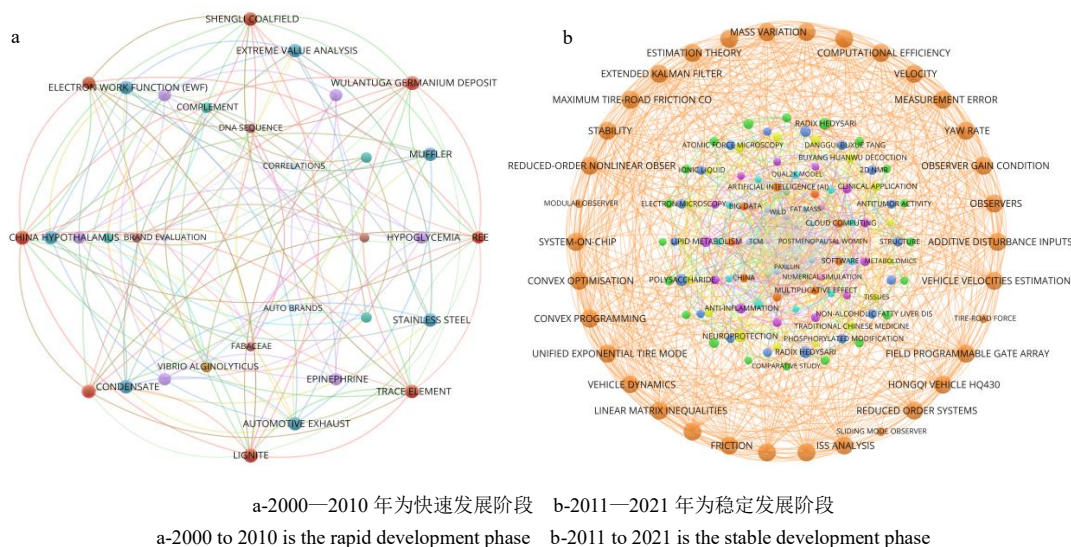


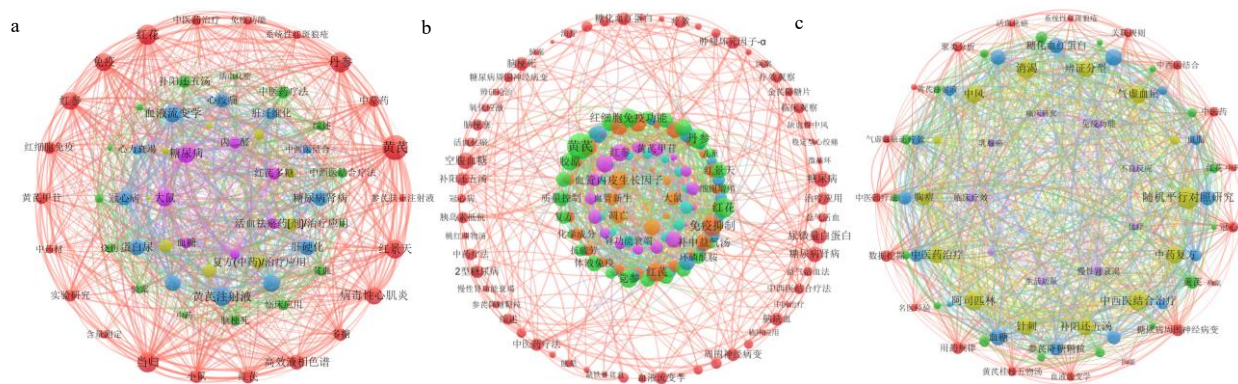
图 13 不同时期红芪研究领域国际关键词共现网络图

Fig. 13 Co-occurrence knowledge graph of international keyword in field of *Hedysari Radix* in different periods

(1) 国际研究热点分析:按照时间线对国际研究高频关键词做进一步分析,以分类和剖析不同阶段红芪的研究热点(图 13),观察发现 2 阶段的研究内容具有共性和差异性。2000—2010 年国际研究热点分析发现,该阶段主要偏重于化学成分及新技术的研究[60-61],涵盖了高效液相色谱法、胰岛素酶、去甲肾上腺素等研究,比较偏向成分和临床分析;

2011—2021 年脂质代谢、抗炎、抗氧化及神经保护、传统中医药成为了研究热点的关键词,在继续进行化学成分及药理作用研究的基础上逐渐回归到中医药经典研究。

(2) 国内研究热点分析:随着中药药效研究的兴起,对中药剂型的创新也逐渐成为国内的研究重点,黄芪注射液的研究[62]稳居首位,同时对糖尿病、



a-2000—2005 年为初始萌芽期 (频次 ≥ 5) b-2006—2012 年为初始增长期 (频次 ≥ 5) c-2013—2021 年为快速增长阶段 (频次 ≥ 20)
a-2000 to 2005 is the initial budding period (frequency ≥ 5) b-initial growth period (frequency ≥ 5) from 2006 to 2012 c-2013 to 2021 is the rapid growth period (frequency ≥ 20)

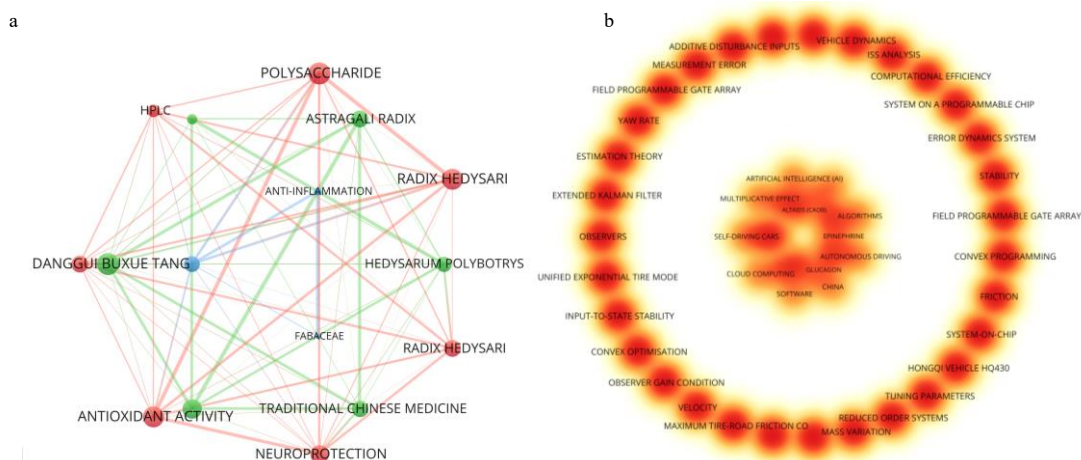
图 14 不同时期红芪研究领域国内关键词共现网络图

Fig. 14 Co-occurrence knowledge graph of domestic keyword in field of *Hedysari Radix* in different periods

红芪多糖及传统中医药等方面的研究也与国际接轨,红细胞免疫、病毒性心肌炎、糖尿病、丙二醛、系统性红斑狼疮等临床应用及对丹参、当归、红景天等中药的研究在 2000—2005 年也逐渐紧密 (图 14-a)。中医药疗法、中西医结合疗法^[63]及糖尿病肾病的研究是 2006—2012 年的研究热点,如图 14-b 外周红圈所示,在这个时期对于各种疾病的系统研究更为明显,展现出红芪在中西医临床应用方面研究得到进一步深入;2013—2021 年红芪研究深入到临床疗效方面,同时文化自信也让国内的研究重点回归到传统中医药的重心,传统中药复方的继承和创新及用药规律的探索等逐渐成为研究热点。

3.5.4 地域视角下的红芪研究热点分析 对国际

及中国各省市红芪的研究热点进行可视化分析,可直观地发现国际及中国各省市对红芪的研究次数及内容,见图 15、16。由于 21 世纪初国际科技发展迅速,对于动物实验及药材的药理研究较为领先,使国外的研究更偏向于药理作用和临床疗效,而国内的热点研究则偏向于化学成分及临床疗效,其中甘肃为红芪道地产区,研究范围涉及广泛,包括有效成分、新剂型及临床疗效的研究;而广东省、江苏省和湖北省发展较快,研究偏向于新剂型的开发;而河南、河北、山东和陕西各省为多种药材的道地产区,偏重于药材的道地性研究,重点在于有效成分的基础探究;浙江省和天津市则主要围绕中西医结合的创新和临床疗效的研究。



a-中国关键词共现网络图 (频次 ≥ 2) b-其他国家关键词共现聚类密度图 (频次 ≥ 1)
a-co-occurrence network of Chinese keywords (frequency ≥ 2) b-keyword co-occurrence clustering density of other countries (frequency ≥ 1)

图 15 不同地域红芪研究领域的关键词共现知识图谱

Fig. 15 Co-occurrence knowledge graph of keyword in field of *Hedysari Radix* at different regions

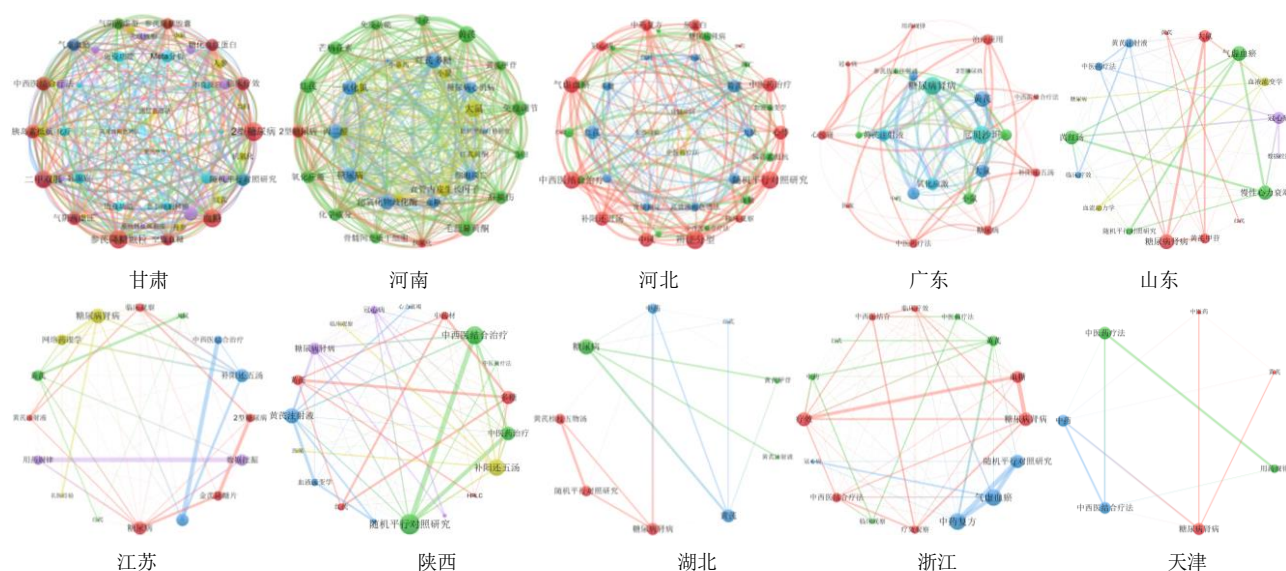


图 16 我国各省市红芪研究领域的关键词共现知识图谱 (频次≥5)

Fig. 16 Co-occurrence knowledge graph of keyword in field of *Hedysari Radix* in various provinces and city of China (frequency ≥ 5)

(1) 国际研究热点分析: 图 15-a 展现了关键词频次≥2 的中国在国际上呈现出来的热点研究, 研究内容涉及中国传统医学, 同时对于脂质代谢和抗炎等方面也有研究。图 15-b 展现了除了中国以外其他国家在国际呈现出来的热点关键词, 其他国家在红芪生物活性和转化酶学^[64]方面的投入较大。

(2) 国内研究热点分析: 追踪中国发文量前 10 的省份对红芪研究的热点关键词, 并进行可视化分析(图 16)。发文量前 10 的省市为甘肃省、河南省、河北省、广东省、山东省、江苏省、陕西省、湖北省、浙江省、天津市。

以各省市排名前 5 的研究热点关键词为例, 甘肃省作为红芪的道地产区, 红芪的研究频次(表 3)及研究内容均涉及较广, 主要为经典名方如补阳还五汤的研究, 以及黄芪与红芪未分列前对黄芪、黄芪注射液、参芪扶正注射液的研究, 在中药剂型的创新上走在前列, 同时对 2 型糖尿病的研究也较多。河南省的主要关键词为黄芪、黄芪多糖、红芪多糖、大鼠及红芪; 河北省为红芪多糖、红芪、黄芪、补阳还五汤及随机平行对照研究; 广东省为黄芪、红芪、黄芪注射液、红芪多糖、补阳还五汤; 山东省为糖尿病肾病、黄芪、中医药疗法、血液流变学及慢性心力衰竭; 江苏省为黄芪、黄芪注射液、糖尿病肾病、用药规律及糖尿病肾病; 陕西省为黄芪、补阳还五汤、活血祛瘀剂/治疗应用、中医药疗法; 湖北省为黄芪、黄芪注射液、黄芪甲苷、黄芪桂枝五物汤及黄芪多糖; 浙江省为中西医结合、中

表 3 2000—2021 年各省市发文频次及占比

Table 3 Frequency and proportion of documents issued by each province from 2000 to 2021

省/市	频次	占比/%
甘肃	687	12
河南	512	9
河北	461	8
广东	447	8
山东	301	5
江苏	296	5
陕西	265	5
湖北	210	4
浙江	216	4
天津	208	4

西结合疗法、临床观察、黄芪、红芪; 天津市为活血祛瘀剂/治疗应用、黄芪、随机平行对照研究、中西医结合治疗、糖尿病肾病。总体来看, 中国各省市对于红芪多糖的研究不分上下, 且河北省、山东省及陕西省对红芪中西医结合临床研究的过程中, 均用到了随机平行对照研究方法^[65], 结合西医疗效对其临床研究进行了充分验证, 真正将中药服务于临床。

3.6 研究主题演化路径分析

如图 17 所示, 对红芪国内外关键词的主题演化做了进一步的统计分析, 结合其他可视化图, 可进一步得出红芪临床疗效及活性成分的研究快速兴时代的前沿研究群体。结合之前对已发表研究结果

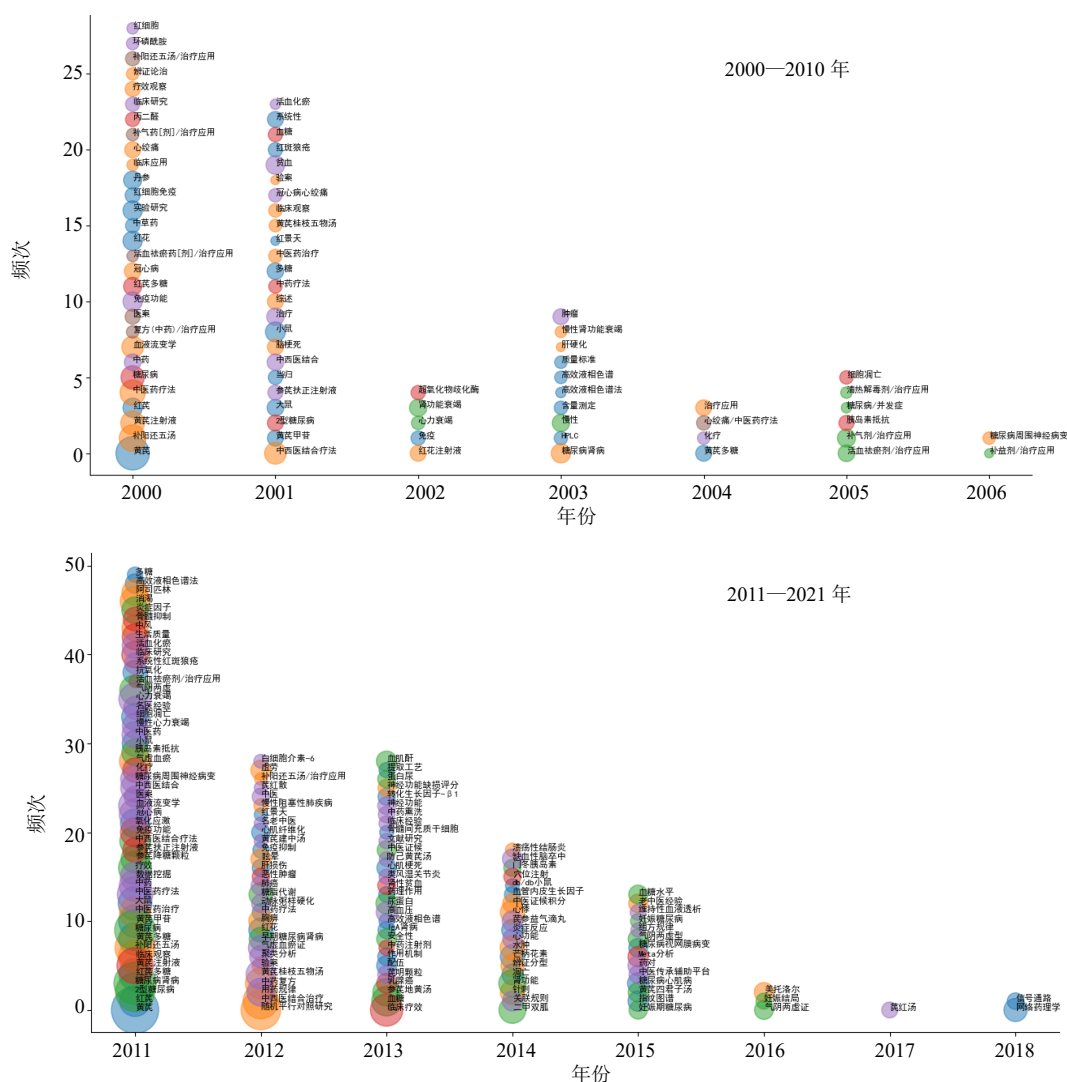


图 17 红芪研究领域的高产关键词聚类散点图

Fig. 17 Scatterplot of high-yielding keyword clusters for research in field of *Hedysari Radix*

的热点分析,排名靠前的热点研究可能会造成研究方向趋同而减缓未来的多向发展。因此,更应关注排名较低的关键词代表,其研究结果数量相对较少,研究潜力大,更可能具有爆炸性增长潜力。

3.6.1 国际研究主题演化路径分析 由于国际对于红芪的研究内容较少, 前沿分析数据量小, 无法对其进行系统总结及预测分析, 所以将其 2 个较大的聚类进行展示, 如脂质代谢、抗炎、非酒精性脂肪肝、烷烃类化合物、多酚类化合物、抗氧化剂、DNA 序列及物种鉴定等形成了一个聚类, 新生儿肾积水、视黄醇结合蛋白及肌醇蛋白形成了一个聚类。同时发现红芪活性成分的靶点研究应是目前关注的主流方向。值得注意的是, 关于红芪在中医临床案例中的应用及其配伍应用的研究也开始转变为红芪研究领域的热点和前沿, 成为重要的研究内容。

3.6.2 国内研究主题演化路径分析 结合中心性分析可以得到红芪高频关键词的中心度等社会网络特征,进而能够根据中心性的大小得到近年来文献研究的热点。摘取共线矩阵频次 ≥ 10 的关键词,2000年红芪研究的范围较广,涉及药材、中医药药方、临床应用及指标成分,截至2006年,研究逐渐细化到糖尿病周围神经病变,从2011年开始研究内容逐渐偏向药理方向及具体的疾病,如二甲双胍、神经功能及胸痹、肺癌、恶性肿瘤等,最后演变出信号通路和网络药理学。

4 结论与展望

2000—2021 年红芪研究总体取得了巨大进展, 发表论文呈现多元化增长趋势, 研究内容丰富。通过描述性统计分析, 确定了贡献与合作的国内外跨地域机构与作者及其研究。中国处于国际研究的核心

地位,其中国内机构兰州大学、甘肃中医药大学、吉林大学和天津中医药大学位于前列,主要以中医药疗法及糖尿病为研究方向,对于经典名方的挖掘创新较为突出。且根据时间轴分析和前沿识别表明,在过去的 22 年里,由于最初红芪作为黄芪的来源之一,未将其与黄芪进行区分,物种鉴定归于黄芪的 1 个种,后红芪单列成为一味药材后,开始细分鉴定药材,并且进一步对红芪与黄芪进行成分及药效对比研究;后续进行了中药材的全方位基础研究,因此通过数据整理发现红芪的研究重点主要经历了从物种鉴定、与黄芪对比研究、有效成分分析、药理药效分析到中西医结合临床应用研究,形成了红芪领域新时代的前沿课题研究方向,对于红芪临床应用过程中的信号通路作用机制以及网络药理学研究逐步深入,且其在中医临床及中西药合用的应用研究一直是当前乃至未来持续关注的前沿方向。然而,在合作方面,机构内作者合作占据主流,因此应强调跨背景、跨机构、跨国家的合作以及跨学科在红芪研究中的作用,以促进团队之间的相互交流和多元化发展,同时促进多学科、多领域的综合发展。

我国中药材资源丰富,甘肃省作为红芪的道地产区,研究优势显著,对红芪的活性成分、药理药效和中西医结合临床应用等方面的系统性研究有助于红芪产业的高质量发展。通过对红芪研究进展的数据挖掘并结合文献计量学^[67]方法,可有效掌握红芪的研究方向和发展的前沿动态,并提供了一种数据驱动的战略和框架。由于对数据库的统计分析依赖性强、清洗软件不彻底及数据库现存研究数据量较少等原因,统计结果可能存在一定的局限性,但一定程度上仍然可以揭示红芪领域未来的研究趋势和重点,笔者将继续搜集红芪研究的相关文献,运用更加科学严谨的方法整理分析文献数据,客观地展示本领域研究现状和发展趋势,以期红芪的研究提供依据。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参考文献

- [1] 中国药典 [S]. 一部. 1990: 127-128.
- [2] 魏·吴普等述. 清·孙星衍, 孙冯翼辑. 神农本草经 [M]. 北京: 科学技术文献出版社, 2003: 25.
- [3] 李广民, 王维宁, 胡妙申. 中药红芪生药学研究 [J]. 中药通报, 1987(8): 7-10.
- [4] 中国药典 [S]. 一部. 1977: 516-517.
- [5] 中国药典 [S]. 一部. 1985: 272.
- [6] 程超寰. 本草释名考订 [M]. 北京: 中国中医药出版社, 2013: 185.
- [7] 冯慧敏, 李成义, 何军刚, 等. 红芪化学成分和药理作用研究进展及质量标志物 (Q-Marker) 的预测分析 [J]. 中草药, 2021, 52(9): 2831-2842.
- [8] 雷文晖, 李洁. 红芪多糖的药理作用研究进展 [J]. 实用药物与临床, 2019, 22(9): 976-979.
- [9] 赵昱波, 陈俊, 许浚, 等. 红芪的化学成分及抗肿瘤作用研究进展 [J]. 中草药, 2015, 46(22): 3434-3440.
- [10] 丁建, 夏燕莉. 中国药用植物资源现状 [J]. 资源开发与市场, 2005, 21(5): 453-454.
- [11] 彭勇, 肖培根. 中国药用植物资源开发利用研究的回顾与展望 [J]. 植物资源与环境, 1993(1): 49-55.
- [12] 吕岩威, 刘洋, 李平. 中国技术经济研究的动态知识图谱分析 [J]. 科学决策, 2017(8): 69-94.
- [13] 张清源, 张敬文, 吴千言, 等. 活血化瘀类复方防治高脂血症的临床研究热点与趋势——基于 VOSviewer 的可视化分析 [J]. 中草药, 2022, 53(1): 196-205.
- [14] 杜丽东, 田金徽, 吴国泰, 等. 基于文献的中药治疗便秘的社会网络分析 [J]. 中国中药杂志, 2017, 42(2): 370-377.
- [15] Qin F Z, Li J L, Zhang C, *et al.* Biochar in the 21st century: A data-driven visualization of collaboration, frontier identification, and future trend [J]. *Sci Total Environ*, 2022, 818: 151774.
- [16] Oyewola D O, Dada E G. Exploring machine learning: A scientometrics approach using bibliometrix and VOSviewer [J]. *SN Appl Sci*, 2022, 4(5): 1-18.
- [17] De las Heras A, Relinque-Medina F, Zamora-Polo F, *et al.* Analysis of the evolution of the sharing economy towards sustainability. Trends and transformations of the concept [J]. *J Clean Prod*, 2021, 291: 125227.
- [18] Shi L F, Fang D H, Jian X Z, *et al.* Studies on chromatography fingerprint of Hongqi by high-performance liquid chromatography [J]. *Chin Chem Lett*, 2004, 15(11): 1335-1338.
- [19] Ma X Q, Duan J A, Zhu D Y, *et al.* Species identification of *Radix Astragali* (Huangqi) by DNA sequence of its 5S-rRNA spacer domain [J]. *Phytochemistry*, 2000, 54(4): 363-368.
- [20] Sang Z, Zhou L G, Fan X N, *et al.* *Radix Astragali* (Huangqi) as a treatment for defective hypoglycemia counterregulation in diabetes [J]. *Am J Chin Med*, 2010, 38(6): 1027-1038.
- [21] Liu J, Hu X, Yang Q, *et al.* Comparison of the immunoregulatory function of different constituents in *Radix Astragali* and *Radix Hedysari* [J]. *J Biomed Biotechnol*, 2010, 2010: 479426.

- [22] Liu Y, Zhang X J, Zhao Y Y, *et al.* Comparative chemical analysis of *Radix Astragali* and *Radix Hedysari* by HPLC [J]. *Nat Prod Res*, 2012, 26(20): 1935-1938.
- [23] Yu S, Zhang W, Yu J Y, *et al.* Inhibiting effect of *Radix Hedysari* polysaccharide (HPS) on endotoxin-induced uveitis in rats [J]. *Int Immunopharmacol*, 2014, 21(2): 361-368.
- [24] 任晓丹. 补阳还五汤临床运用 [J]. 四川中医, 2002, 20(5): 68-69.
- [25] 张春风, 艾长山. 中西医结合治疗慢性肾功能衰竭贫血 52 例 [J]. 吉林中医药, 2005, 25(4): 29.
- [26] 牛江涛, 曹瑞, 边甜甜, 等. 红芪与炙红芪补中益气作用对比及成分差异分析 [J]. 中草药, 2019, 50(13): 3107-3112.
- [27] 牛江涛, 曹瑞, 司昕蕾, 等. 红芪与炙红芪对脾气虚大鼠免疫功能的干预作用 [J]. 中国医院药学杂志, 2020, 40(3): 265-268.
- [28] 刘静霞, 刘一鸣. 基于现代文献探析中心性浆液性脉络膜视网膜病变的中医用药规律 [J]. 中国中医药科技, 2021, 28(6): 1029-1033.
- [29] Xue Z Y, Zhao L G, Wang D H, *et al.* Structural characterization of a polysaccharide from *Radix Hedysari* and its protective effects against H₂O₂-induced injury in human gastric epithelium cells [J]. *Int J Biol Macromol*, 2021, 189: 503-515.
- [30] Sun W M, Wang Y P, Duan Y Q, *et al.* *Radix Hedysari* polysaccharide suppresses lipid metabolism dysfunction in a rat model of non-alcoholic fatty liver disease via adenosine monophosphate-activated protein kinase pathway activation [J]. *Mol Med Rep*, 2014, 10(3): 1237-1244.
- [31] 方锦颖, 王一冲, 神原优滋, 等. 基于网络药理学和分子对接探究肾康注射液治疗糖尿病肾病作用机制 [J]. 陕西中医, 2021, 42(12): 1798-1802.
- [32] 张玥, 谷玉红, 王居新. 补阳还五汤联合西药治疗慢性心力衰竭 (气虚血瘀) 随机平行对照研究 [J]. 实用中医内科杂志, 2019, 33(2): 25-28.
- [33] Jian J C, Wu Z H. Effects of traditional Chinese medicine on nonspecific immunity and disease resistance of large yellow croaker, *Pseudosciaena crocea* (Richardson) [J]. *Aquaculture*, 2003, 218(1/2/3/4): 1-9.
- [34] Jian J C, Wu Z H. Influences of traditional Chinese medicine on non-specific immunity of Jian Carp (*Cyprinus carpio* var. *jian*) [J]. *Fish Shellfish Immunol*, 2004, 16(2): 185-191.
- [35] Liang Z E, Zhang Y P, Tang K R, *et al.* Anti-inflammation effect via TLR4-mediated MyD88-dependent and -independent signalling pathways in non-alcoholic fatty liver disease rats: Chinese herb formula [J]. *Int J Clin Exp Med*, 2019, 12(3): 2265-2277.
- [36] 何彦丽, 苏俊芳. 中药多糖抗肿瘤免疫药理研究的新思路: 对树突状细胞的影响 [J]. 中国中西医结合杂志, 2003, 23(1): 73-76.
- [37] 张李峰. 红芪和黄芪的免疫调节作用及抗衰老机制比较研究 [D]. 兰州: 兰州大学, 2012.
- [38] 海力茜·陶尔大洪, 徐建军, 凯赛尔·阿不都克热木, 等. 新疆红芪的化学成分 [J]. 华西药学杂志, 2006(1): 47-48.
- [39] 海力茜, 张庆英, 梁鸿, 等. 多序岩黄芩化学成分研究 [J]. 药学学报, 2003, 38(8): 592-595.
- [40] 胡芳弟, 赵健雄, 封士兰, 等. 黄芪的高效液相色谱指纹图谱及主成分含量测定 [J]. 中药材, 2004, 27(11): 831-834.
- [41] Wei D F. Synthesis, characterization, antioxidant activity and neuroprotective effects of selenium polysaccharide from *Radix Hedysari* [J]. *Carbohydr Polym*, 2015, 125: 161-168.
- [42] 王希玉, 路莉, 胡燕, 等. 不同红芪多糖抗肿瘤和免疫调节作用研究 [J]. 中药药理与临床, 2009, 25(5): 72-74.
- [43] Wei D F, Wei Y X, Cheng W D, *et al.* Sulfated modification, characterization and antitumor activities of *Radix hedysari* polysaccharide [J]. *Int J Biol Macromol*, 2012, 51(4): 471-476.
- [44] 金智生, 汝亚琴. 中药红芪的实验研究进展 [J]. 甘肃中医学院学报, 2003, 20(4): 52-56.
- [45] 魏玉娇, 金智生, 朱真灵, 等. 红芪多糖对糖尿病肾病 db/db 小鼠肾脏保护作用及其对肾组织 PKC α 与 VEGF 表达的影响 [J]. 北京中医药大学学报, 2014, 37(2): 116-120.
- [46] 胡燕, 程卫东, 刘欣, 等. 红芪和黄芪水提物对小鼠免疫功能影响的差异 [J]. 北京中医药大学学报, 2011, 34(9): 623-626.
- [47] 杨杰, 卫东锋, 王文潇, 等. 五指毛桃水提物对免疫抑制小鼠细胞免疫的影响 [J]. 中药药理与临床, 2015, 31(6): 111-114.
- [48] 李雪英, 杨丽霞, 姜良恩, 等. 炎症因子在糖尿病肾病发病机制中的中西医研究述评 [J]. 世界中西医结合杂志, 2016, 11(4): 572-575.
- [49] 王雪梅, 李应东. 当归有效成分及其药理作用的研究进展 [J]. 甘肃中医, 2009(11): 50-51.
- [50] 王惠珍, 张新慧, 李应东, 等. 轮作与连作当归光合特性和挥发油的比较 [J]. 草业学报, 2011, 20(1): 69-74.
- [51] 许茸茸, 李应东. Bcl-2 家族与线粒体凋亡通路相互作用研究进展 [J]. 中国老年学杂志, 2013, 33(12): 2977-2979.
- [52] 郑媛媛, 李辰, 封士兰, 等. 油橄榄叶中总黄酮含量测

- 定方法探讨 [J]. 光谱学与光谱分析, 2011, 31(2): 547-550.
- [53] 封士兰, 何兰, 王敏, 等. 百合花化学成分的研究 [J]. 中国中药杂志, 1994, 19(10): 611-612.
- [54] 胡芳弟, 封士兰, 赵健雄, 等. HPLC 法测定黄芪中黄酮类成分和黄芪甲苷的含量 [J]. 分析测试技术与仪器, 2003, 9(3): 173-177.
- [55] 李成义, 魏学明, 王明伟, 等. 硫熏对党参中党参炔苷含量的影响 [J]. 中国现代中药, 2010, 12(12): 11-13.
- [56] 杨扶德, 李成义. 党参历代本草考证 [J]. 中国中医药信息杂志, 2007, 14(2): 100-101.
- [57] 李成义, 刘书斌, 李硕, 等. 甘肃党参栽培现状调查分析 [J]. 中国现代中药, 2016, 18(1): 102-105.
- [58] 张伟, 刘雪梦, 王蝶, 等. 自然资源产权制度研究进展与展望 [J]. 中国土地科学, 2021, 35(5): 109-118.
- [59] 高劲松, 黄梅, 付家伟. 基于年度高频关键词的研究热点提取与可视化研究 [J]. 现代情报, 2020, 40(12): 130-139.
- [60] 刘毅, 张征, 张庆英, 等. 红芪化学成分及其抗氧化活性研究 [J]. 中国药事, 2010, 24(6): 543-545.
- [61] 李芳蓉, 田永峰, 陈鑫, 等. 超声波技术在红芪多糖提取及分子修饰中的应用研究进展 [J]. 贵州大学学报: 自然科学版, 2020, 37(6): 51-55.
- [62] 程芳, 鄢宇梅, 盛艳梅, 等. 黄芪注射液对慢性脑缺血性脑神经损伤的保护作用 [J]. 现代药物与临床, 2021, 36(12): 2457-2463.
- [63] 杨雪, 方朝晖. 中医治疗糖尿病肾病研究近况 [J]. 中医药临床杂志, 2015, 27(11): 1545-1548.
- [64] Chang X N, Chen X F, Guo Y X, *et al.* Advances in chemical composition, extraction techniques, analytical methods, and biological activity of *Astragali Radix* [J]. *Molecules*, 2022, 27(3): 1058.
- [65] 赵建梅, 刘莹. 红芪多糖对糖尿病大鼠早期视网膜中核转录因子- κ B 影响随机平行对照研究 [J]. 实用中医内科杂志, 2016, 30(4): 77-81.
- [66] 张锐, 顾志荣, 吕鑫, 等. 基于网络药理学探讨红芪的活性成分、作用靶点及潜在治疗价值 [J]. 中国野生植物资源, 2021, 40(6): 13-19.
- [67] 邱均平, 杨瑞仙, 陶雯, 等. 从文献计量学到网络计量学 [J]. 评价与管理, 2008, 6(4): 1-9.

[责任编辑 潘明佳]