

## 基于 Web of Science 文献计量分析的宁夏枸杞研究现状和发展态势

张芳<sup>1</sup>, 吴昌健<sup>1</sup>, 张霞<sup>2</sup>, 郭盛<sup>1</sup>, 朱悦<sup>1</sup>, 余君伟<sup>3</sup>, 段金廛<sup>1\*</sup>

1. 南京中医药大学药学院, 江苏省中药资源产业化过程协同创新中心/中药资源产业化与方剂创新药物国家地方联合工程研究中心, 江苏 南京 210023
2. 宁夏医科大学药学院, 宁夏少数民族医药现代化教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021
3. 宁夏中宁枸杞产业创新研究院, 宁夏 中卫 755100

**摘要:**目的 全面、科学地厘清和反映宁夏枸杞 *Lycium barbarum* 研究领域的发展进程、研究近况和研究趋势, 为学科发展战略和未来研究拓展提供可靠的参考和借鉴。方法 利用 Web of Science 数据库, 检索宁夏枸杞相关文献, 从论文整体产出概况、研究主体、高被引论文、研究主题与研究热点等维度, 利用 VOSviewer 和 Citespace 软件进行文献计量分析, 绘制可视化知识图谱。结果 经过筛选纳入 2153 篇有效文献, 发文量整体呈上升趋势, 目前处于快速发展阶段, 我国在本研究领域处于核心地位; 苏国辉、曹友龙和余建强团队是宁夏枸杞研究领域发文量最多的作者团队。宁夏枸杞已经形成了多元化的研究视角, 在资源和种植、活性物质基础、药理活性研究和枸杞多糖相关领域获得了大量的研究积累。结论 宁夏枸杞研究目前处于快速发展阶段, 研究领域内各机构和团队间的交流合作有待加强。宁夏枸杞的道地性特征尚未得到系统阐明, 药材品质相关物质基础和质量控制研究体系尚不完善, 非果实部位的研究开发较为薄弱, 是目前宁夏枸杞研究的限制性因素。

**关键词:** 宁夏枸杞; 枸杞子; 文献计量学; 可视化分析; 研究趋势

中图分类号: R285 文献标志码: A 文章编号: 0253-2670(2022)16-5128-14

DOI: 10.7501/j.issn.0253-2670.2022.16.022

## Research status and development trend of *Lycium barbarum* based on bibliometric analysis of Web of Science

ZHANG Fang<sup>1</sup>, WU Chang-jian<sup>1</sup>, ZHANG Xia<sup>2</sup>, GUO Sheng<sup>1</sup>, ZHU Yue<sup>1</sup>, YU Jun-wei<sup>3</sup>, DUAN Jin-ao<sup>1</sup>

1. Jiangsu Collaborative Innovation Center of Chinese Medicinal Resources Industrialization / National and Local Collaborative Engineering Center of Chinese Medicinal Resources Industrialization and Formulae Innovative Medicine, School of Pharmacy, Nanjing University of Chinese Medicine, Nanjing 210023, China
2. Key Laboratory of Ethnomedicine Modernization, Ministry of Education, School of Pharmacy, Ningxia Medical University, Yinchuan 750021, China
3. Ningxia Zhongning Goji Industry Innovation Research Institute, Zhongwei 755100, China

**Abstract: Objective** To scientifically and comprehensively clarify and reflect the development process, research status and research trend of research field of *Lycium barbarum*, and to provide reliable reference for the development strategy and the future research. **Methods** The literatures of *L. barbarum* were retrieved from Web of Science database. The overall output profile, research subjects, highly cited papers, research topics and research hotspots of literatures in the research field of *L. barbarum* were analyzed and visualized by VOSviewer and CiteSpace software. **Results** A total of 2153 effective literatures were included after screening. The overall number of literatures showed an upward trend. The research is in the stage of rapid development, and China is in the core position in this research field. Guo-hui Su, You-long Cao and Jian-qiang Yu teams contributed the largest number of papers in the research field. A diversified research perspective on *L. barbarum* has formed, and a large amount of accumulation in the fields of resources and planting, active substance basis, pharmacological activities

收稿日期: 2022-03-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(81773837); 江苏省中药资源产业化过程协同创新中心建设专项

作者简介: 张芳, 博士, 副教授, 研究方向为中药生物技术。Tel: (025)85811516 E-mail: fangzhang@njucm.edu.cn

\*通信作者: 段金廛, 教授, 博士生导师, 研究方向为中药资源化学与资源循环利用。Tel: (025)85811917 E-mail: dja@njucm.edu.cn

and *L. barbarum* polysaccharide has gained. **Conclusion** The research field of *L. barbarum* is in the stage of rapid development but the exchanges and cooperation between institutions and research teams in the field need to be strengthened. The main restrictive factors included: the authentic characteristics of *L. barbarum* have not been systematically clarified; the material basis and quality control system related to the quality of medicinal materials are not yet perfect; research on non-fruit parts is relatively weak.

**Key words:** *Lycium barbarum* L.; *Lycii Fructus*; bibliometrics; visual analysis; research trend

宁夏枸杞 *Lycium barbarum* L. 是茄科枸杞属多年生灌木, 是我国重要的药食两用植物资源。枸杞子 *Lycii Fructus* 是宁夏枸杞的干燥成熟果实, 是我国传统药食同源功能型特色中药材和大宗药材, 也是宁夏枸杞目前研究开发最为充分的部位。枸杞子味甘、性平, 具有益精明目、滋补肝肾、养阴润肺、补虚益精等功效, 早在《神农本草经》中已被列为上品, “久服坚筋骨, 轻身不老”。《本草汇言》载: “枸杞能使气可充, 血可补, 阳可生, 阴可长, 火可降, 风湿可去, 有十全之妙用焉”。

近年来, 宁夏枸杞领域相关研究十分活跃, 研究内容和形式多样, 为我国宁夏枸杞资源的基础研究和合理开发利用提供了坚实的理论基础, 同时产出了体量庞大、种类多样的学术研究文献。这些文献作为科研成果的主要载体和传播媒介, 将宁夏枸杞的传统应用翻译为现代科学技术语言, 实时反映了本领域的研究动态, 为推动我国宁夏枸杞研究领域内学术进步和科技创新发挥了重要作用, 也为其他中药材的现代化和国际化开发提供了宝贵的经验和开阔的思路。随着研究的持续深入, 文献数量不断扩大, 形成了既相对独立又互有联系、不断横向扩展和纵向延伸的复杂网络系统。

为厘清宁夏枸杞研究的发展脉络、研究近况和研究热点的演进趋势, 同时规避传统阅读综述过程中主观因素的局限和影响, 本研究基于科研产出视角, 采用文献计量学方法, 以 Web of Science (WoS) Science Citation Index Expanded (SCI-E) 数据库的 SCI/SSCI 论文为数据样本基础, 从整体产出、研究主体及合作网络、高被引文献、关键词共现及突现词分析等维度对文献特征进行多元、历时性的动态分析和处理, 并采用可视化科学知识图谱进行直观清晰的展示, 以期全面、科学、立体地探测并反映宁夏枸杞知识领域的研究现状、变化规律和动态演进趋势, 为学科发展战略和未来研究拓展提供参考和借鉴。

## 1 数据与方法

### 1.1 数据获取及清洗

本文统计数据来自科睿唯安 (Clarivate Analytics) Web of Science 数据库 (SCI/SSCI) 的 WoS 论文。数据统计口径说明如下: 选择所有数据库 (Web of Science 核心合集、中国科学引文数据库、KCI-Korean Journal Database、MEDLINE、Russian Science Citation Index 及 SciELO Citation Index), 主题式检索, 根据本研究所涉及的关键词制定检索策略, 检索式为: 主题 = (*Lycium barbarum*\* OR *lycii fructus*)。时间跨度为 1950—2020 年, 文献类型包括 article、review、clinical trials、editorial material 及 case report。数据采集时间为 2021 年 4 月 15 日。

采集到的文献数据样本首先经文献管理软件 endnote X9 进行重复文献筛选和剔除。然后根据学科类别、文献题目和摘要判读等方法, 由 2 名作者进行独立不相关的噪音文献手动清洗, 分歧文献则阅读全文后讨论解决, 最终确定纳入计量分析的有效文献基础数据集, 并保存为适宜的文件格式。

### 1.2 研究方法

采用文献计量学方法, 通过不同计量指标 (论文数量、年代分布、高被引论文) 对上述文献数据集所体现的宁夏枸杞研究文献产出特征展开定量分析和识别, 客观评述宁夏枸杞研究领域的发展现状。在此基础上, 结合 VOSviewer 和 Citespace 软件的不同侧重点和优势算法, 进行研究主体 (国家、机构和核心作者) 合作网络分析、关键词共现分析及研究热点趋势分析, 并进行可视化科学知识图谱展示。同时对上述数据结果和分析内容进行深入的定性解读及剖析, 以识别和反映宁夏枸杞研究领域研究主题的基本框架、知识流动、前沿转移和发展演进的动态过程。

## 2 结果统计与分析

### 2.1 整体产出特征分析

通过 WoS 所有数据库检索共得到 2544 篇宁夏

枸杞研究领域潜在文献,排除重复文献 16 篇和噪音文献 457 篇,得到符合纳入标准的 2153 篇有效文献组成的基础数据集。

## 2.2 文献时间分布特征及趋势分析

文献数量沿年度尺度的分布及变化情况可以在一定程度上反映该领域的研究规模、发展水平、发展速度及受关注程度,便于评估该学科领域所处研究阶段并预测其未来发展趋势,是衡量学科领域研究发展的重要指标。从图 1 所示文献产出数量时间分布图可以看出,宁夏枸杞研究领域总体发文数量呈逐步上升的趋势,并大致经历了缓慢增长—波动增长—快速增长 3 个阶段。2010 年之前为缓慢增长阶段,目前关于宁夏枸杞的最早研究报道可追溯至 1986 年发表于我国《中药通报》的论文《枸杞子和枸杞叶化学成分的研究—第 1 报枸杞子和枸杞叶的营养成分》<sup>[1]</sup>,但直到 2000 年共计 15 年的时间内,仅积累了 37 篇论文,每年的文献数量均为个位数;2001 开始,年论文数量达到了 2 位数,但到 2010 年前,每年文献产出量均在百篇以下,且年增长较为缓慢;2011—2016 年为波动增长阶段,相关研究论文数量出现波动式增长,总体数量较为稳定。说明在 1986—2016 年这一段时间内,经过逾 30 年的不断探索、论证和发展,学科研究领域内基本理

论和研究方法已形成较为稳定成熟的研究体系,期间未发生较大技术突破或研究瓶颈,也未发生重要历史事件,为后期的进步及深入研究奠定了坚实基础。

2016—2017 年,我国先后颁布了《“健康中国 2030”规划纲要》、《中医药发展战略规划纲要(2016—2030 年)》、《中国的中医药》白皮书和《中华人民共和国中医药法》等,把中医药发展上升为国家战略,中医药事业进入新的历史发展时期。在科技创新引领中医药现代化高质量发展的历史背景和政策扶持下,各级政府有计划地打造很多装备精良的学科研究平台,加大了相关研究资助。如宁夏回族自治区政府于 2017 年启动了《枸杞功效的重大基础研究及功能产品研发》项目,整合多方力量协作创新,使科技创新结果在较短时间内迅速涌现,极大地促进了宁夏枸杞领域研究论文的快速增长。由图 1 可见,从 2017 年开始,宁夏枸杞研究的关注度迅速上升,进入快速增长阶段,年度发文量均在 200 篇以上并以超过 10% 的速度持续增长,短短 4 年内文献产出量约占近 20 年总产出量的 42.64%,说明本领域的研究进入繁荣时期。由此推测,随着更加协同、高效、开放的中医药科技创新体系的持续建设和推进,在未来若干年内,宁夏枸杞研究及产出量将继续目前的快速发展态势,并逐渐趋于深入和完善。

## 2.3 宁夏枸杞研究主体和合作网络分析

### 2.3.1 研究国家和地区分布及合作特性

共有 71 个国家及地区对宁夏枸杞研究领域的科技论文产出做出贡献,其中我国在该领域的研究产出占据绝对的优势地位。由图 2-A 可见,在全部 2153 篇论文中,由我国研究机构贡献的发文量为 1790 篇,占全部发文量的 83.13%,相对其他国家及地区的总发文量具有明显优势,说明我国在这一领域的研究处于核心地位,自主创新丰富,具有明显的主导性。排在发文量第二位的国家是美国,仅发文 80 篇,其余国家及地区发文均在 50 篇以下,58 个国家在宁夏枸杞研究领域的发文量为个位数,这说明该领域在我国之外的区域还没有引起足够的关注。

在图 2-B 所示国家及地区合作网络图中,节点的相对大小代表该国开展国际合作的文献产出总量,连接线的粗细表示连接端国家及地区合作的相对强度。可以看出,在本领域研究较为活跃的国家及地区开展合作研究也更紧密,表现为在本领域发

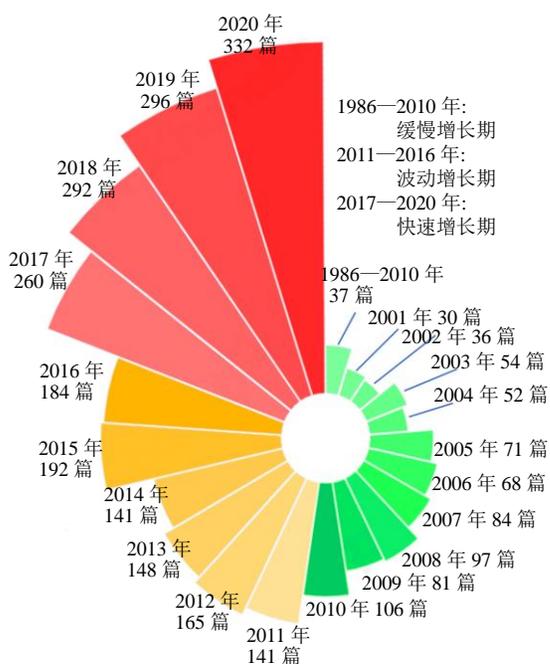
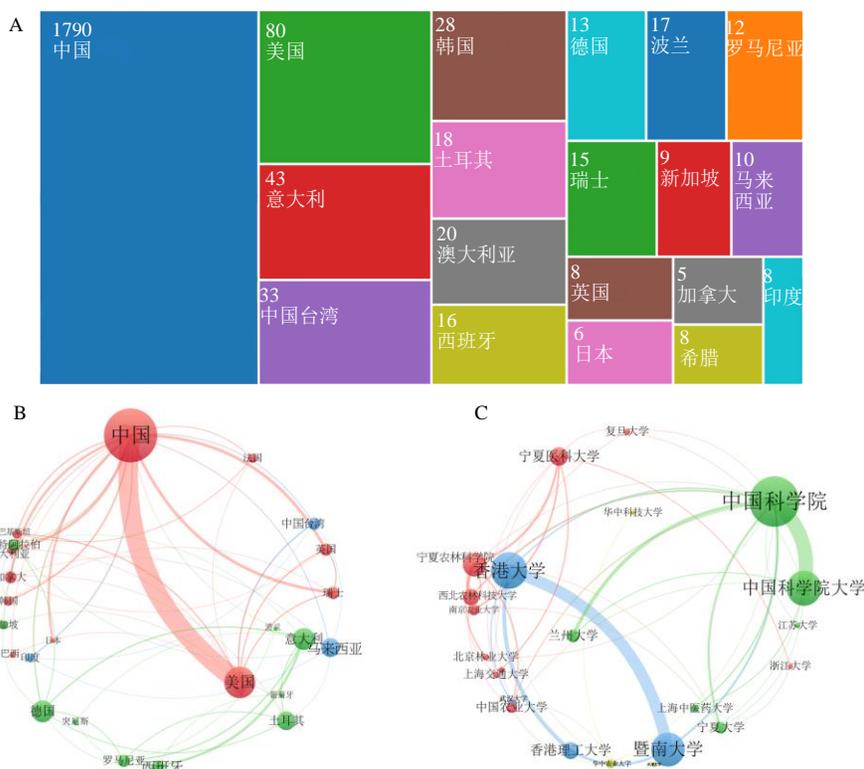


图 1 宁夏枸杞研究领域文献产出数量-时间分布图

Fig. 1 Quantity-time distribution of literature output in research field of *L. barbarum*



A-主要研究国家和地区 B-国家及地区合作网络 C-研究机构合作网络

A-top countries and regions in research field of *L. barbarum* B-coutry and region collaboration network C-institution collaboration network

图2 宁夏枸杞领域 WoS 论文的主要研究国家、地区和研究机构及合作网络分析  
Fig. 2 Cooperation network analysis of WoS papers in research field of *L. barbarum*

数量最大的3个国家—中国、美国和意大利形成了较为重要的合作网络。我国在宁夏枸杞合作研究方面处于明显的核心地位，与美国、法国及若干亚洲国家之间开展了较为广泛的合作。此外，意大利与其他欧洲国家之间也形成了相对较为重要的国际合作网络。但总体而言，国家间的合作仍较为薄弱。如我国与合作最密切的美国之间也仅有47篇合作论文，其他国家间的合作研究产出均为个位数。这说明在国家（区域）开放合作新格局已逐步形成的国际大环境下，宁夏枸杞研究领域已具备一定的国际合作基础，但合作强度较低，还未成为本领域科学研究的主要模式。随着“一带一路”倡议的持续推进，宁夏枸杞研究的国际化合作面临前所未有的机遇。通过多国家及地区的互联互通，构建全方位、多层次的国际学术网络，互通有无，创新合作模式，拓展研究思路，是推进宁夏枸杞研究的重要途径。

**2.3.2 研究机构分布及合作特性** 宁夏枸杞核心合集有效文献涉及到全球1215家研究机构。这些机构以科研院所为主，也有少数商业机构如李锦记集团无限极公司、雀巢公司和FreeLife公司对本领域学术

文献产出做出了贡献。累计发文量10篇以上的共有45家机构，其中发文较多的单位有中国科学院（105篇）、香港大学（65篇）、宁夏医科大学（58篇）、暨南大学（48篇）、中国科学院大学（44篇）、西北农林科技大学（40篇）、宁夏农林科学院（28篇）、宁夏大学（23篇）等。需要特别指出的是，宁夏回族自治区的多家科研机构在本领域的研究中表现突出，通过多年的持续研究，形成了较为稳定的研究团队和研究特色。在其他研究机构中，1114家机构发文量在5篇以下，说明本领域大多数机构的研究缺乏连续性。

从图2-C所示研究机构间的合作网络图可以看出，各参与机构间形成了3个主要的学术合作圈，在宁夏枸杞研究领域内取得了较为丰富的成果：分别是绿色代表的中国科学院核心合作圈、蓝色代表的香港大学暨南大学核心合作圈和红色代表的宁夏农林科学院宁夏医科大学核心合作圈。其中中国科学院和中国科学院大学合作完成科技论文36篇，香港大学和暨南大学合作完成27篇。可以看出，本领域的3个学术合作圈均集中在各自地理区位相近的

区域内，跨区域合作较为薄弱，尚未形成广泛的合作关系和学术共同体。因此，为形成宁夏枸杞研究领域内后续科技战略，促进资源和信息的交流、共享和联动，仍需要在本领域优势力量的框架内动员更多持续性的互动工作。

**2.3.3 核心作者及合作网络分析** 从学术论文的产出来看，共有 8992 名作者参与到宁夏枸杞的研究中。为更准确地梳理这一学科领域的文献作者贡献度和影响力，根据科技情报研究普赖斯定律，按照公式  $M_p=0.749\sqrt{N_{pmax}}$  计算并确定宁夏枸杞研究领域的核心作者。其中  $M_p$  为核心作者最低发文量（篇）， $N_{pmax}$  为发文量最高的作者发文量（篇）<sup>[2]</sup>。本领域内发文量最高的研究者为中国科学院院士苏国辉（So Kwok Fai），发文量 57 篇，根据上式计算  $M_p\approx 5.65$ ，因此确定发表 6 篇及以上论文的作者共计 121 人构成宁夏枸杞研究领域的核心作者群，占全部作者的 1.34%。在图 3 所示的核心作者合作网络图中，节点大小和连接线粗细分别体现各研究者的文献产出量和合作密切程度，彩虹色谱的不同颜色体现各作者的主要合作时限。总体看来，在多年的研究过程中，宁夏枸杞领域形成了较多的研究团队，研究规模较为显著的国内团队有香港大学苏国辉院士和暨南大学高昊团队、宁夏农林科学院曹友龙团队、宁夏医科大学余建强团队、宁夏大学郑国琪团队、中国科学院华南植物园王瑛团队、澳门大

学李绍平团队、西北大学王仲孚团队、黑龙江八一农垦大学赵蕊团队、中国医学科学院中国协和医科大学彭勇团队、徐常青团队、华中农业大学张声华团队、内蒙古科技大学丁昌江团队、北京林业大学张柏林团队、南京农业大学胡元亮团队、曾小雄团队、天津科技大学张民团队、武汉大学罗琼团队及本研究团队等。此外，意大利佩鲁贾大学 Montesano Domenico 团队、罗马尼亚 Iuliu Hatieganu 医药大学 Mocan Andrei 团队和 FreeLife 公司的 Amagase Harunobu 是本领域的国外核心研究团队。主要的研究团队内部各自形成了较为稳定的合作子网络，子网络内各核心作者之间有着较强的学术联系，并在长期合作过程中形成了较为稳定的研究方向和特色，共同促进了宁夏枸杞领域的科学研究和技术升级。如苏国辉院士团队长期关注枸杞子多糖、糖肽提取物及色素成分在肝脏损伤和神经退行性疾病中的临床应用<sup>[3-4]</sup>，余建强团队围绕枸杞子的传统功效，进行了较为系统的研究<sup>[5]</sup>，高昊团队、王仲孚团队对枸杞子中活性物质发现及精细结构解析进行了深入的创新性探索<sup>[6-7]</sup>，王瑛团队、曹友龙团队在宁夏枸杞种质资源保护、新优系选育及绿色生态种植关键技术等领域做出了长期的突出贡献<sup>[8-9]</sup>，李绍平团队采用“糖谱”技术，为宁夏枸杞资源鉴定、品质评价和质量控制等提供了开拓性思路和方法<sup>[10]</sup>。其中，苏国辉、曹友龙以及余建

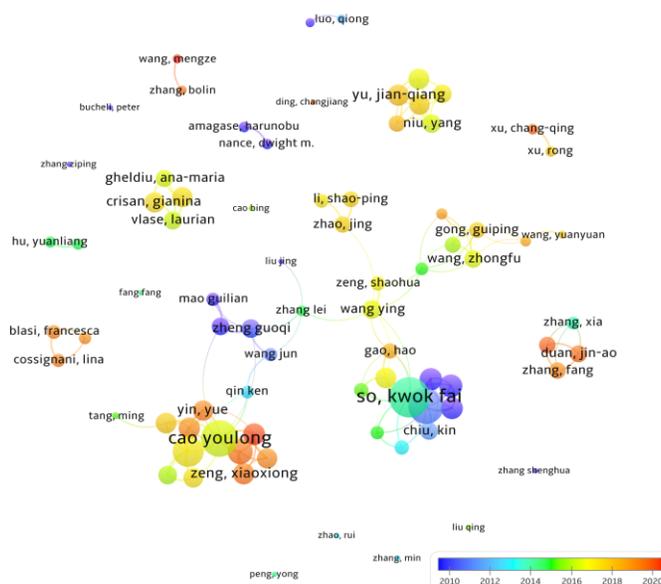


图 3 宁夏枸杞核心作者共现图

Fig. 3 Co-occurrence map of core authors in research field of *L. barbarum*

强团队中核心作者数量较多并贡献了较大文献产出量，与其他团队的联系相对较为紧密，提示这3个团队是宁夏枸杞研究领域影响力和贡献度较大的团队。但整体来看，各研究团队和作者较为独立和分散，在合作关系上呈现较为松散的少数点线状联系，反映出不同团队间的交流较为缺乏，整个领域的平均合作强度较低，没有表现出紧密的深层次合作关系。考虑到科学发展的复杂性、知识增长的动态性和研究领域的跨学科特性，单个研究者或研究团队很难具备全面的研究资源和知识背景。因此，在不断拓宽自身学科知识的基础上，应加强和扩大不同学科领域作者间尤其是核心作者间的交流合作，汇聚植物学、生态学、中药资源学、中药化学、药理学、经济学等众多学科的研究优势力量，形成资源合力进行创新协作，分享知识的同时促进研究的深入和多元发展，以促进宁夏枸杞领域复杂科学问题研究和多元化发展。

#### 2.4 高被引文献分析

科技文献产出量是一个专业领域研究发展热度的缩影，而文献的引用率是学术论文影响力的关键衡量指标。高被引论文被视为该研究领域具有奠基作用的重要论文，可用于分析该领域的理论基础和

方法论，在一定程度上反映研究主体的高学术影响力和重要科研成果的产出能力。表1列出了宁夏枸杞研究领域被引率最高的10篇文献，其中7篇来自中国研究者（含1位中国台湾研究者），2篇出自美国研究者，1篇出自瑞士研究者。结合前述研究主体分析，说明我国在本领域具有较高的国际影响力。高被引作者中苏国辉院士、武汉大学罗琼及FreeLife公司Amagase Harunobu同时也是本领域的核心作者。其余作者与核心作者鲜有重叠，存在一定程度的失配现象。

进一步阅读和分析高被引论文发现，这些论文从不同层面和维度对宁夏枸杞研究领域的重要科学问题进行探讨。其中3篇为研究论文，其余7篇为综述类论文，说明随着相关研究的不断深入，领域内研究人员希望对前期已发表的重要方法、技术、结论进行归纳整理和分析提炼，因此，综述类论文在宁夏枸杞研究领域内获得较大关注，也具有较高的情报学价值。枸杞子成分复杂，活性物质间相互作用不明确，因此活性物质基础是这些高被引论文的主要主题，尤其多糖类物质是受到长期关注的枸杞子活性物质。其中6篇高被引论文围绕枸杞多糖或以多糖为主的提取物，从分离纯化、化学结构、

表1 宁夏枸杞研究领域被引次数最高的10篇文献

Table 1 Top 10 high-cited papers in research field of *L. barbarum*

序号	第一作者	通信作者	题目	期刊及发表年份	被引频次
1	杨立群	杨立群(中山大学)	Chemical structural and chain conformational characterization of some bioactive polysaccharides isolated from natural sources	<i>Carbohydrate Polymers</i> , 2009	422
2	宗爱珍	王凤山(山东大学)	Anticancer polysaccharides from natural resources: A review of recent research	<i>Carbohydrate Polymers</i> , 2012	394
3	Potterat Olivier	Potterat, Olivier (瑞士巴塞尔大学)	Goji ( <i>Lycium barbarum</i> and <i>L. chinense</i> ): phytochemistry, pharmacology and safety in the perspective of traditional uses and recent popularity	<i>Planta Medica</i> , 2010	375
4	Seeram Navindra P.	Seeram, Navindra P. (美国罗德岛大学)	Berry fruits: compositional elements, biochemical activities, and the impact of their intake on human health, performance, and disease	<i>J Agric Food Chem</i> , 2008	358
5	罗琼	Corke Harold (香港大学)	Hypoglycemic and hypolipidemic effects and antioxidant activity of fruit extracts from <i>Lycium barbarum</i>	<i>Life Science</i> , 2004	340
6	Wong, Chi Chun	Chen Feng (香港大学)	A systematic survey of antioxidant activity of 30 Chinese medicinal plants using the ferric reducing antioxidant power assay	<i>Food Chemistry</i> , 2005	328
7	Amagase Harunobu	Amagase Harunobu (美国 FreeLife 公司)	A review of botanical characteristics, phytochemistry, clinical relevance in efficacy and safety of <i>Lycium barbarum</i> fruit (Goji)	<i>Food Research International</i> , 2011	309
8	余越	谢建华(南昌大学)	Biological activities and pharmaceutical applications of polysaccharide from natural resources: A review	<i>Carbohydrate Polymers</i> , 2018	269
9	Wang, C. C.	陈炳辉(台湾辅仁大学)	Isolation of carotenoids, flavonoids and polysaccharides from <i>Lycium barbarum</i> L. and evaluation of antioxidant activity	<i>Food Chemistry</i> , 2010	250
10	肖佳	苏国辉, George L. Tipoe (香港大学)	<i>Lycium barbarum</i> polysaccharides therapeutically improve hepatic functions in non-alcoholic steatohepatitis rats and cellular steatosis model	<i>Scientific Reports</i> , 2014	197



宁夏枸杞领域研究的关键词具有显著的聚类特征,形成4个互有重合、交叉并行的聚类模块,说明本领域的研究已经形成了互相渗透的多元化研究视角。其中,红色聚类模块共计241个关键词,主要关注宁夏枸杞的种质资源、种植、保护、产地加工等农林领域的研究。在此模块中,主要栽培产区描述性关键词“中国西北地区(northwest China)”“宁夏(ningxia)”“甘肃(gansu)”“青海(qinghai)”“新疆(xinjiang)”和“内蒙古(inner mongolia)”均得到明显展示,与产区环境相关的主要因素“土壤(soil)”“土壤水分(soil water)”“含盐土壤(saline soil)”“灌溉(irrigation)”等关键词集中出现,说明研究者比较关注宁夏枸杞生态环境的研究。此外,“根(root)”“茎(stem)”“叶(leaf)”和“花(flower)”等关键词体现出宁夏枸杞非果实部位的研究价值。

蓝色聚类模块共计196个关键词,主要涵盖了宁夏枸杞中小分子活性物质的发现和鉴别,主要的活性小分子物质如“甜菜碱(betaine)”“类胡萝卜素(carotenoid)”“黄酮(flavonoid)”“脂肪酸(fatty acid)”“酚酸(phenolic acid)”等在这一模块中均有较高的展示几率,“抗氧化antioxidant”是与这些分子相关度最高的活性评价方式。同时,这一模块也体现出重要的技术创新如“柱色谱(column)”“高效液相色谱法(high performance liquid chromatography)”“质谱(mass spectrometry)”在这些活性物质“提取纯化(extraction)”和“结构鉴定(identification)”中的重要应用价值。

绿色聚类模块共计238个关键词,主要展示了枸杞子及其主要活性成分的药理活性研究,从枸杞子传统功效相关的“肾(kinney)”“眼(eye)”“降血糖作用(hypoglycemic effect)”“免疫细胞(lymphocyte)”,描述主要作用的“预防(prevention)”“促进(promotion)”“降低(reduction)”“升高(enhancement)”,到“分子机制(potential mechanism)”探讨有关的“受体(receptor)”“基因表达(gene expression)”“BCL”和“BAX”“p-akt”“p53”“nf-kappa B”等均是本模块的高频关键词。其中,“氧化应激(oxidative stress)”及其相关的“SOD”“MDA”“CAT”“GSH”“ROS”“nitric oxide”在图谱中集中出现,说明以氧化应激是宁夏枸杞及其活性物质效应评价过程

中最常采用的研究方法。

黄色聚类模块共计51个关键词,主要聚焦“枸杞多糖(LBP)”或“糖蛋白复合物(glycoconjugate)”相关研究工作。在“提取纯化(purification)”过程中,与枸杞子的传统用药形式相呼应,LBP的提取多以“热水提取(hot water extraction)”为主,为获得较为均一的“多糖组分(polysaccharide fraction、fraction)”,以“葡聚糖凝胶(sephadex G)”为代表的现代色谱分离技术在枸杞多糖纯化中得到了广泛应用,此外,有别于小分子活性物质,枸杞多糖分子量大、结构复杂且缺乏有力的研究手段,因此这一模块中多数关键词围绕多糖的“化学结构(chemical structure)”和“结构解析(characterization)”展开。如枸杞多糖的“单糖组成(monosaccharide)”及主要结构性单糖“阿拉伯糖(ara、arabinose)”“半乳糖(gal、galactose)”“葡萄糖(glucose)”“核糖(rhamnose)”“半乳糖醛酸(galacturonic acid)”出现频率较高。作为结构解析重要化学手段的“甲基化(methylation)”及以“核磁共振(NMR)”、“红外光谱(FT-IR)”为代表的现代光谱、色谱技术在枸杞多糖的物质结构信息获取和解析方面发挥了重要作用。

当特别关注枸杞子中的活性物质基础研究时,可以发现,相对于黄酮、生物碱、色素、多酚、精胺和亚精胺类小分子活性物质,枸杞多糖的研究十分活跃,大量研究围绕枸杞多糖的提取纯化、结构解析和生物活性展开,并且各自主题间有密切的交叉和关联(图5),说明随着研究的不断深入,具有复杂结构的生物活性大分子的发现、分离和精细结构解析成为枸杞子重要的研究内容。枸杞多糖是枸杞子中最受关注和认可的活性物质,是宁夏枸杞领域内持续的研究热点<sup>[12]</sup>。

**2.5.2 关键词突现分析及演进趋势** 突变词是指在某一时期内使用频次显著增加、具有突现强度的关键词,可以描述某一研究领域的前沿问题。在关键词共现基础上进行的关键词突现分析,可以直观地表征该领域研究的重点、热点和前沿的转移与演进态势。图6为根据宁夏枸杞研究领域关键词的词频变化绘制的突变词图谱,图中分别以数字形式和红色色带形式展示了该突现词爆发的年代分布情况,即开始时间(begin)和结束时间(end),同时以突变强度(strength)代表该突现词在突现时间段内出现的频次。

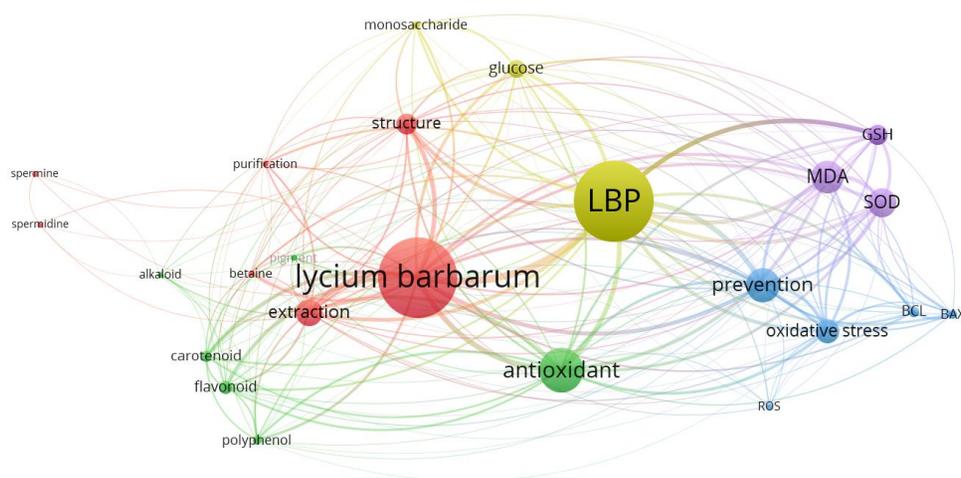


图 5 宁夏枸杞活性物质基础研究关键词共现网络

Fig. 5 Co-occurrence map of key words of active compound in research field of *L. barbarum*

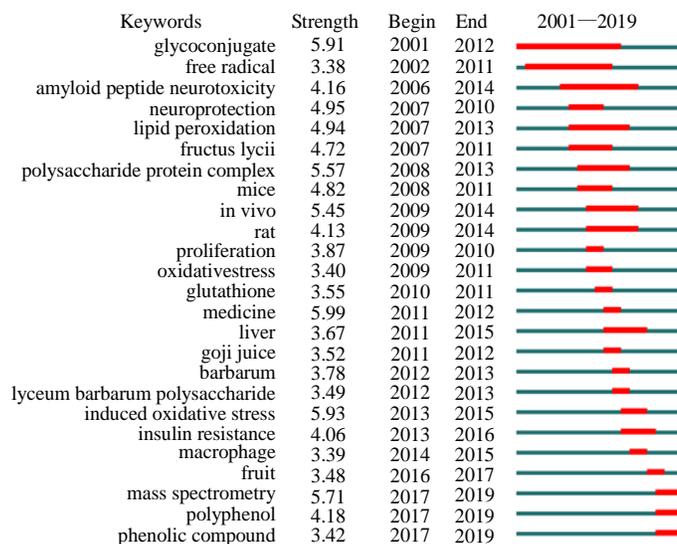


图 6 宁夏枸杞研究关键词突现图

Fig. 6 Strongest citation bursts of key words in research field of *L. barbarum*

突变词图谱清晰地呈现了时间维度上宁夏枸杞研究的热点演进情况，图中共出现具有爆发性影响力的突现词 21 个。除“fructus lycii”和“barbarum”2 个主题词外，其余的 19 个突现词体现出从活性物质基础、药效评价、作用机制，到技术手段、产品开发等多层面、多视角的创新研究，说明宁夏枸杞研究领域在近 40 年的发展过程中，不论研究深度还是广度，都得到了较大发展。与前述关键词共现分析结果相一致，具有复杂结构的高相对分子质量“枸杞多糖 (*Lycium barbarum polysaccharide*)”或“糖蛋白复合物 (glycoconjugate、polysaccharide protein

complex)”突变强度高、持续时间长，是宁夏枸杞研究领域受到长期关注的研究热点。

从宁夏枸杞研究领域图突现词的时间分布特征可以发现，2010 年及之前的缓慢增长阶段，虽然文献产出数量较少，但贡献了 13 个突现词，除“糖蛋白复合物 (glycoconjugate、polysaccharide protein complex)”外，其余突现词绝大多数与药理活性研究相关，如与枸杞子传统功效密切相关的“肝脏 (liver)”，与研究水平和对象有关的“体内实验 (*in vivo*)”“小鼠 (mice)”“大鼠 (rat)”等，与神经保护功能相关的“β-淀粉样蛋白神经毒性 (*amyloid*

peptide neurotoxicity) ”和“神经保护(neuroprotection)”。值得一提的是,“氧化应激(oxidative stress、induced oxidative stress)”及相关指标如“自由基(free erradical)”“脂质过氧化(lipid peroxidation)”“谷胱甘肽(glutathione)”在突现词图中成簇出现且具有较长的时间跨度,说明枸杞子及其活性物质药理活性评价和作用机制研究较多、较长时间地集中在“氧化应激”为基础的相关研究中。

2011年进入波动增长期后,除“枸杞多糖(*lycium barbarum polysaccharide*)”仍旧是活性物质基础研究的重要内容外,该时期药理学领域新的作用机制研究热点如“增殖(proliferation)”“吞噬(macrophage)”、降血糖作用相关的“胰岛素抵抗(insulin resistance)”在宁夏枸杞研究中得到及时体现,同时出现了“medicine(药物)”“枸杞汁(juice)”2个主题词,体现出研究者对于枸杞子产业化发展和高值产品开发的研究热情。本阶段的突现词既反映出与前一研究阶段的连续性与传承性,也充分体现了研究侧重点的日益多样化。

占据时间数据轴最右侧位置的,是从2017年进入快速发展阶段后的爆发性突现词。在这一阶段,虽然文献数量快速增长,但仅出现了3个爆发词,说明在长期持续的发展过程中,宁夏枸杞研究基础理论储备逐渐丰富,研究内容和方向得到了较为充实的积累和铺垫,研究视域得到大幅扩展,因此进入快速发展期后研究内容趋向广泛和多元,并表现为关键词的高度分散和跳跃。仅有的3个突现词分别是小分子化合物“多酚(polyphenol)”“酚类化合物(phenolic compound)”和物质结构鉴定关键技术手段“质谱(mass spectrometry)”,说明研究方法和技术的更新推动了活性物质基础的深度挖掘,促使活性物质研究再次成为宁夏枸杞领域研究的热点,实现了“突出问题导向”的从前期药理活性到小分子活性物质的逻辑转换。

整体来看,突现词图谱反映了3个连续发展阶段中宁夏枸杞研究从物质基础到药理活性、从基础研究到应用性探索,并返回深化和细化的物质基础研究的逻辑演化进程。在主题不断转换变迁的进程中,既体现出研究范围的不断拓展和学科技术的更新,也保持了承前启后的持续性研究,表现为阶段性的有序的层层递进关系。其中“枸杞多糖(*Lycium barbarum polysaccharide*)”和“糖蛋白复合物

(glycoconjugate、polysaccharide protein complex”、“自由基(free erradical)”“肝脏(liver)”“体内实验(in vivo)”“ $\beta$ -淀粉样蛋白神经毒性(amyloid peptide neurotoxicity)研究的周期较长,且年代分布有较长时间的重叠,说明对枸杞子效应发挥的“活性物质基础”及基于枸杞子传统功效的“药理活性”研究是研究者投入长期关注的重点领域,二者的发展历程和趋势保持了较高的同步性,也是前述核心作者团队的主要投入领域。

### 3 宁夏枸杞研究的主要限制性因素

枸杞子药性甘、平,作用广泛而温和,可作为补益扶正类中药发挥治疗效果,也符合“治未病”的健康新模式,与当下崇尚自然和绿色的消费理念不谋而合。在我国有着悠久的历史,具有极高的认同感和接受度。对本研究纳入的科技文献产出结果进行综合分析后不难发现,目前宁夏枸杞的研究仍有许多理论和应用的瓶颈问题需要解决,主要的研究限制性因素包括以下3点。

#### 3.1 宁夏枸杞的道地性特征尚未得到系统阐明

“诸药所生,皆有境界”、“离其本土,则质同而效异”。道地药材是传统公认来源于特定产区的优质中药材,道地性是优质药材质量形成的核心因素<sup>[13]</sup>。道地药材的形成是遗传变异、生态环境和人文因素交互作用的复杂自适应系统,契合我国“天人合一”的传统哲学思想,兼具科学内涵和文化底蕴。宁夏回族自治区是宁夏枸杞的原产地和道地产区,具有源远流长的栽培历史,所产枸杞子“甘美异于他处”,明代时已列为本经上品,“全国入药杞子,皆宁产也”。

宁夏枸杞具有较强的抗旱、耐寒、耐盐碱特性,对环境适应能力强。随着我国西部大开发和农业产业结构调整的不断深入,宁夏枸杞优质品种的引种栽培十分活跃,核心产区由原来的宁夏中部中卫市中宁县、银川平原扩大到宁夏南部固原清水河流域,并逐渐拓展至内蒙古、甘肃、陕西、青海、新疆等省区,在不同生态产地均表现出良好的生长态势,成为解决枸杞子稀缺性的重要途径,也是大宗药材大规模跨地引种栽培的典范。目前已有中宁枸杞、宁夏枸杞、柴达木枸杞和精河枸杞4个枸杞子地理标志产品,但各产区间地域相距遥远,地势多样,气候区划跨越我国西北中温带、暖温带及华北温带黄土高原区,生态环境差异较为悬殊,形成了各自不同的生态系统。随着栽培面积不断扩大,在长期

演化、地理隔离及遗传漂变等多种因素共同作用下, 基原相同的宁夏枸杞在不同的生态环境中发生了明显的变异和分化, 表现出植株和果实形态、产量、内源性活性成分种类及含量积累等多方面的差异或波动。各地所产枸杞子品质不一, 在一定程度上影响了宁夏枸杞优良品质的稳定性, 也限制了宁夏枸杞这一宝贵的药食两用资源的价值体现和产业化发展<sup>[14-15]</sup>。

近年来, 研究者逐渐关注到生态因子作用下不同栽培产区枸杞子品质差异性, 尤其是多种次生代谢产物的形成和积累与外部环境因素的密切关系, 并从分析化学、生态学、遗传学和表观遗传学等多角度出发, 对枸杞子品质差异性的内在成因和外在机制进行了探讨, 体现为前文关键词共现分析的红色聚类模块中与生态因子特征相关的多个关键词。但枸杞子质量形成的遗传成因和内在规律研究尚不完善, 枸杞子的品质因子和各产区生态因子特征大数据的系统集成和关联分析结果还不足以系统阐明和科学评价枸杞子的道地性。同时, 目前枸杞子道地性的评价体系尚未建立, 缺乏枸杞子“道地性”原始特征、质量属性和生态特征的统一标准, 各地所产枸杞子均使用《中国药典》进行检查, 无法实现枸杞子药材的产地真实溯源。在药材流通和临床使用中,

枸杞子“优形、优质、优效”的“道地性”市场价值无法得到应有的体现, 也限制了宁夏枸杞道地药材质量监督和规范应用的进程。

### 3.2 枸杞子药材品质相关物质基础和质量控制研究仍有较大待完善空间

中药药效物质基础是揭示中药有效性作用本质的关键, 是进行中药品质研究和质量控制的前提条件和根本保证, 也是关系到中医药产业发展的国家重大战略问题。然而, 中药具有“多成分、多靶点、多途径”互相协同并发挥整体药效的作用特点, 药效物质基础复杂多样, 作用机制复杂晦涩, 同时囿于相关研究技术的限制, 目前中药整体特征表征不明确, 品质评价和质量控制指标不统一, 成为中药产业发展的一大障碍。从本文纳入的第一篇科研文献, 到宁夏枸杞研究进入快速发展期蓬勃而出的大量科研成果, 物质基础研究始终是本领域的关注热点和前沿, 研究质量有了长足的进步, 主要体现在关键词共现分析和突现词分析中多个活性大分子和小分子物质的集中展示。

但是, 目前枸杞子物质基础研究还未能满足日益提高的质量控制要求。表2总结了《中国药典》中枸杞子药材质量标准的发展过程。《中国药典》自1963年版开始收载枸杞子药材, 1977年版首次规定了枸杞子的基原为宁夏枸杞, 随后的版本中在性状

表2 《中国药典》枸杞子质量标准发展过程

Table 2 Development of quality standard of *L. barbarum* in Chinese Pharmacopoeia

年份	枸杞子质量标准内容
1953年	未收载
1963年	来源、鉴别、炮炙
1977年	性状(形状大小、组织结构、味道)粒大、色红、质柔韧、籽少、味甜者为佳
1985年	性状、检查(果梗、萼≤1%)
1990年	性状、检查(杂质≤1%)
1995年	性状、检查(杂质≤1%)
2000年	性状、鉴别(薄层色谱法)、检查(杂质≤0.5%、水分≤13%、总灰分≤5%)
2005年	性状、鉴别(显微鉴别、薄层色谱法)、检查(水分≤13%、总灰分≤5%)、浸出物≥55%、含量测定(枸杞子多糖: 比色法≥1.8%; 甜菜碱: 薄层色谱扫描法≥0.30%)
2010年	性状、鉴别(显微鉴别、薄层色谱法)、检查(水分≤13%、总灰分≤5%、重金属及有害元素)、浸出物≥55%、含量测定(枸杞子多糖: 比色法≥1.8%; 甜菜碱: 薄层色谱扫描法≥0.30%)
2015年	性状、鉴别(显微鉴别、薄层色谱法)、检查(水分≤13%、总灰分≤5%、重金属及有害元素)、浸出物≥55%、含量测定(枸杞子多糖: 比色法≥1.8%; 甜菜碱: 薄层色谱扫描法≥0.30%)
2020年	性状、鉴别(显微鉴别、薄层色谱法)、检查(水分≤13%、总灰分≤5%、重金属及有害元素)、浸出物≥55%、含量测定(枸杞子多糖: 比色法≥1.8%; 甜菜碱: HPLC≥0.50%)

检查的基础上,逐步增加了杂质检查、显微鉴定和薄层色谱法鉴定。2005年版首次明确了枸杞子中指标成分枸杞子多糖和甜菜碱的含量下限,最新的2020年版将甜菜碱的检测方法由薄层色谱扫描法修改为HPLC。枸杞子药材主要控制项目从性状、颜色等外部指标的经验性鉴别,到基于现代药物分析技术的显微鉴定和理化鉴定,再到现代色谱和光谱技术支持下的内在指标性成分控制。这种主要检测指标的逐步转移和数据化,充分体现了枸杞子药材质量标准与时俱进的理论发展和技术进步。但与中药“整体观”和“系统论”的基本理念和思维方法相比,对枸杞子中个别成分的检测和含量控制无法体现枸杞子药材本身的整体性特性,也缺少映射枸杞子生长环境“道地性”的检测指标,仍然落后于新时代中药发展对于质量控制标准的需求。2016年,刘昌孝院士提出中药质量标志物(quality marker, Q-Marker)的新概念、新理论,从质量传递与溯源、成分特有性、有效性、可测性以及复方配伍环境出发,着眼于中药形成全过程的质量属性及物质基础的变化规律,旨在阐明能够代表中药质量的物质基础,建立中药全产业链质量控制及质量溯源体系<sup>[15]</sup>。在此背景下,已有研究者对枸杞子中标识性的Q-Marker进行了有益研究探索,如韩星等<sup>[16]</sup>对枸杞子水提取物入血成分进行HPLC分析,结合网络药理学筛选,确定了儿茶素、绿原酸、阿魏酸、芦丁和水杨酸共5个原形入血成分作为枸杞子的质量控制成分;Lv等<sup>[17]</sup>通过超高效液相色谱-四极杆飞行时间质谱联用技术(UHPLC-Q-TOF-MS)对47份产自宁夏中宁的枸杞子和37份非中宁枸杞子进行非靶向代谢组学研究,从中筛选出7个主要的差异性代谢物,其中槲皮素、琥珀酸及1个吡咯烷生物碱苷类新化合物可作为枸杞子的生物标记物,用于道地产区和非道地产区枸杞子鉴别。Jarouche等<sup>[18]</sup>通过Herbal Chemical Marker Ranking System(Herb MaRS)选择了枸杞子的主要指标性成分(芦丁、水仙苷、菝葜醇芸香糖苷、对香豆酸、东莨菪素、咖啡酸、绿原酸),采用高效液相色谱-电喷雾离子阱质谱联用技术(LC-ESI-MS/MS)对商品枸杞子(8份基原为宁夏枸杞,4份基原为中华枸杞)进行分析,发现商品枸杞子中以上各成分含量均有较大差异,通过这些成分的含量检测无法确定商品枸杞子的基原。可以看出,目前关于枸杞子Q-Marker的研究尚在起步阶段,只有零星的探索性

挖掘,各研究结果之间的重叠较少,难以互相验证。同时,作为枸杞子中最受认可和关注的活性物质,枸杞多糖由于其极度复杂的检测方法和体内过程,现阶段还无法作为枸杞子Q-Marker用于质量控制和溯源,在一定程度上影响了枸杞子Q-Marker研究的完整性和科学性<sup>[19]</sup>。因此,基于Q-Marker的可传递和溯源原则,目前能够描述枸杞子质量和有效性的核心指标还未明确,枸杞子品质评价和质量标准的统一还需要更多更系统的长期研究。

### 3.3 除枸杞子外其他部位的研究开发十分缺乏

“枸杞之滋益不独子”。宁夏枸杞在本草多有记载,且历代医家多认为枸杞各部位均具有类似的药用价值。宁夏枸杞全草可入药,“春采枸杞叶,名天精草;夏采花,名长生草;秋采子,名枸杞子;冬采根,名地骨皮。……花、实、根、茎、叶作煎……其功并等”(明·李时珍《本草纲目》),“概根苗花实而言,补未分别,……主治稍不同矣”(清·张志聪《本草崇原》)。尽管宁夏枸杞叶、花、根均有药用记载,其中地骨皮还作为药材收录入《中国药典》,但与枸杞子日益蓬勃的研究相比,宁夏枸杞非果实部位的基础研究和应用开发还处于起步阶段,科技文献产出量较低,而且研究较为分散,缺乏系统性。在本研究纳入的逾2000篇文献中,关于枸杞叶的研究共计85篇,地骨皮和枸杞花研究分别为28篇和9篇,说明宁夏枸杞非果实部位的研究尚未受到应有的重视。进一步分析这些文献可以发现,借助现代分离纯化和分析技术,对枸杞叶、花、根部的活性成分进行分离或/并鉴定其结构组成,是目前宁夏枸杞非果实部位的主要研究内容和方向,其中多糖和甜菜碱、黄酮类、酚酸类次生代谢产物是物质基础研究的高频关键词,这些活性成分在类型上与枸杞子基本一致,在含量上甚至高于枸杞子。外界环境尤其是胁迫性环境对叶的表型、活性物质表达研究也受到较多关注。在药理活性研究中,抗氧化、免疫调节、抗衰老研究较多,与枸杞子研究有明显重叠,通过现代科学手段验证了本草中对于宁夏枸杞“花、实、根、茎、叶作煎……其功并等”的描述。

相较于枸杞子,枸杞叶和花的资源丰富易得、成本低廉,可以开发为功能性食品、功能性材料、食品添加剂等,具有很大的发展潜力。但在实际生产中,除极少量枸杞叶和花做茶用或菜用外,大多直接丢弃,造成严重的资源浪费。地骨皮是枸杞的

干燥根皮，有凉血除蒸，清肺降火之效，在传统中医药中有着重要地位。因此，在后续研究中加强对宁夏枸杞叶、花、根的系统性和规划性研究，对于恢复其药用地位，挖掘其资源性开发利用价值，提升宁夏枸杞资源利用效率和全产业链开发具有重要意义。

#### 4 结论

本研究采用文献计量学方法，通过对过去 35 年间宁夏枸杞研究文献的计量、可视化呈现和解读，展示了该领域的研究现状、研究进展、研究热点主题及其发展演化过程。宁夏枸杞研究经历了前期的缓慢上升期和波动性发展期，目前处于快速上升的繁荣阶段。我国在本研究领域处于核心地位，但学科交叉和领域内各研究主体间的交流合作有待加强。宁夏枸杞已经形成了多元化的研究视角，在资源和种植、活性物质基础、药理活性研究相关领域获得了大量的研究积累，并通过研究主题的连续性转换和拓展，实现了“突出问题导向”的基础研究-应用型探索-物质基础研究的不断深化。此外，对文献的进一步分析显示，宁夏枸杞的道地性特征尚未得到系统阐明，枸杞子药材品质相关物质基础和质量控制研究体系尚不完善，非果实部位的研究开发较为薄弱，是目前宁夏枸杞研究的限制性因素。

宁夏枸杞是我国最具药食两用价值的天然植物资源之一。枸杞子滋补肝肾，扶正培本，自古享有盛名。同时，枸杞子传统底蕴深厚，承载了浓郁的历史文化内涵，“天生之，地养之，人成之。……不可一无也”，是开展我国中药材“道地性”栽培环境特性、采收特性和产地加工特性研究的有力着眼点。在近四十年发展过程中，科技创新在不断推动宁夏枸杞科学文献积累的同时，也为枸杞子传统药用价值的科学诠释和广泛应用提供了越来越坚实的数据支持。近年来，以大数据和组学技术及多组学贯穿为基础的系统生物学理论和技术逐渐成熟，并在宁夏枸杞研究领域逐步得到应用。如 Bondia-Pons 等<sup>[20]</sup>采用非靶向代谢组学技术分析枸杞叶提取物中小分子代谢物种类和表达水平差异，用于区分宁夏枸杞的不同地理环境来源；本课题组通过血清代谢组学发现宁夏枸杞叶提取物可以通过胰岛素受体转导通路及花生四烯酸代谢通路改善 II 型糖尿病大鼠血糖异常，并缓解肠道菌群失调<sup>[21]</sup>。最近，宁夏枸杞高质量基因组序列公布，揭示了宁夏枸杞生长发育过程开花调控、果实发育与多糖合成的分子机

制，为宁夏枸杞的物种起源、进化和遗传多样性形成提供了更加全面的科学视角<sup>[22]</sup>。组学技术基于高通量的全面分析，多维数据的利用突破了传统单一指标或少数指标的评价方式，进行超越交流壁垒的多学科融合研究，为研究多因子作用下宁夏枸杞体内复杂的基因、蛋白质表达和代谢过程，解析细胞活性过程提供了研究工具，有可能是宁夏枸杞研究领域的下一个研究热点。

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

#### 参考文献

- [1] 齐宗韶, 李淑芳, 吴继平, 等. 枸杞子和枸杞叶化学成分的研究: 第 1 报 枸杞子和枸杞叶的营养成分 [J]. 中药通报, 1986, 11(3): 41-43.
- [2] Price D J S. *Communication Among Scientists and Engineers* [M]. Lexington: Lexington Books, 1970: 2.
- [3] Xiao J, Zhu Y H, Liu Y X, et al. *Lycium barbarum* polysaccharide attenuates alcoholic cellular injury through TXNIP-NLRP3 inflammasome pathway [J]. *Int J Biol Macromol*, 2014, 69: 73-78.
- [4] Xing X W, Liu F Y, Xiao J, et al. Neuro-protective mechanisms of *Lycium barbarum* [J]. *Neuromolecular Med*, 2016, 18(3): 253-263.
- [5] Shi G J, Li Z M, Zheng J, et al. Diabetes associated with male reproductive system damages: Onset of presentation, pathophysiological mechanisms and drug intervention [J]. *Biomed Pharmacother*, 2017, 90: 562-574.
- [6] Zhou Z Q, Fan H X, He R R, et al. Lycibarbarspermidines A-O, new dicaffeoylspermidine derivatives from wolfberry, with activities against Alzheimer's disease and oxidation [J]. *J Agric Food Chem*, 2016, 64(11): 2223-2237.
- [7] Gong G P, Dang T T, Deng Y N, et al. Physicochemical properties and biological activities of polysaccharides from *Lycium barbarum* prepared by fractional precipitation [J]. *Int J Biol Macromol*, 2018, 109: 611-618.
- [8] 李重, 杨天顺, 张盛, 等. 宁夏枸杞‘中科绿川 1 号’果实和叶片的主要成分分析 [J]. 植物科学学报, 2016, 34(5): 807-813.
- [9] Kan X H, Yan Y M, Ran L W, et al. Ultrasonic-assisted extraction and high-speed counter-current chromatography purification of zeaxanthin dipalmitate from the fruits of *Lycium barbarum* L [J]. *Food Chem*, 2020, 310: 125854.
- [10] Wu D T, Li W Z, Chen J, et al. An evaluation system for characterization of polysaccharides from the fruiting body

- of *Hericium erinaceus* and identification of its commercial product [J]. *Carbohydr Polym*, 2015, 124: 201-207.
- [11] Yang L Q, Zhang L M. Chemical structural and chain conformational characterization of some bioactive polysaccharides isolated from natural sources [J]. *Carbohydr Polym*, 2009, 76(3): 349-361.
- [12] Zhang F, Zhang X, Guo S, *et al.* An acidic heteropolysaccharide from *Lycii Fructus*: Purification, characterization, neurotrophic and neuroprotective activities *in vitro* [J]. *Carbohydr Polym*, 2020, 249: 116894.
- [13] Lu Y Y, Guo S, Zhang F, *et al.* Nutritional components characterization of Goji berries from different regions in China [J]. *J Pharm Biomed Anal*, 2021, 195: 113859.
- [14] 卢有媛, 郭盛, 严辉, 等. 生态因子与化学成分相关联的药用和食用枸杞子适宜生产区划研究 [J]. *药学学报*, 2020, 55(10): 2466-2477.
- [15] 刘昌孝, 陈士林, 肖小河, 等. 中药质量标志物(Q-Marker): 中药产品质量控制的新概念 [J]. *中草药*, 2016, 47(9): 1443-1457.
- [16] 韩星. 基于多成分药物代谢的菊花、秦艽、枸杞子质量控制成分筛选研究 [D]. 北京: 北京中医药大学, 2020.
- [17] Lv W, Zhao N, Zhao Q, *et al.* Discovery and validation of biomarkers for Zhongning goji berries using liquid chromatography mass spectrometry [J]. *J Chromatogr B Analyt Technol Biomed Life Sci*, 2020, 1142: 122037.
- [18] Jarouche M, Suresh H, Hennell J, *et al.* The quality assessment of commercial *Lycium* berries using LC-ESI-MS/MS and chemometrics [J]. *Plants (Basel)*, 2019, 8(12): 604.
- [19] 张芳, 郭盛, 钱大玮, 等. 枸杞多糖的提取纯化与分子结构研究进展及产业化开发现状与前景分析 [J]. *中草药*, 2017, 48(3): 424-432.
- [20] Bondia-Pons I, Savolainen O, Törrönen R, *et al.* Metabolic profiling of Goji berry extracts for discrimination of geographical origin by non-targeted liquid chromatography coupled to quadrupole time-of-flight mass spectrometry [J]. *Food Res Int*, 2014, 63: 132-138.
- [21] Zhao X Q, Guo S, Lu Y Y, *et al.* *Lycium barbarum* L. leaves ameliorate type 2 diabetes in rats by modulating metabolic profiles and gut microbiota composition [J]. *Biomed Pharmacother*, 2020, 121: 109559.
- [22] Cao Y L, Li Y Y, Fan Y F. *et al.* Wolfberry genomes and the evolution of *Lycium* (Solanaceae) [J]. *Commun Biol*, 2021, 4: 1-13.

[责任编辑 时圣明]