

# 基于文献计量的竹叶花椒(*Zanthoxylum armatum*)研究进展与趋势分析

郑刘梦<sup>1</sup>, 郑先喆<sup>1</sup>, 郑慧芳<sup>1,2</sup>, 段延玲<sup>1</sup>, 禹小波<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>乐山师范学院生命科学学院, 西南特色经济植物杂交与育种研究中心, 四川 乐山

<sup>2</sup>乐山师范学院生命科学学院, 竹类病虫害防控与资源开发四川省重点实验室, 四川 乐山

收稿日期: 2024年10月21日; 录用日期: 2024年11月11日; 发布日期: 2024年11月22日

## 摘要

竹叶花椒(*Zanthoxylum armatum*)作为一种具有高经济价值的药用植物, 因其独特的药理活性和生态重要性而受到广泛关注。本文基于Web of Science数据库中的文献计量分析, 回顾了自1983年至2024年竹叶花椒的研究进展与趋势。通过对相关文献的检索和筛选, 最终确定了293篇高质量的学术论文作为分析对象。研究结果显示, 竹叶花椒的研究经历了一个从初期的零星探索到近十年来的迅速增长过程, 特别是在2016年之后, 研究活动显著增加, 每年的文献发表数量明显上升。研究主题广泛涵盖资源调查管理、化学成分与药理活性分析, 以及在医学和化工领域的应用等多个方面。中国、印度和巴基斯坦是竹叶花椒研究的主要贡献国, 尤其是中国, 在该领域的研究尤为突出, 四川农业大学等机构在论文数量和研究质量上均表现优异。通过对关键词的共现网络分析, 我们识别出竹叶花椒研究的七个主要聚类, 包括化学成分、药用价值、遗传多样性保护、基因组学、绿色合成技术、生产性能优化等。这些发现不仅揭示了竹叶花椒研究的现状, 也为未来的研究方向提供了参考。此外, 竹叶花椒的基因组学研究取得了重要进展, 多个基因家族的功能分析揭示了其在生长发育中的作用。本文的研究为竹叶花椒的未来研究方向提供了参考, 并揭示了其作为药用植物的巨大潜力。

## 关键词

竹叶花椒, 文献计量, Web of Science, VOSviewer, Biblioshiny

## Analysis of Research Progress and Trends of *Zanthoxylum armatum* Based on Bibliometric Methods

Liumeng Zheng<sup>1</sup>, Xianzhe Zheng<sup>1</sup>, Huifang Zheng<sup>1,2</sup>, Yanling Duan<sup>1</sup>, Xiaobo Yu<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Southwest Research Center for Cross Breeding of Special Economic Plants, School of Life Science, Leshan Normal University, Leshan Sichuan

文章引用: 郑刘梦, 郑先喆, 郑慧芳, 段延玲, 禹小波. 基于文献计量的竹叶花椒(*Zanthoxylum armatum*)研究进展与趋势分析[J]. 植物学研究, 2024, 13(6): 609-622. DOI: 10.12677/br.2024.136064

<sup>2</sup>Bamboo Diseases and Pest Control and Resources Development Key Laboratory of Sichuan Province, School of Life Science, Leshan Normal University, Leshan Sichuan

Received: Oct. 21<sup>st</sup>, 2024; accepted: Nov. 11<sup>th</sup>, 2024; published: Nov. 22<sup>nd</sup>, 2024

## Abstract

*Zanthoxylum armatum*, commonly known as prickly ash, is a medicinal plant of high economic value that has garnered widespread attention due to its unique pharmacological activity and ecological significance. This paper conducts a bibliometric analysis based on the Web of Science database, reviewing the research progress and trends of *Zanthoxylum armatum* from 1983 to 2024. Through literature retrieval and selection, we identified 293 high-quality academic papers for analysis. The results indicate that research on *Zanthoxylum armatum* has evolved from sporadic early explorations to rapid growth in the past decade, especially since 2016, when research activities significantly increased and the annual publication volume rose dramatically. The research topics encompass resource survey and management, chemical composition and pharmacological activity analysis, as well as applications in medicine and chemical engineering. China, India, and Pakistan are the primary contributing countries in this field, with China standing out, particularly with institutions like Sichuan Agricultural University excelling in both publication quantity and research quality. Through co-occurrence network analysis of keywords, we identified seven major clusters in *Zanthoxylum armatum* research, including chemical composition, medicinal value, genetic diversity conservation, genomics, green synthesis technology, and production performance optimization. These findings not only reveal the current state of *Zanthoxylum armatum* research but also provide insights for future research directions. Furthermore, significant progress has been made in its genomic studies, with functional analyses of multiple gene families elucidating their roles in growth and development. This study offers references for future research directions on *Zanthoxylum armatum* and highlights its immense potential as a medicinal plant.

## Keywords

*Zanthoxylum armatum*, Bibliometric Analysis, Web of Science, VOSviewer, Biblioshiny

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

花椒属(*Zanthoxylum*)是芸香科的一种药用植物,在全球各地分布有 225 种[1]。其中竹叶花椒(*Zanthoxylum armatum* DC.)是一种高价值物种,由于破坏性采伐和繁殖限制而面临威胁[2]。竹叶花椒主要分布在东亚地区,尤其是中国的西南部、印度、尼泊尔和巴基斯坦等地,通常生长在山地和温暖的气候环境中[3]。竹叶花椒具有多种药理活性,包括显著的抗炎和镇痛作用,其酰胺成分能够提供麻木感并展现临床应用潜力[4]。此外,来自该植物果实的刺激性药物通过调节 AMPK/PI3K/Akt 信号通路和减少氧化应激,显示出改善 2 型糖尿病的潜力[5],而叶子的甲醇提取物也表现出显著的抗糖尿病活性[6]。竹叶花椒还展现出强大的抗氧化特性[6] [7]以及对多种病原体的抗菌和抗真菌活性[7]。其药理活性主要归因于植物中的生物碱、木脂素、萜类和类黄酮等化学成分[8]。在传统医学中,竹叶花椒被用于治疗牙痛、哮喘和消化问题,而其丰富的生物活性代谢物使其成为现代新药开发中的有前途候选药物[9] [10]。本研

旨在通过文献计量学的方法，系统回顾并分析 1983 年至 2024 年间关于竹叶花椒的研究进展，以期为竹叶花椒的保护、利用和未来发展提供科学依据，并推动该领域的研究向前发展。

## 2. 材料与方法

### 2.1. 文献检索与过滤

我们于 2024 年 9 月 30 日在 Web of Science 核心合集 SCI-Expanded 索引中检索主题词“*Zanthoxylum armatum*”，共得到 315 篇相关文献。筛选文献类型为“article”语言为 English，得到 294 篇文献。剔除一篇已撤稿论文，最终得到 293 篇文献。为避免因数据更新导致的文献检索数量及引用变化，在当天将数据导出为纯文本格式，之后人工对数据完整性进行检验。

### 2.2. 数据分析及可视化

从 Web of Science 检索结果分析中获取发表年份，以及排名前 10 的研究方向、作者、国家、机构、资助机构信息。在 Excel 中对年发表文章数量、发文量排名前 10 的国家和机构通过条形图进行可视化。在 VOSviewer 中选择发表论文数量不低于 5 篇的作者构建作者合作网络图。对作者关键词和 Keyword-plus 进行消歧，选择关键词出现频次不低于 5 次的关键词构建共现网络图，并获取出现频次前 20 的关键词列表。通过 R 程序 bibliometrix 包统计作者文献计量指标，并绘制作者生产效率图。通过 biblioshiny 可视化界面绘制国家、机构、作者桑基图。

## 3. 结果与分析

### 3.1. 发文量分析

本研究共获取到 1983~2024 年发表的 293 篇文献，年增长率 9.13%，平均文献年龄 5.22 年。图 1 显示相关研究经历了从稀少到逐渐繁荣的发展过程。根据文献发表数量和趋势，我们将竹叶花椒的研究分为三个阶段。早期阶段(1983~2000 年)：在这一阶段，文献发表数量非常少，自 1983 年至 1999 年间，除了 1993 年(2 篇)和 1999 年(3 篇)，其余年份几乎没有发表。增长阶段(2001~2015 年)：2000 年后，文献数量逐渐上升，尤其是在 2010 年至 2015 年间，发表数量明显增加。2015 年达到 10 篇。快速发展阶段(2016~2024 年)：2016 年后，发表数量大幅提升，尤其在 2017 年至 2022 年间，年均发表超过 18 篇。2023 年达到历史最高的 45 篇，显示出该领域的研究热情持续高涨。

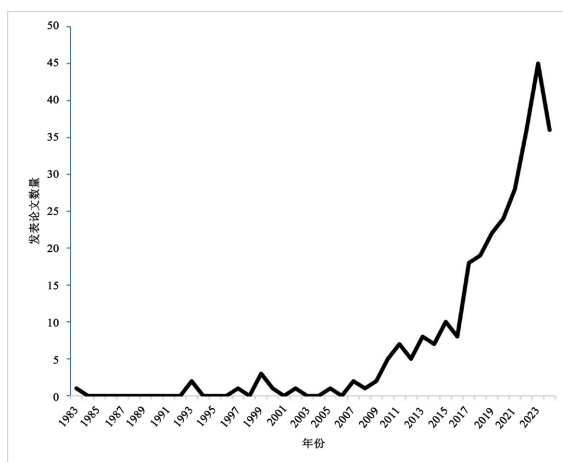


Figure 1. Trends in the number of published papers  
图 1. 年发表文献数量趋势

### 3.2. 作者分析

共有作者 1332 名, 篇均作者 6.59 名。为探究竹叶花椒的主要研究人员, 我们统计了发表文献数量最多的前 10 名作者(表 1), 并通过 bibliometrix 包计算了他们的 H 指数、G 指数、M 指数和总被引量。其中 6 名作者来自四川农业大学, 2 名来自重庆文理学院, 西北农林科技大学和兰州理工大学各有 1 名, 显示出四川农业大学在该领域的研究地位。四川农业大学林学院龚伟、王景燕分别以 21 篇、17 篇排名第一、第二, 西北农林科技大学林学院魏安智以 13 篇排名第三。

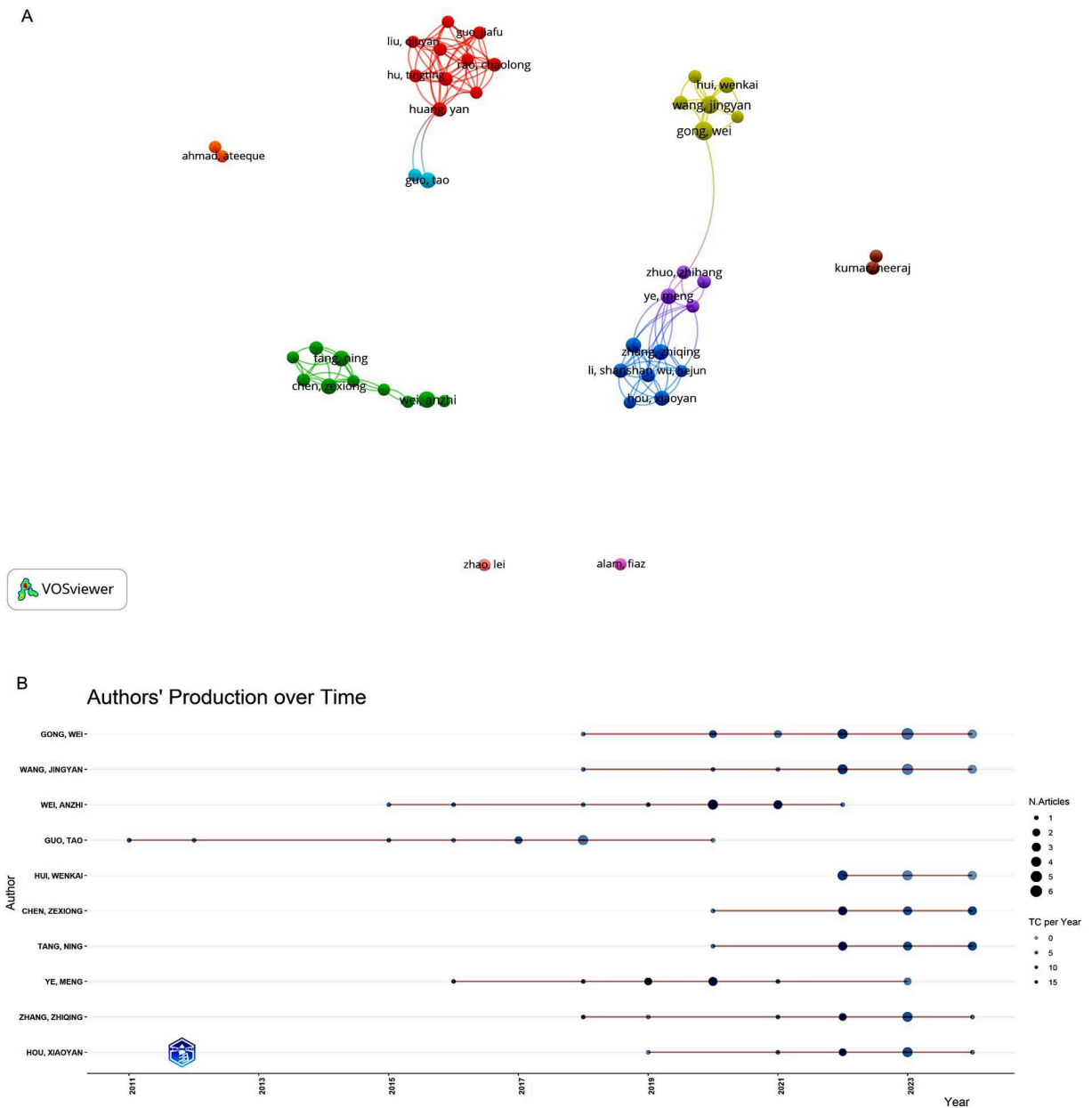
**Table 1.** Top 10 authors' institutions and statistical indicators

**表 1.** Top 10 作者所属机构及统计指标

| 姓名  | 机构          | H 指数 | G 指数 | M 指数 | 总被引 | 论文 | 起始年份 |
|-----|-------------|------|------|------|-----|----|------|
| 魏安智 | 西北农林科技大学林学院 | 8    | 12   | 0.80 | 217 | 12 | 2015 |
| 叶萌  | 四川农业大学林学院   | 6    | 10   | 0.67 | 302 | 10 | 2016 |
| 郭涛  | 兰州理工大学      | 6    | 12   | 0.43 | 172 | 12 | 2011 |
| 陈泽雄 | 重庆文理学院      | 5    | 9    | 0.83 | 82  | 12 | 2019 |
| 龚伟  | 四川农业大学林学院   | 5    | 8    | 0.71 | 77  | 21 | 2018 |
| 王景燕 | 四川农业大学林学院   | 5    | 8    | 0.71 | 69  | 17 | 2018 |
| 惠文凯 | 四川农业大学林学院   | 5    | 6    | 1.00 | 41  | 13 | 2020 |
| 张志清 | 四川农业大学食品学院  | 4    | 10   | 0.57 | 113 | 10 | 2018 |
| 唐宁  | 重庆文理学院      | 4    | 7    | 0.80 | 53  | 10 | 2020 |
| 侯晓艳 | 四川农业大学食品学院  | 4    | 8    | 0.67 | 64  | 9  | 2019 |

我们对发表文章数量  $\geq 5$  篇的作者进行 VOSviewer 中作者合作分析, 共有 45 名作者符合标准, 形成 10 个聚类(图 2(A))。从图中可以看出, 竹叶花椒领域形成了 4 个较大的研究团队。红色聚类为成都中医药大学饶朝龙领导的研究团队, 主要关注竹叶花椒提取物对细胞和动物模型的生物效应, 尤其是在细胞周期调控[11]、肝损伤[12][13]、神经毒性[14]、代谢调控[15]等方面的影响。值得注意的是该团队成果均为 2024 年发表, 表明其是竹叶花椒研究领域的最新参与者。黄色聚类代表由四川农业大学龚伟、王景燕、惠文凯等人组成的研究团队。该团队进行了全基因组范围内的转录组组装和基因家族分析, 包括 MBF1 [16]、RR [17]、MADS-box [18]等基因家族, 并探索了这些基因在不同组织和环境压力下的表达模式。通过转录组和植物生长物质分析, 在共表达网络中鉴定了 21 个关键候选物, 为揭示竹叶花椒的花性分化及其调控因子提供了基础[19]。此外在植物抗逆与农业水肥管理中开展了大量研究[20]-[23]。绿色聚类为陈泽雄、唐宁等人形成的研究团队, 他们成功完成了竹叶花椒的染色体级别基因组组装, 提供了竹叶花椒基因组学研究的重要参考基础[24]。蓝色聚类为四川农业大学食品学院张志清和侯晓艳等人组成的团队, 其主要关注竹叶花椒的品质评估[25][26]、食品保鲜[27]等方面。

图 2(B)显示了前 10 作者的产出效率, 横轴为年份, 圆圈大小代表文献数量, 颜色深浅代表每年被引用的次数。郭涛是其中最早开展竹叶花椒相关研究的, 发现乙酸乙酯提取物显示出显著的镇痛和抗炎活性, 其抗炎效果可能与提取物中鉴定的木脂素成分有关[28]。魏安智以 SRAP 标记对花椒种质资源的遗传多样性和亲缘关系研究[29], 开启对竹叶花椒遗传结构与系统发育领域的相关研究[30]-[33]。大部分研究者是在 2018 年及以后加入竹叶花椒研究领域的, 这也与图 1 中的文献发表量增长趋势相一致。反映出竹叶花椒越来越受到研究人员的关注。



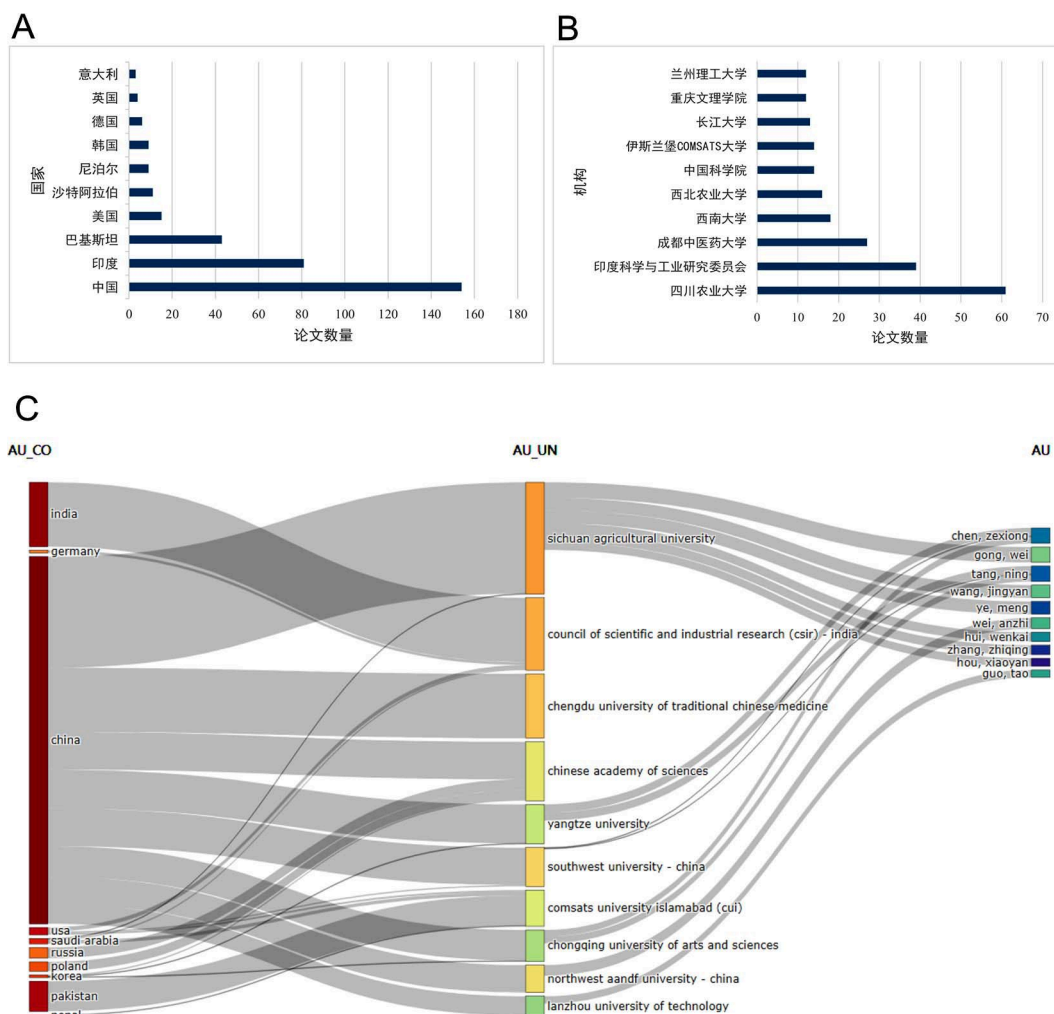
**Figure 2.** Author analysis. (A): Author collaboration network, the colors represent different clusters, and the node size represents the number of articles. (B): Author productivity, the node size represents the number of articles published in the year, and the color depth represents the number of citations in the year

**图 2.** 作者分析。(A): 作者合作网络, 颜色表示不同聚类, 节点大小表示文章数量。(B): 作者生产效率, 节点大小表示当年发表文献数量, 颜色深浅代表年被引次数

### 3.3. 国家与机构分析

共有来自 40 个国家的 428 家机构参与到竹叶花椒的相关研究之中。发表文献数量排名前三的国家分别是中国(154 篇)、印度(81)和巴基斯坦(43) (图 3(A)), 这与竹叶花椒的地理分布相一致[3]。发表相关论文数量排名前 10 的机构中, 除排名第二的印度科学与工业研究委员会(39 篇)以及排名第七的巴基斯坦伊斯兰堡 COMSATS 大学(14 篇)外, 其余八所机构都属于中国(图 3(B)), 反映出中国在竹叶花椒研究领域的优势地位。值得注意的是国内的八所机构几乎都分布于中国西南部的竹叶花椒分布区, 再一次反映

出物种资源可及性对科学研究的影响。在国内研究机构中，四川农业大学以 61 篇的论文数量领先，其次是成都中医药大学(27 篇)和西南大学(18 篇)。图 3(C)是通过 biblioshiny 绘制的由 Top 10 国家、机构和作者绘制的桑基图，展示了三者之间的相互关系。矩形节点的高度与合作网络中某个国家、机构或作者出现的频率成正比，节点之间连线的宽度与连接数成正比。从图中可以看出中国是最大的节点，其次是印度和巴基斯坦。



**Figure 3.** Analysis of countries and institutions. (A): Top 10 countries by number of publications. (B): Top 10 institutions by number of publications. (C): Sankey diagram of top 10 countries, institutions, and authors  
**图 3.** 国家与机构分析。(A): 发文量 Top 10 国家。(B): 发文量 Top 10 机构。(C): Top 10 国家、机构、作者桑基图

### 3.4. 引文分析

论文被引次数反映了其学术影响力，我们统计了被引频次最高的 10 篇论文(表 2)。其中中国作者发表的论文数量虽然只有 2 篇，但其总被引分列 2、3，年均被引频次排名前二，显示出其具有较高的学术影响力。但与前述中国拥有最大的文献发表数量相比，凸显出国内高影响力研究缺乏，相关研究水平还需进一步提高。从研究内容来看，这 10 篇论文可以分为 3 类。第一类是植物资源调查管理类，例如 Bhatia H [34]、Amjad MS [35]、Kunwar RM [36]分别在印度、巴基斯坦和尼泊尔进行的药用植物资源调查研究，

Xu DP 使用 MaxEnt 模型预测了中国花椒的分布[37]。这类基础研究为厘清竹叶花椒的地理分布提供了可靠依据，并为后续的种质资源保存管理提供了基础。第二类是竹叶花椒的化学成分与药理活性研究，例如 Feng XY 对花椒中的挥发性有机物鉴定[38]，Bhatt V 对花椒中黄酮类化合物、木脂素、香豆素和酰胺进行了定量和鉴定[39]，Kalia NK 和 Kumar V 对花椒中的酰胺和木脂素研究[40][41]。第三类则是竹叶花椒提取物在医学及化工领域的应用研究，例如 Ranawat L 研究了花椒树皮乙醇提取物对 CCl<sub>4</sub> 诱发的大鼠肝损伤的保肝作用[42]，以及 Ramesh AV 使用花椒叶水提取物可有效吸附有机污染物亚甲蓝[43]。

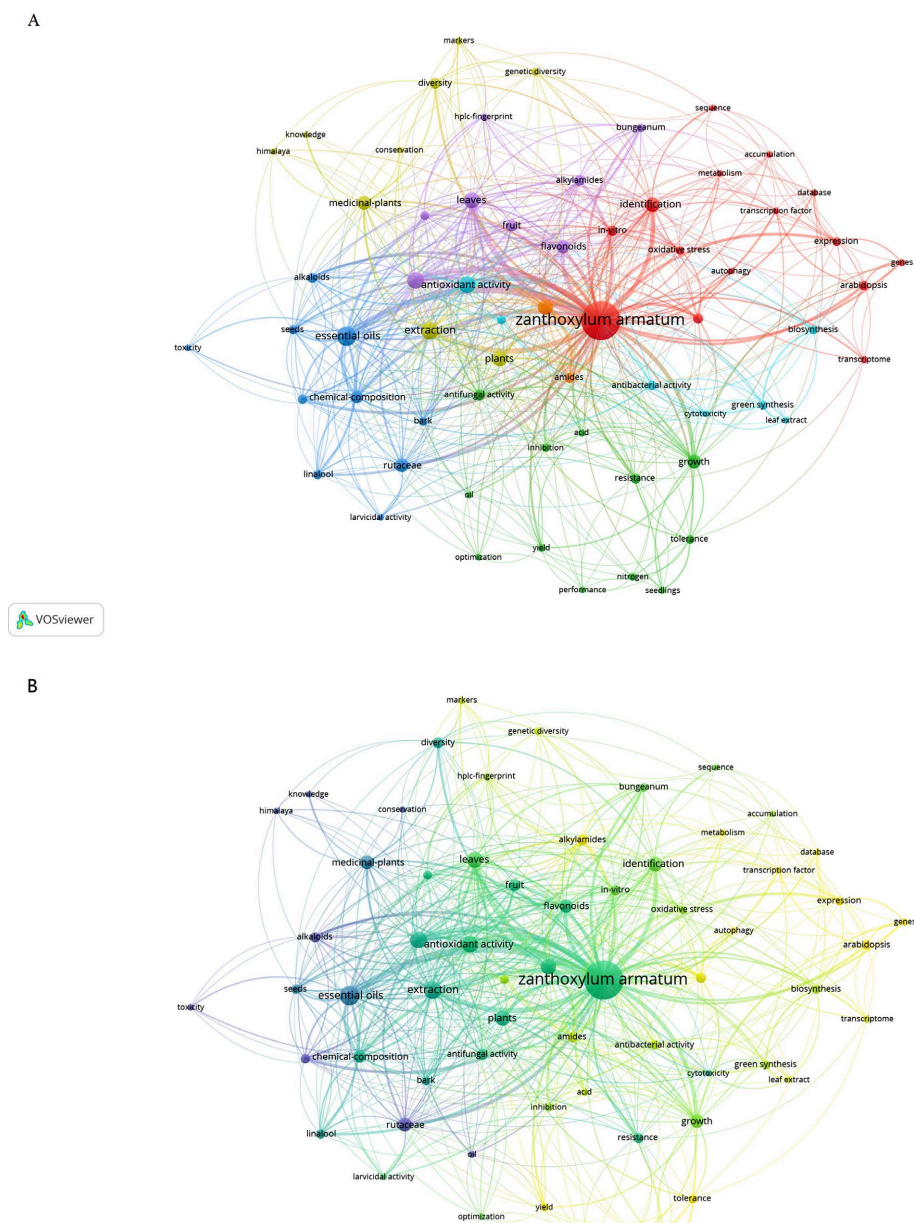
**Table 2.** Top 10 papers with the highest total citation frequency  
**表 2.** 总被引频次 Top 10 论文

| 标题                                                                                                                                                                                            | 第一作者      | 年份   | 期刊                   | 总被引 | 年均被引  |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|------|----------------------|-----|-------|
| Ethnomedicinal plants used by the villagers of district Udhampur, J&K, India [34]                                                                                                             | Bhatia H  | 2014 | J Ethnopharmacol     | 124 | 11.27 |
| Modeling the distribution of <i>Zanthoxylum armatum</i> in China with MaxEnt modeling [37]                                                                                                    | Xu DP     | 2019 | Glob Ecol Conserv    | 115 | 19.17 |
| Discrimination and characterization of the volatile organic compounds in eight kinds of huajiao with geographical indication of China using electronic nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS [38] | Feng XY   | 2022 | Food Chem            | 109 | 36.33 |
| Hepatoprotective activity of ethanolic extracts of bark of <i>Zanthoxylum armatum</i> DC in CCl <sub>4</sub> induced hepatic damage in rats [42]                                              | Ranawat L | 2010 | J Ethnopharmacol     | 105 | 7.00  |
| Facile green synthesis of Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub> nanoparticles using aqueous leaf extract of <i>Zanthoxylum armatum</i> DC. for efficient adsorption of methylene blue [43]           | Ramesh AV | 2018 | J Asian Ceram Soc    | 84  | 12.00 |
| Descriptive study of plant resources in the context of the ethnomedicinal relevance of indigenous flora: A case study from Toli Peer National Park, Azad Jammu and Kashmir, Pakistan [35]     | Amjad MS  | 2017 | PLoS One             | 75  | 9.38  |
| Simultaneous quantification and identification of flavonoids, lignans, coumarin and amides in leaves of <i>Zanthoxylum armatum</i> using UPLC-DAD-ESI-QTOF-MS/MS [39]                         | Bhatt V   | 2017 | J Pharmaceut Biomed  | 69  | 8.63  |
| Medicinal plants, traditional medicine, markets and management in far-west Nepal [36]                                                                                                         | Kunwar RM | 2013 | J Ethnobiol Ethnomed | 66  | 5.50  |
| A New Amide from <i>Zanthoxylum armatum</i> [40]                                                                                                                                              | Kalia NK  | 1999 | J Nat Prod           | 62  | 2.38  |
| Quantitative and structural analysis of amides and lignans in <i>Zanthoxylum armatum</i> by UPLC-DAD-ESI-QTOF-MS/MS [41]                                                                      | Kumar V   | 2014 | J Pharmaceut Biomed  | 60  | 5.45  |

### 3.5. 主题分析

本研究将作者关键词与 WoS 标注的 Keyword-plus 构成的关键词集合进行分析，在对同义词进行合

并后, 通过 VOSviewer 对出现频次  $\geq 5$  的关键词构建共现网络, 共有 63 个关键词符合条件并形成 7 个聚类, 如图 4(A)所示。随后叠加平均发表年份, 以显示关键词热度随时间的变化, 如图 4(B)所示。此外, 还获取了出现频次排名前 20 的关键词频次及其总连接强度(表 3)。总连接强度表示该关键词与其他关键词之间的连接强度, 总连接强度越高表明该关键词在相关文献中与其他关键词的联系越紧密, 通常表明该领域的研究热点或主题的重要性。



**Figure 4.** Keyword co-occurrence analysis. (A): Keyword co-occurrence cluster analysis, node colors represent different clusters. (B): Keywords superimposed on average publication year, node size represents keyword frequency, node connection width represents keyword connection strength, and colors from purple to yellow represent years from far to near

**图 4.** 关键词共现分析。(A): 关键词共现聚类分析, 节点颜色代表不同聚类。(B): 关键词叠加平均发表年份, 节点大小代表关键词出现频次, 节点连线宽带代表关键词连接强度, 颜色从紫色到黄色代表年份从远到近



图 4(A)中蓝色和黄色代表了竹叶花椒的早期研究领域。其中蓝色聚类反映了对竹叶花椒提取物在药用价值方面的研究，主要包含化学成分(chemical-composition)、生物碱(alkaloids)、保肝活性(hepatoprotective activity)、毒性(toxicity)等关键词。黄色聚类主要包含遗传多样性(genetic diversity)、diversity(多样性)、conservation(保护)，体现出研究人员对花椒物种多样性及资源保护方面的关注。随后研究重点转向紫色聚类，即竹叶花椒叶片和果实提取物中的黄酮类化合物(flavonoids)和烷基酰胺(alkylamides)化合物，其中对烷基酰胺的研究是一个新兴的热点。图 4(A)中右侧的红色、青色和绿色聚类则分别反映三种最新的研究趋势。红色聚类主要包含基因(genes)、表达(expression)、转录组(transcriptome)、转录因子(transcription factor)、拟南芥(*Arabidopsis*)等关键词，表明对竹叶花椒的研究已经逐渐深入到分子水平。青色聚类体现了竹叶花椒研究向应用领域转化的趋势，主要涉及相关抗菌材料的绿色合成(green synthesis)技术。绿色聚类则聚焦于竹叶花椒的实际生产，关注产量(yield)、抗逆性(tolerance)、生长(growth)、性能(performance)等。

**Table 3.** Top 20 keywords by frequency

**表 3.** 频率 Top20 关键词

| 关键词    | keyword                    | 出现频次 | 总连接强度 |
|--------|----------------------------|------|-------|
| 竹叶花椒   | <i>Zanthoxylum armatum</i> | 161  | 444   |
| 精油     | essential oils             | 40   | 135   |
| 提取     | extraction                 | 31   | 115   |
| 抗氧化活性  | antioxidant activity       | 30   | 101   |
| 成分     | constituents               | 29   | 111   |
| 叶      | leaves                     | 28   | 118   |
| 木脂素    | lignans                    | 26   | 93    |
| 植物     | plants                     | 24   | 49    |
| 鉴定     | identification             | 23   | 71    |
| 生长     | growth                     | 21   | 65    |
| 药用植物   | medicinal-plants           | 21   | 51    |
| 芸香科    | rutaceae                   | 20   | 53    |
| 黄酮类化合物 | flavonoids                 | 18   | 83    |
| 化学成分   | chemical-composition       | 17   | 65    |
| 果实     | fruit                      | 14   | 59    |
| 烷基酰胺   | alkylamides                | 13   | 58    |
| 抗真菌活性  | antifungal activity        | 13   | 51    |
| 多样性    | diversity                  | 13   | 30    |
| 细胞凋亡   | apoptosis                  | 12   | 39    |
| 生物碱    | alkaloids                  | 11   | 43    |

## 4. 讨论

通过对 1983 年至 2024 年间关于竹叶花椒的 293 篇相关文献的分析，我们发现竹叶花椒的研究经历了从初期的零星探索到近十年来的迅速增长。竹叶花椒的研究始于上世纪 80 年代，但直到 2000 年前，

相关文献极少, 仅偶见于 1993 年和 1999 年。此后, 随着人们对竹叶花椒药用价值的认识加深, 研究开始逐步增多。2001 至 2015 年间, 研究活动逐渐活跃, 特别是 2010 年之后, 论文发表数量显著提升。到了 2016 年至今, 竹叶花椒的研究进入了快速发展的阶段, 每年发表的文献数量大幅增加, 特别是在 2023 年达到了 45 篇的历史新高。通过对文献的主题分析, 我们可以看到竹叶花椒的研究主题随着时间的推移而变化和发展。早期研究主要集中在资源调查[34]-[36]和基本的化学成分分析[8][40], 而近年来则更加注重基因组学、药理学以及竹叶花椒在医药和食品工业中的应用。目前竹叶花椒已成为了一个新兴的研究热点。这不仅体现了竹叶花椒作为一种重要药用植物的科研价值, 也反映了全球范围内对可持续利用自然资源的日益重视。

在竹叶花椒的研究领域, 中国处于领先地位, 特别是在西南地区的高校和研究所如四川农业大学、成都中医药大学等, 它们不仅在论文数量上占据优势, 而且在竹叶花椒的基础生物学研究[23]、遗传多样性分析[31][32][44][45]以及功能成分的药理作用[9][46][47]方面也做出了重要贡献。研究团队之间的合作紧密, 形成了多个具有明确研究方向的合作网络。例如, 四川农业大学的龚伟、王景燕等人专注于基因组学和分子生物学研究, 而成都中医药大学饶朝龙团队则侧重于生物活性成分的功能验证。

随着 2021 年竹叶花椒的染色体水平基因组的发布[48], 竹叶花椒基因水平研究的快速发展。目前已经有多个竹叶花椒的基因家族的全基因组鉴定及其功能分析。例如, MADS-box 蛋白的研究表明, ZaMADS80 在花发育中扮演着重要角色, 进一步推动了对竹叶花椒花形成机制的理解[49]。RWP-RK 蛋白的全基因组鉴定显示, 这些转录因子在胚胎发育及无融合生殖中发挥着关键作用[50]。此外, 生长调节因子家族的研究确认了 ZaGRF6 在叶片大小和寿命调控中的重要性, 提供了关于竹叶花椒生长发育的深入见解[51]。HD-ZIP 基因家族成员的功能分析揭示了其在刺的发育中扮演的重要角色, 为理解竹叶花椒特有性状提供了分子基础[52]。BZR 基因家族的研究则表明, ZaBZR1 在抗旱性方面具有重要功能, 帮助植物在逆境条件下进行适应[53]。MBF1 基因家族在不同组织和胁迫条件下的表达模式分析, 进一步说明了这些基因在应激反应中的作用[16]。而 RR 基因家族成员的全基因组特征化及 C 型 RR 的功能分析也揭示了这些基因在植物生长与发育中的多重角色[17]。此外, PIN 生长素转运蛋白基因家族的研究显示, 这些转运蛋白在生长素运输和植物发育过程中具有重要作用[54]。

基于现有研究趋势, 预计未来竹叶花椒的研究将会更加关注其遗传改良、生态适应性以及生物活性成分的深度开发。无融合生殖是花椒属植物的一个重要特性, 对其具体调控机制及关键基因的研究将具有重要的理论和应用价值, 需要得到进一步研究关注。随着基因编辑技术的进步, 如何通过基因工程手段提高竹叶花椒的产量和品质也将是一个值得关注的方向。此外, 跨学科的研究合作, 如将生态学、分子生物学与药理学相结合, 将进一步推动竹叶花椒研究的发展。

## 5. 小结

在本研究中, 我们对竹叶花椒自 1983 年至 2024 年的研究进展进行了系统的文献计量分析。通过对 293 篇高质量学术论文的筛选与分析, 结果表明, 该领域的研究经历了显著的增长, 尤其是在 2016 年后, 相关文献的发表数量大幅上升。这一增长反映了竹叶花椒在药用价值和生态重要性方面的日益受到重视。研究主题涵盖了资源调查与管理、化学成分及药理活性分析, 以及其在医学和化工领域的应用等多个方面。其中, 中国、印度和巴基斯坦是主要的贡献国, 中国的研究表现尤为突出, 四川农业大学等机构在论文数量和研究质量上均名列前茅。通过对关键词共现网络的分析, 我们识别出了七个主要研究聚类, 揭示了该领域的研究热点和未来发展方向。这些聚类包括化学成分、药用价值、遗传多样性保护、基因组学、绿色合成技术以及生产性能优化等, 显示了竹叶花椒研究的多样性和潜力。此外, 基因组学的研究进展为深入理解竹叶花椒的生长发育机制提供了新的视角。总体而言, 本研究为竹叶花椒的未来研究

方向提供了重要参考，彰显了其作为重要药用植物的巨大潜力。

## 致谢

感谢 Massimo Aria 和 Corrado Cuccurullo 开发了开源的 bibliometrix 和 biblioshiny 文献计量分析与可视化工具。

## 基金项目

四川省自然科学基金：RWP-RK 家族成员基因调控竹叶花椒无融合生殖的分子机制研究(2022NSFSC0089)。

## 参考文献

- [1] Appelhans, M.S., Wen, J., Wood, K.R., Allan, G.J., Zimmer, E.A. and Wagner, W.L. (2013) Molecular Phylogenetic Analysis of Hawaiian Rutaceae (*Melicope*, *Platydesma* and *Zanthoxylum*) and Their Different Colonization Patterns. *Botanical Journal of the Linnean Society*, **174**, 425-448. <https://doi.org/10.1111/boj.12123>
- [2] Agnihotri, S., Dobhal, P., Ashfaquallah, S., Chauhan, H.K. and Tamta, S. (2022) Review of the Botany, Traditional Uses, Pharmacology, Threats and Conservation of *Zanthoxylum armatum* (Rutaceae). *South African Journal of Botany*, **150**, 920-927. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2022.08.038>
- [3] WFO (2024) *Zanthoxylum armatum* DC. <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000430335>
- [4] 叶倩女, 石晓峰, 杨军丽. 花椒属植物中酰胺类成分的结构与功能研究进展[J]. 中国中药杂志, 2023, 48(9): 2406-2418.
- [5] Qian, D., Chen, J., Xu, Y., He, C., Wu, Y., Peng, W., *et al.* (2024) Pungent Agents Derived from the Fruits of *Zanthoxylum armatum* DC. Are Beneficial for Ameliorating Type 2 Diabetes Mellitus via Regulation of AMPK/PI3K/Akt Signaling. *Journal of Functional Foods*, **116**, Article 106160. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106160>
- [6] Khan, S., Richa, Jhamta, R. and Kaur, H. (2020) Antidiabetic and Antioxidant Potential of *Zanthoxylum armatum* DC. Leaves (Rutaceae): An Endangered Medicinal Plant. *Plant Science Today*, **7**, 93-100. <https://doi.org/10.14719/pst.2020.7.1.665>
- [7] Irshad, A., Ullah, I. and Khan, M.F. (2021) Antibacterial and Antioxidant Effects of *Zanthoxylum armatum* DC Extracts. *Bangladesh Journal of Botany*, **50**, 159-164. <https://doi.org/10.3329/bjb.v50i1.52683>
- [8] Joshi, S. and Gyawali, A. (2013) Phytochemical and Biological Studies on *Zanthoxylum armatum* of Nepal. *Journal of Nepal Chemical Society*, **30**, 71-77. <https://doi.org/10.3126/jncs.v30i0.9339>
- [9] Wen, J., Xiang, Q., Guo, J., Zhang, J., Yang, N., Huang, Y., *et al.* (2024) Pharmacological Activities of *Zanthoxylum* L. Plants and Its Exploitation and Utilization. *Heliyon*, **10**, e33207. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33207>
- [10] Amandeep P, Antul K, Gurwinder S, *et al.* (2018) Medicinal, Pharmaceutical and Pharmacological Properties of *Zanthoxylum armatum*: A Review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, **7**, 892-900.
- [11] Jiang, J., Huang, Y., Wang, W., Sun, C., Liu, Q., Chen, Y., *et al.* (2022) Activation of ATM/CHK2 by *Zanthoxylum armatum* DC Extract Induces DNA Damage and G1/S Phase Arrest in BRL 3A Cells. *Journal of Ethnopharmacology*, **284**, Article 114832. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2021.114832>
- [12] Yang, N., Zhang, J., Guo, J., Xiang, Q., Huang, Y., Wen, J., *et al.* (2024) Revealing the Mechanism of *Zanthoxylum armatum* DC. Extract-Induced Liver Injury in Mice Based on Lipidomics. *Journal of Ethnopharmacology*, **319**, Article 117086. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117086>
- [13] Zhang, J., Guo, J., Yang, N., Huang, Y., Wen, J., Xiang, Q., *et al.* (2024) *Zanthoxylum armatum* DC Fruit Ethyl Acetate Extract Site Induced Hepatotoxicity by Activating Endoplasmic Reticulum Stress and Inhibiting Autophagy in BRL-3A Models. *Journal of Ethnopharmacology*, **319**, Article 117245. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117245>
- [14] Guo, J., Yang, N., Zhang, J., Huang, Y., Xiang, Q., Wen, J., *et al.* (2024) Neurotoxicity Study of Ethyl Acetate Extract of *Zanthoxylum armatum* DC. on SH-SY5Y Based on ROS Mediated Mitochondrial Apoptosis Pathway. *Journal of Ethnopharmacology*, **319**, Article 117321. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2023.117321>
- [15] Xiang, Q., Wen, J., Zhou, Z., Dai, Q., Huang, Y., Yang, N., *et al.* (2024) Effect of Hydroxy- $\alpha$ -Sanshool on Lipid Metabolism in Liver and Hepatocytes Based on AMPK Signaling Pathway. *Phytomedicine*, **132**, Article 155849. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2024.155849>
- [16] Hui, W., Zheng, H., Fan, J., Wang, J., Saba, T., Wang, K., *et al.* (2022) Genome-Wide Characterization of the *MBFI*

- Gene Family and Its Expression Pattern in Different Tissues and Stresses in *Zanthoxylum armatum*. *BMC Genomics*, **23**, Article No. 652. <https://doi.org/10.1186/s12864-022-08863-4>
- [17] Hui, W., Wu, H., Zheng, H., Wang, K., Yang, T., Fan, J., *et al.* (2024) Genome-Wide Characterization of *RR* Gene Family Members in *Zanthoxylum armatum* and the Subsequent Functional Characterization of the C-Type *RR*. *Plant Physiology and Biochemistry*, **214**, Article 108943. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108943>
- [18] Fan, J., Wang, P., Zheng, H., Saba, T., Hui, W., Wang, J., *et al.* (2024) Genome-Wide Characterization of the Mads-Box Gene Family and Expression Pattern in Different Tissues and Stresses in *Zanthoxylum armatum*. *Journal of Plant Growth Regulation*, **43**, 2696-2714. <https://doi.org/10.1007/s00344-024-11299-7>
- [19] Hui, W., Fan, J., Liu, X., Zhao, F., Saba, T., Wang, J., *et al.* (2022) Integrated Transcriptome and Plant Growth Substance Profiles to Identify the Regulatory Factors Involved in Floral Sex Differentiation in *Zanthoxylum armatum* Dc. *Frontiers in Plant Science*, **13**, Article 976338. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.976338>
- [20] Wu, J., Wang, J., Su, C., Wang, P., Zheng, H., Fan, J., *et al.* (2023) Exogenous Ethylene Application—An Effective Measure to Alleviate Waterlogging-Induced Stress on Photosynthesis of *Zanthoxylum armatum* Leaves. *Plant Growth Regulation*, **101**, 703-714. <https://doi.org/10.1007/s10725-023-01051-8>
- [21] Wang, P., Su, C., Wu, J., Xie, Y., Fan, J., Wang, J., *et al.* (2023) Response of Photosynthetic Characteristics to Different Salicylic Acid Concentrations in Relation to Waterlogging Resistance in *Zanthoxylum armatum*. *Horticultural Science and Technology*, **41**, 349-360. <https://doi.org/10.7235/hort.20230032>
- [22] Zhou, C., Zhou, X., Gong, W. and Wang, J. (2021) Fertiliser and Soil Moisture Regulation Mitigates Waterlogging Stress Injury of *Zanthoxylum armatum* Seedlings in Potted Condition. *European Journal of Horticultural Science*, **86**, 398-406. <https://doi.org/10.17660/ejhs.2021/86.4.7>
- [23] Zhou, C., Cai, Y., Yang, Z., Wang, H., Deng, F., Bai, Z., *et al.* (2020) Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilization Promotes *Zanthoxylum armatum* 'Hanyuan Putao Qingjiao' Flower Bud Differentiation in Sichuan, China. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, **61**, 651-661. <https://doi.org/10.1007/s13580-020-00251-9>
- [24] Song, L., Huang, Y., Zuo, H., Tang, N., Li, Z., Jiao, W., *et al.* (2024) Chromosome-Level Assembly of Triploid Genome of Sichuan Pepper (*Zanthoxylum armatum*). *Horticultural Plant Journal*, **10**, 437-449. <https://doi.org/10.1016/j.hpi.2022.12.014>
- [25] Liu, J., Wan, J., Zhang, Y., Hou, X., Shen, G., Li, S., *et al.* (2023) The Establishment of Comprehensive Quality Evaluation Model for Flavor Characteristics of Green Sichuan Pepper (*Zanthoxylum armatum* DC.) in Southwest China. *Food Chemistry: X*, **18**, Article 100721. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100721>
- [26] Wang, J., Xia, D., Wan, J., Hou, X., Shen, G., Li, S., *et al.* (2024) Color Grading of Green Sichuan Pepper (*Zanthoxylum armatum* DC.) Dried Fruit Based on Image Processing and BP Neural Network Algorithm. *Scientia Horticulturae*, **331**, Article 113171. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.113171>
- [27] Liu, J., Wang, Y., Hou, X., Cui, Q., Wu, H., Shen, G., *et al.* (2023) Starch-Based Film Functionalized with *Zanthoxylum armatum* Essential Oil Improved the Shelf Life of Beef Sauce. *LWT*, **183**, Article 114930. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114930>
- [28] Guo, T., Deng, Y., Xie, H., Yao, C., Cai, C., Pan, S., *et al.* (2011) Antinociceptive and Anti-Inflammatory Activities of Ethyl Acetate Fraction from *Zanthoxylum armatum* in Mice. *Fitoterapia*, **82**, 347-351. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2010.11.004>
- [29] Feng, S., Yang, T., Liu, Z., Chen, L., Hou, N., Wang, Y., *et al.* (2015) Genetic Diversity and Relationships of Wild and Cultivated *Zanthoxylum* Germplasm Based on Sequence-Related Amplified Polymorphism (SRAP) Markers. *Genetic Resources and Crop Evolution*, **62**, 1193-1204. <https://doi.org/10.1007/s10722-015-0222-x>
- [30] Feng, S., Liu, Z., Chen, L., Hou, N., Yang, T. and Wei, A. (2016) Phylogenetic Relationships among Cultivated *Zanthoxylum* Species in China Based on cpDNA Markers. *Tree Genetics & Genomes*, **12**, Article No. 45. <https://doi.org/10.1007/s11295-016-1005-z>
- [31] Hu, Y., Tian, L., Shi, J., Tian, J., Zhao, L., Feng, S., *et al.* (2018) Genetic Structure of Cultivated *Zanthoxylum* Species Investigated with SSR Markers. *Tree Genetics & Genomes*, **14**, Article No. 89. <https://doi.org/10.1007/s11295-018-1300-y>
- [32] Chen, X., Tian, L., Tian, J., Wang, G., Gong, X., Feng, S., *et al.* (2022) Extensive Sampling Provides New Insights into Phylogenetic Relationships between Wild and Domesticated *Zanthoxylum* Species in China. *Horticulturae*, **8**, Article 440. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8050440>
- [33] Feng, S., Liu, Z., Hu, Y., Tian, J., Yang, T. and Wei, A. (2020) Genomic Analysis Reveals the Genetic Diversity, Population Structure, Evolutionary History and Relationships of Chinese Pepper. *Horticulture Research*, **7**, 158. <https://doi.org/10.1038/s41438-020-00376-z>
- [34] Bhatia, H., Sharma, Y.P., Manhas, R.K. and Kumar, K. (2014) Ethnomedicinal Plants Used by the Villagers of District Udhampur, J&K, India. *Journal of Ethnopharmacology*, **151**, 1005-1018. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2013.12.017>

- [35] Amjad, M.S., Qaeem, M.F., Ahmad, I., Khan, S.U., Chaudhari, S.K., Zahid Malik, N., *et al.* (2017) Descriptive Study of Plant Resources in the Context of the Ethnomedicinal Relevance of Indigenous Flora: A Case Study from Toli Peer National Park, Azad Jammu and Kashmir, Pakistan. *PLOS ONE*, **12**, e0171896. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171896>
- [36] Kunwar, R.M., Mahat, L., Acharya, R.P. and Bussmann, R.W. (2013) Medicinal Plants, Traditional Medicine, Markets and Management in Far-West Nepal. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*, **9**, Article No. 24. <https://doi.org/10.1186/1746-4269-9-24>
- [37] Xu, D., Zhuo, Z., Wang, R., Ye, M. and Pu, B. (2019) Modeling the Distribution of *Zanthoxylum armatum* in China with Maxent Modeling. *Global Ecology and Conservation*, **19**, e00691. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00691>
- [38] Feng, X., Wang, H., Wang, Z., Huang, P. and Kan, J. (2022) Discrimination and Characterization of the Volatile Organic Compounds in Eight Kinds of Huajiao with Geographical Indication of China Using Electronic Nose, HS-GC-IMS and HS-SPME-GC-MS. *Food Chemistry*, **375**, Article 131671. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131671>
- [39] Bhatt, V., Sharma, S., Kumar, N., Sharma, U. and Singh, B. (2017) Simultaneous Quantification and Identification of Flavonoids, Lignans, Coumarin and Amides in Leaves of *Zanthoxylum armatum* Using UPLC-DAD-ESI-QTOF-MS/MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, **132**, 46-55. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2016.09.035>
- [40] Kalia, N.K., Singh, B. and Sood, R.P. (1999) A New Amide from *zanthoxylum Armatum*. *Journal of Natural Products*, **62**, 311-312. <https://doi.org/10.1021/np980224j>
- [41] Kumar, V., Kumar, S., Singh, B. and Kumar, N. (2014) Quantitative and Structural Analysis of Amides and Lignans in *Zanthoxylum armatum* by UPLC-DAD-ESI-QTOF-MS/MS. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, **94**, 23-29. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2014.01.028>
- [42] Ranawat, L., Bhatt, J. and Patel, J. (2010) Hepatoprotective Activity of Ethanolic Extracts of Bark of *Zanthoxylum armatum* DC in CCl<sub>4</sub> Induced Hepatic Damage in Rats. *Journal of Ethnopharmacology*, **127**, 777-780. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2009.10.019>
- [43] Ramesh, A.V., Rama Devi, D., Mohan Botsa, S. and Basavaiah, K. (2018) Facile Green Synthesis of Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> Nanoparticles Using Aqueous Leaf Extract of *Zanthoxylum armatum* DC. for Efficient Adsorption of Methylene Blue. *Journal of Asian Ceramic Societies*, **6**, 145-155. <https://doi.org/10.1080/21870764.2018.1459335>
- [44] Zhang, X., Chen, W., Yang, Z., Luo, C., Zhang, W., Xu, F., *et al.* (2024) Genetic Diversity Analysis and DNA Fingerprint Construction of *Zanthoxylum* Species Based on SSR and IPBS Markers. *BMC Plant Biology*, **24**, Article No. 843. <https://doi.org/10.1186/s12870-024-05373-1>
- [45] Li, J., Li, S., Kong, L., Wang, L., Wei, A. and Liu, Y. (2020) Genome Survey of *Zanthoxylum bungeanum* and Development of Genomic-SSR Markers in Congeneric Species. *Bioscience Reports*, **40**, BSR20201101. <https://doi.org/10.1042/bsr20201101>
- [46] Li, X., Wang, Q., Liu, L., Shi, Y., Hong, Y., Xu, W., *et al.* (2024) The Therapeutic Potential of Four Main Compounds of *Zanthoxylum nitidum* (Roxb.) DC: A Comprehensive Study on Biological Processes, Anti-Inflammatory Effects, and Myocardial Toxicity. *Pharmaceuticals*, **17**, Article 524. <https://doi.org/10.3390/ph17040524>
- [47] Qi, J., Pan, Z., Wang, X., Zhang, N., He, G. and Jiang, X. (2024) Research Advances of *Zanthoxylum bungeanum* Maxim. Polyphenols in Inflammatory Diseases. *Frontiers in Immunology*, **15**, Article 1305886. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2024.1305886>
- [48] Wang, M., Tong, S., Ma, T., Xi, Z. and Liu, J. (2021) Chromosome-Level Genome Assembly of Sichuan Pepper Provides Insights into Apomixis, Drought Tolerance, and Alkaloid Biosynthesis. *Molecular Ecology Resources*, **21**, 2533-2545. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.13449>
- [49] Tang, N., Cao, Z., Wu, P., Zhang, X., Lou, J., Liu, Y., *et al.* (2022) Genome-Wide Identification, Interaction of the MADS-Box Proteins in *Zanthoxylum armatum* and Functional Characterization of *ZaMADS80* in Floral Development. *Frontiers in Plant Science*, **13**, Article 1038828. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1038828>
- [50] Zheng, X., Duan, Y., Zheng, H., Tang, H., Zheng, L. and Yu, X. (2024) Genome-Wide Identification and Characterization of the RWP-RK Proteins in *Zanthoxylum armatum*. *Genes*, **15**, Article 665. <https://doi.org/10.3390/genes15060665>
- [51] Huang, Y., Chen, J., Li, J., Li, Y. and Zeng, X. (2022) Genome-Wide Identification and Analysis of the Growth-Regulating Factor Family in *Zanthoxylum armatum* DC and Functional Analysis of *ZaGRF6* in Leaf Size and Longevity Regulation. *International Journal of Molecular Sciences*, **23**, Article 9043. <https://doi.org/10.3390/ijms23169043>
- [52] Zhang, X., Chen, Z., Wang, C., Zhou, X., Tang, N., Zhang, W., *et al.* (2023) Genome-Wide Identification of HD-ZIP Gene Family and Screening of Genes Related to Prickle Development in *Zanthoxylum armatum*. *The Plant Genome*, **16**, e20295. <https://doi.org/10.1002/tpg2.20295>
- [53] Jin, Z., Zhou, T., Chen, J., Lang, C., Zhang, Q., Qin, J., *et al.* (2024) Genome-Wide Identification and Expression Analysis of the *BZR* Gene Family in *Zanthoxylum armatum* DC and Functional Analysis of *ZaBZR1* in Drought Tolerance. *Planta*, **260**, Article No. 41. <https://doi.org/10.1007/s00425-024-04469-0>

- [54] Zhou, T., Chen, J., Huang, Y., Jin, Z., Li, J., Li, Y., *et al.* (2022) Genome-Wide Identification and Expression Analysis of the *PIN* Auxin Transporter Gene Family in *Zanthoxylum armatum* DC. *Agriculture*, **12**, Article 1318. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091318>