

基于文献计量学的药用植物干旱胁迫研究现状可视化分析



叶秋鞠, 尹海波, 王丹, 鲁瑶, 孙杰, 吴莹, 杜俊楠

辽宁中医药大学药学院 (辽宁大连 116000)

【摘要】目的 利用文献计量学方法对药用植物干旱胁迫研究相关的中英文文献进行可视化分析, 探究该领域的研究进展与未来发展趋势。**方法** 以中国知网、万方数据和维普数据库为中文文献数据来源, 检索时间为2006年1月1日至2026年1月1日; 以Web of Science为英文文献数据来源, 检索时间为2020年1月1日至2026年1月1日。运用VOSviewer 1.6.20、CiteSpace 6.4.R1软件对文献年度发文量、作者和机构合作网络、关键词共现、聚类、时间线、突现等方面进行分析, 绘制可视化图谱。**结果** 研究共纳入文献1 354篇, 其中中文文献291篇 (21.49%), 英文文献1 063篇 (78.51%)。药用植物干旱胁迫研究目前以英文文献为主, 中英文文献的发文量均有一定波动, 文献作者多以团队协作为主。中国中医科学院为中文发文量最高机构 (8篇), 英文发文量最高的机构为Chinese Academy of Sciences (中国科学院, 50篇)。关键词共现分析显示, 药用植物 (63次)、干旱胁迫 (28次)、非生物胁迫 (16次) 为中文关键词前3位; drought stress (干旱胁迫, 314次)、drought (干旱, 241次)、growth (生长, 223次) 为英文关键词前3位。中文研究覆盖面广, 涉及栽培技术等; 英文研究侧重基因表达、代谢积累等分子机制。聚类分析中, 中文9类聚焦栽培与化学成分, 英文10类侧重分子调控。时间线图显示, 中文关注干旱胁迫等传统主题, 英文持续研究水分与基因表达。关键词突现分析显示, 中文17个关键词从基础研究转向分子层面; 英文16个关键词突出干旱与热胁迫协同。**结论** 药用植物干旱胁迫相关研究持续增长, 正从宏观生理向微观分子、单一胁迫向复合胁迫发展, 多组学技术已成为主流。未来应加强跨领域合作, 深入解析分子调控网络, 开展复合胁迫研究, 并推动成果转化应用, 保障药用植物产量品质与可持续利用。

【关键词】 药用植物; 干旱胁迫; 文献计量学; CiteSpace; VOSviewer; 聚类分析

【中图分类号】 R961.1

【文献标识码】 A

Visual analysis of research status on drought stress in medicinal plants based on bibliometrics

YE Qiuju, YIN Haibo, WANG Dan, LU Yao, SUN Jie, WU Ying, DU Junnan

School of Pharmacy, Liaoning University of Traditional Chinese Medicine, Dalian 116000, Liaoning Province, China

Corresponding author: YIN Haibo, Email: yhb0528@sina.com

【Abstract】 Objective To conduct a visual analysis of Chinese and English literature

DOI: 10.12173/j.issn.2097-4922.202512044

基金项目: 辽宁省“兴辽英才计划”教学名师项目 (XLXC2211011); 辽宁省科技厅科技特派行动计划项目 (2025JH5/10400169); 国家现代农业产业技术体系中药材产业辽宁创新团队项目 (2025001)

通信作者: 尹海波, 博士, 教授, 博士研究生导师, Email: yhb0528@sina.com

<https://yxqy.whuzhmedj.com>

related to drought stress research on medicinal plants using bibliometric methods, and to explore the research progress and future development trends in this field. **Methods** Using CNKI, WanFang Data, and VIP Database as sources for Chinese literature, with the retrieval period from January 1, 2006 to January 1, 2026. Web of Science (WOS) as the source for English literature, covering the period from January 1, 2020 to January 1, 2026. Software including VOSviewer 1.6.20 and CiteSpace 6.4.R1 were adopted to analyze annual publication volume, author and institutional collaboration networks, keyword co-occurrence, clustering, timeline and burst detection, and relevant visual maps were generated. **Results** A total of 1,354 studies were included in this study, comprising 291 (21.49%) Chinese literature and 1,063 (78.51%) English literature. Research on medicinal plants under drought stress was currently dominated by English literature, with fluctuating publication volumes in both Chinese and English. Most publications were produced through collaborative research teams. The China Academy of Chinese Medical Sciences ranked first in the number of Chinese-language publications (8 papers), while the Chinese Academy of Sciences had the largest number of English-language publications (50 papers). Keyword co-occurrence analysis revealed that the top 3 keywords in Chinese were medicinal plants (63), drought stress (28), and abiotic stress (16). For English publications, the top 3 keywords were drought stress (314), drought (241), and growth (223). Chinese studies had broad coverage including aspects such as cultivation techniques, while English researches focus on molecular mechanisms such as gene expression and metabolite accumulation. Cluster analysis revealed that the 9 clusters of Chinese literature primarily focused on cultivation and chemical composition, whereas the 10 clusters of English literature emphasized molecular regulation. Timeline mapping revealed that Chinese research focused traditional topics such as drought stress, while English research consistently investigated water-related issues and gene expression. Burst analysis indicated that among Chinese studies, 17 keywords had shifted from fundamental research to the molecular level; among English studies, 16 keywords highlighted the synergy between drought and heat stress. **Conclusion** Research on drought stress in medicinal plants has been continuously growing, shifting from macroscopic physiology to microscopic molecular mechanisms, and from single stress to combined stress. The core research directions are consistent between Chinese and international studies, with multi-omics technologies having become mainstream. Future efforts should focus on strengthening interdisciplinary collaboration, deepening the understanding of molecular regulatory networks, conducting research on combined stresses, and promoting the translation and application of research outcomes to ensure the yield, quality, and sustainable utilization of medicinal plants.

【Keywords】 Medicinal plants; Drought stress; Bibliometrics; CiteSpace; VOSviewer; Cluster analysis

药用植物是中医药事业发展的物质基础，在保障人类健康方面发挥着重要作用。随着全球气候变化加剧，干旱胁迫已成为影响药用植物生长发育、产量和品质的主要环境因素之一^[1]。目前，干旱胁迫对药用植物的相关研究主要集中在药用植物抗旱的生长及次生代谢产物积累的影响，其抗旱机制研究和农作物相比尚不深入^[2]。药用植物中大量的活性成分是其次级代谢的产物，当植物遭受逆境胁迫时，次生代谢相关基因的表达或相关酶的活性发生改变，从而调控次生代谢物的积累^[3]。干旱胁迫通过改变植物的生理和生化过程对其产生显著影响^[4]。不同的植物在

应对干旱或水涝胁迫的代谢能力不同，适度的干旱胁迫能提高某些药用植物中的活性成分含量^[5]。深入了解药用植物干旱胁迫的研究现状，对于揭示其适应机制、提高其抗旱性以及保障药用植物资源的可持续利用具有重要意义。

文献计量学是一门运用数学和统计学定量地分析知识载体（如文献、作者、关键词）的交叉科学，通过大量数据的支持，能够对所研究领域的发展历程、研究现状和研究热点进行清晰地展示，可以为该领域后续的研究提供参考^[6]。因此，本研究采用文献计量学方法，对药用植物响应干旱胁迫领域的相关文献进行系统分析，旨在

梳理该领域的研究现状、热点及发展方向，为后续研究提供参考。

1 资料与方法

1.1 数据来源

本研究选择中国知网 (CNKI)、万方数据 (WanFang Data) 和维普数据库 (VIP) 作为中文文献检索平台。主要检索词为: 药用植物、干旱胁迫, 在此基础上拓展同一关键词的不同描述方式。以 CNKI 为例, 以 [(药用植物+中草药)* (干旱+水分胁迫+水分亏缺+干旱胁迫+水资源短缺+抗旱性+耐旱性+干旱响应+干旱适应)] 为检索表达式, 检索时间为 2006 年 1 月 1 日至 2026 年 1 月 1 日。对检索中文文献下载 NoteExpress 格式, 导入 NoteExpress 软件, 经软件去重和人工筛选去除重复文献, 最后以 “Refwork-citespace” 格式导出, 保存文件命名 download.txt。纳入文献类型为论著、综述, 排除会议、无法获取全文的文献。

以 Web of Science (WOS) 为英文文献检索平台, 选择数据库为 WOS 核心合集数据库。以 TS = [medicinal plant OR herbal plant) AND (drought OR drought stress OR water stress OR water deficit OR water scarcity OR moisture stress OR drought resistance OR drought tolerance OR drought adapt OR drought response)] 为检索表达式, 文献选择类型为 Article 和 Review, 排除会议、摘要、信件和无法获取全文的文献。检索时间为 2020 年 1 月 1 日至 2026 年 1 月 1 日, 文献去重后以纯文本文件导出。

1.2 数据分析方法

综合采用 CiteSpace 6.4.R1 可视化软件和 VOSviewer 1.6.20 软件进行文献计量分析。新建 CiteSpace 文件夹, 内设 input、output、data 和 project 4 个文件夹。将中英文文献的下载文件导入 CiteSpace 6.4.R1 软件的 input 文件夹中进行分析。可视化分析设置如下: 中文文献时间分区选取 2006 年 1 月至 2025 年 12 月, 英文文献时间分区选取 2020 年 1 月至 2025 年 12 月。主题词每个切片的年份设置为 1, 选择标准 topN 设置为 50, Pruning 选择 Pathfinder、Pruning sliced networks、Pruning the merged network。节点类型选择作者、机构和关键词。运用以上 2 个软件对上述所得

的文献数据进行可视化分析, 分别对作者、机构、关键词进行可视化分析, 绘制相应的知识图谱, 挖掘药用植物干旱胁迫研究热点及研究方向。

作者、机构共现网络以文献作者或机构为节点, 节点间连线表示节点间存在合作, 节点大小反映发文量, 连线粗细反映其合作紧密程度。网络密度 (density) 反映网络中节点间实际存在的连线, 占理论上所有可能连接的比例, 衡量的是整个网络的整体关联紧密程度, 其数值在 0~1 之间, 数值越大网络越密集。关键词共现网络, 以文献关键词为节点, 节点间连线表示关键词在同一篇文章中共同出现, 节点大小反映关键词出现频次, 连线粗细反映关键词共现强度, 其中节点大小与其频次呈正相关^[7]。

关键词聚类分析可更好地观测研究领域内研究方向的分布情况。聚类中下属的关键词越多, 聚类模块内包含的节点越多, 聚类的规模越大、越重要。采用模块度 (Q 值) 与平均轮廓系数 (S 值) 评价关键词聚类效果, 其中 Q 值用于衡量网络聚类结构的显著程度, $Q > 0.3$ 表明聚类结构具有统计学意义, $Q > 0.5$ 表明聚类结构较清晰; S 值用于衡量关键词聚类的合理性与可靠性, $S > 0.5$ 表明聚类结果有效, $S > 0.7$ 表明聚类结果质量高^[7]。关键词时间线图可直观呈现各聚类的时间跨度及聚类内关键词的时间分布, 清晰展现该研究领域的时间演变进程。其中, 时间线图纵轴表示研究主题的聚类分布, 横轴则精确对应了文献发表的时间序列, 关键词首次出现时, 对应的时区处会出现相应的节点, 通过节点之间的连线来表示关键词之间的联系, 节点从内到外的颜色变化代表节点研究的时间变化^[8]。同时开展关键词突现分析, 可以观察某一时期内该领域研究中备受关注的核心议题, 并借此对未来研究的发展方向作出预判^[7]。

2 结果

2.1 一般情况

初始检索获得文献 1 449 篇, 其中 CNKI 102 篇、WanFang Data 238 篇、VIP 46 篇、WOS 1 063 篇; 去除重复后最终纳入文献 1 354 篇, 包括中文文献 291 篇 (21.49%), 英文文献 1 063 篇 (78.51%)。

2.2 年发文量及年累积发文量

药用植物干旱胁迫领域中文文献年累计发文

量总体呈逐年增长趋势，增长幅度较为平缓，2018年达年发文量的最大值（28篇），2016年处于年发文量的最小值（6篇），2020—2025年相较于其他年份年发文量较高（图1）。

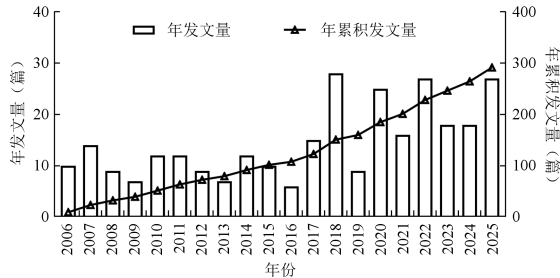


图1 中文文献年发文量及年累积发文量

Figure 1. Annual number of publications and annual cumulative number of publications in Chinese literature

英文文献年累计发文量总体上也呈逐年增长趋势，增长幅度较为平缓，2020—2025年的年发文量呈先上升后下降再上升的趋势，2025年达年发文量的最大值（262篇），2020年处于年发文量的最小值（108篇）。2020—2025年关于药用植物干旱胁迫的英文文献，每年发文量均超过100篇，且年累积发文量显著多于中文文献（图2）。

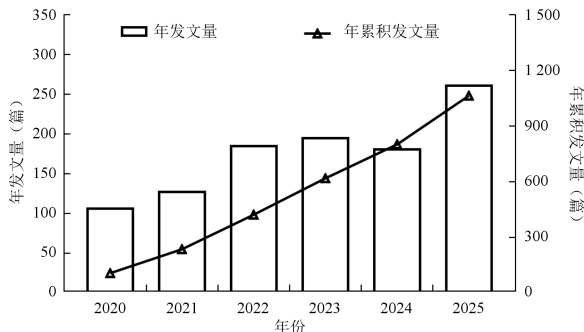


图2 英文文献年发文量及年累积发文量

Figure 2. Annual number of publications and annual cumulative number of publications in English literature

2.3 作者合作网络分析

中文文献发文作者之间的合作呈现明显的区块化，作者之间的合作主要存在3个大的合作群，红色区块为刘华、李明等（8人）构成的合作网络，绿色区块为康传志、王红阳等（6人）所构成的合作网络，黄绿色区块为郭兰萍、黄璐琦等（5人）所构成的合作网络，三者之间以郭兰萍为合作桥梁，共同组成了该作者合作网络图的主体（图3）。中文发文量最高的作者为郭兰萍（8篇）。

英文文献作者之间的合作也呈现明显的区块化，作者之间主要存在3个大的合作群，红色区

块为Huang LQ、Li W等（15人）构成的合作网络区；绿色区块为Wang ZZ、Wang Y等（14人）所构成的合作网络区；蓝色区块为Filippo M、Abdolreza A等（12人）所构成的合作网络区（图4）。英文发文量最高的作者为Filippo M（9篇）。

2.4 机构合作网络分析

发文机构合作网络分析结果显示，中文文献中，发文机构的网络密度值为0.003 2，英文文献中发文机构的网络密度值为0.011 9，表明机构之

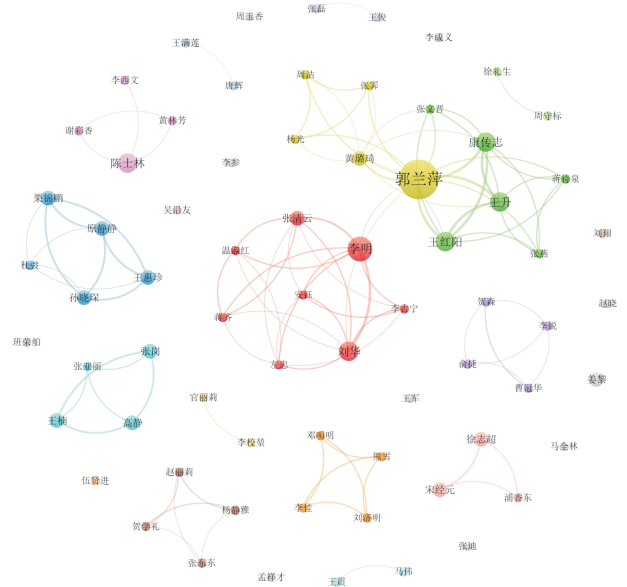


图3 中文文献作者合作网络图

Figure 3. Author collaboration network of publications in Chinese literature

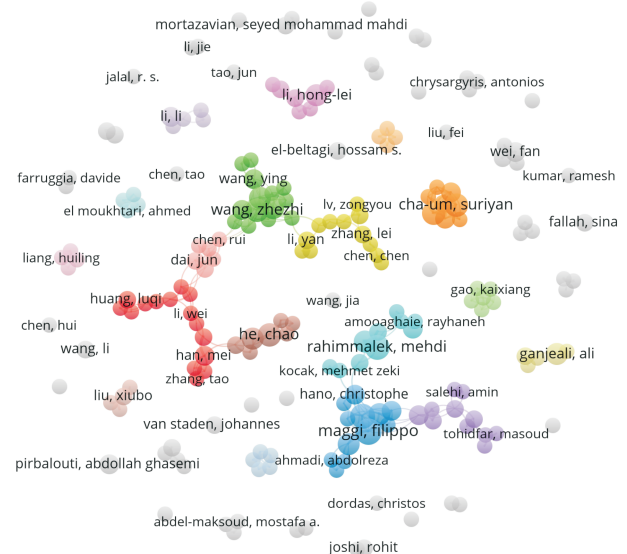


图4 英文文献作者合作网络图

Figure 4. Author collaboration network of publications in English literature

间的合作都较为分散。但英文文献的发文机构与中文文献相比较为紧密。中文文献的发文机构主要为中国中医科学院 (8篇)。英文文献发文量前 3 位的机构分别为 Chinese Academy of Sciences

(中国科学院, 50 篇)、Egyptian Knowledge Bank (埃及知识银行, 46 篇)、Islamic Azad University (伊斯兰阿扎德大学, 34 篇)。发文量前 10 机构见表 1。

表 1 中英文文献发文量前 10 位的分布机构
Table 1. Top 10 institutions of Chinese and English literature

序号	中文发文机构	发文量	英文发文机构	发文量
1	中国中医科学院	8	Chinese Academy of Sciences (中国科学院)	50
2	中国医学科学院药用植物研究所	5	Egyptian Knowledge Bank (埃及知识银行)	46
3	甘肃中医药大学	4	Islamic Azad University (伊斯兰阿扎德大学)	34
4	云南中医药大学	4	Isfahan University of Technology (伊斯法罕理工大学)	27
5	中国科学院新疆生态与地理研究所	4	University of Chinese Academy of Sciences (中国科学院大学)	22
6	西南大学	4	King Saud University (沙特国王大学)	21
7	吉林农业大学	4	University of Tehran (德黑兰大学)	21
8	宁夏农林科学院荒漠化治理研究所	4	Council of Scientific & Industrial Research (CSIR) -India (印度科学与工业研究理事会)	20
9	甘肃省治沙研究所	3	Lorestan University (洛雷斯坦大学)	16
10	云南省农业科学院药用植物研究所	3	Indian Council of Agricultural Research (印度农业研究理事会)	16

2.5 关键词共现分析

关键词共现网络如图 5 和图 6 所示, 中文关键词前 3 位分别为: 药用植物 (63 次)、干旱胁迫 (28 次)、非生物胁迫 (16 次); 英文关键词前 3 位为: drought stress (干旱胁迫, 314 次)、drought (干旱, 241 次)、growth (生长, 223 次)。中英文前 10 共现关键词见表 2。

中英文文献中的关键词有部分重叠, 均涉及次生代谢产物的研究。此外, 中文文献所涉及的研究方向范围较广, 英文文献所涉及的研究方向较为具体, expression (表达)、accumulation (积

累)、responses (响应)、biosynthesis (生物合成) 等都与转录组和代谢组有关, antioxidant activity (抗氧化活性) 属于生理生化方面的内容, plant-growth (植物生长) 离不开光合作用 (图 6)。结合中英文文献关键词发现, 药用植物干旱胁迫领域的研究热点侧重于次生代谢产物, 转录组和代谢组中基因的表达、分子的响应、代谢物的积累; 生理生化中植物的抗氧化活性等方面。

2.6 聚类分析

中文文献的关键词聚类共 9 大类 (S=0.988 7, Q=0.858 3)。次生代谢产物, 耐旱药用植物红

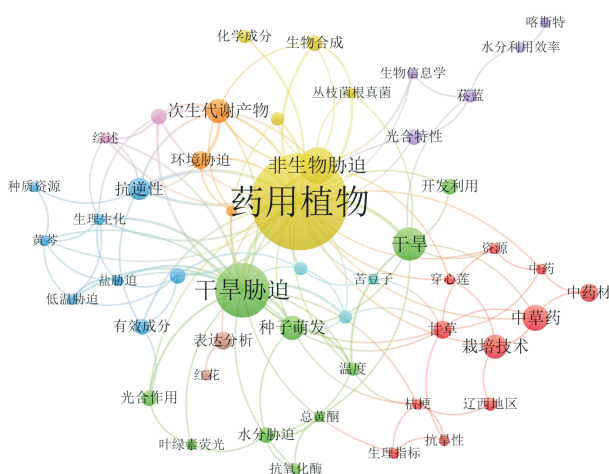


图 5 中文文献关键词共现网络图

Figure 5. Keyword co-occurrence network of Chinese literature

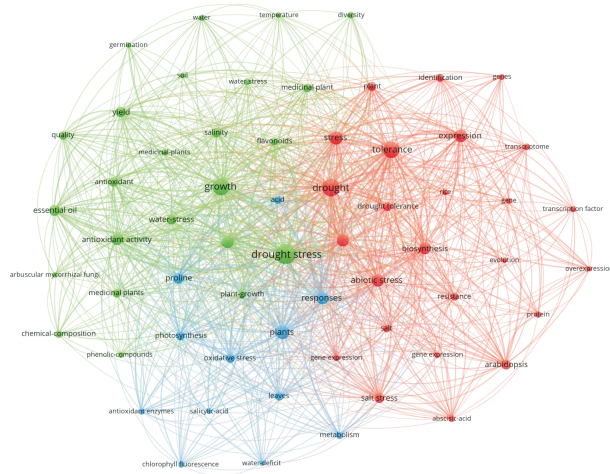


图 6 英文文献关键词共现网络图

Figure 6. Keyword co-occurrence network of English literature

花、草麻黄、有柄石韦等都是药用植物干旱胁迫重要的研究内容。#0 药用植物，是最大的聚类，主要的关键词包括：干旱胁迫、中草药、

栽培、化学成分等，反映中文药用植物干旱胁迫的研究主要集中在中草药栽培和化学成分两方面（表3）。

表 2 中英文文献关键词前 10 位

Table 2. Top 10 keywords of Chinese and English literature

序号	中文文献关键词	频次	英文文献关键词	频次
1	药用植物	63	drought stress (干旱胁迫)	314
2	干旱胁迫	28	drought (干旱)	241
3	非生物胁迫	16	growth (生长)	223
4	干旱	14	tolerance (耐受性)	217
5	中草药	10	stress (胁迫)	142
6	次生代谢产物	9	plants (植物)	138
7	种子萌发	9	expression (表达)	134
8	栽培技术	9	accumulation (积累)	119
9	抗逆性	8	secondary metabolites (次生代谢产物)	116
10	环境胁迫	6	abiotic stress (非生物胁迫)	114

表 3 中文文献关键词聚类汇总表

Table 3. Summary table of keyword clustering in Chinese literature

聚类	节点数	年份	主要关键词
#0 药用植物	31	2015	干旱胁迫、中草药、栽培、化学成分、苦豆子、开发
#1 干旱胁迫	28	2017	生理生化、生长发育、生理指标、生物量、光合参数
#2 红花	18	2021	非生物胁迫、表达分析、胁迫、代谢调控、响应机制
#3 中药材	14	2010	中药、云南、连续干旱、药材品种、中草药资源
#4 中草药	12	2014	技术、山间盆地、机械化技术、清热解毒、昭苏县
#5 干旱	11	2016	转录组、交叉胁迫、外源钙、基因
#6 草麻黄	9	2009	水分生理、光合速率、光合作用、日变化、抗性
#7 次生代谢产物	7	2020	生物合成、功能分布、转录因子、抗性、微生物多样性
#8 有柄石韦	5	2019	穗枝赤齿藓、氮含量、岩溶露石、喀斯特、生态修复

英文文献关键词聚类共 10 个大类 ($S=0.9431$, $Q=0.7935$)。每个聚类之间具有一定的重叠。#0 water stress 是规模最大的聚类，主要关键词包括：medicinal plant (药用植物)、green synthesis (绿色合成)、chlorophyll fluorescence (叶绿素荧光)。#1 medicinal plants 主要关键词包括：antioxidant capacity (抗氧化能力)、transcription factor (转录因子)、metabolome (代谢组) 等。英文药用植物干旱胁迫的研究主要侧重于基因表达、转录调控和化学成分生物合成几方面（表4）。

2.7 时间线图分析

对药用植物干旱胁迫研究的中英文文献进行关键词时间线图分析，结果见图7和图8。

时间线图分析显示，中文文献药用植物聚类的研究是从最初开始延续至 2025 年结束，且早期开始的主题至今仍是热点。此外，干旱胁迫、红

花、中草药、干旱相对于其他研究时间较长，近 5 年处于研究热点（图7）。英文文献中 water stress (水分胁迫)、gene expression (基因表达)、secondary metabolites (次生代谢产物)、salt stress (盐胁迫)、seed germination (种子萌发) 在 2020—2026 年一直都处于研究热点，表明国际对于药用植物干旱胁迫领域的研究热度总体保持稳定（图8）。

2.8 突现关键词分析

中文文献有 17 个突现关键词，出现最早的关键词是“中药”。中文突现关键词的发展过程大致可以分为两个阶段，第一阶段为 2005—2011 年，该阶段涉及的关键词主要有中药、干旱、开发利用等，主要是基础研究。第二阶段为 2013—2025 年，该阶段涉及的关键词主要有光合作用、转录因子、代谢组学等，表明随着科学技术的发

表 4 英文文献关键词聚类汇总表

Table 4. Summary table of keyword clustering in English literature

聚类	节点数	年份	主要关键词
#0 water stress (水分胁迫)	16	2022	medicinal plant、green synthesis、poultry manure compost、chlorophyll fluorescence (药用植物、绿色合成、禽粪堆肥、叶绿素荧光)
#1 medicinal plants (药用植物)	15	2021	antioxidant capacity、transcription factor、metabolome、stress tolerance (抗氧化能力、转录因子、代谢组、抗性)
#2 abiotic stress (非生物胁迫)	15	2021	oxidative stress、stress、growth rate、association analysis、ginsenosides、Brassica napus (氧化胁迫、胁迫、生长速率、关联分析、人参皂苷、甘蓝型油菜)
#3 gene expression (基因表达)	14	2021	expression patterns、gene family、protein、differential expression、allene oxide cyclase (表达模式、基因家族、蛋白质、差异表达、丙二烯氧化物环化酶)
#4 phenolic compounds (酚类化合物)	14	2021	antioxidant enzymes、climate change、verbascoside、salt stress、magnetopriming、agricultural productivity (抗氧化酶、气候变化、毛蕊花糖苷、盐胁迫、磁诱导萌发、农业生产力)
#5 secondary metabolites (次生代谢产物)	13	2021	drought stress、antioxidant activity、salicylic acid、salinity、Ocimum、Dendrobium denneanum (干旱胁迫、抗氧化活性、水杨酸、盐度、罗勒属、叠鞘石斛)
#6 salt stress (盐胁迫)	12	2021	arbuscular mycorrhizal fungi、ion homeostasis、osmotic stress、functional analysis (丛枝菌根真菌、离子稳态、渗透胁迫、功能分析)
#7 seed germination (种子萌发)	11	2022	genome-wide analysis、drought stress、salinity、phytohormone、Thymus daenensis (全基因组分析、干旱胁迫、盐度、植物激素、伊朗百里香)
#8 gene flow (基因流)	8	2021	transcriptional regulation、medicinal plants、flavonoid biosynthesis、soil nutrients、character evolution (转录调控、药用植物、黄酮类生物合成、土壤养分、性状进化)
#9 essential oil (挥发油)	6	2020	integrative application、total phenolic content、essential oil、chemical compositions、symbiosis、irrigation、potassium silicate (综合施用、总酚含量、挥发油、化学成分、共生作用、灌溉、硅酸钾)

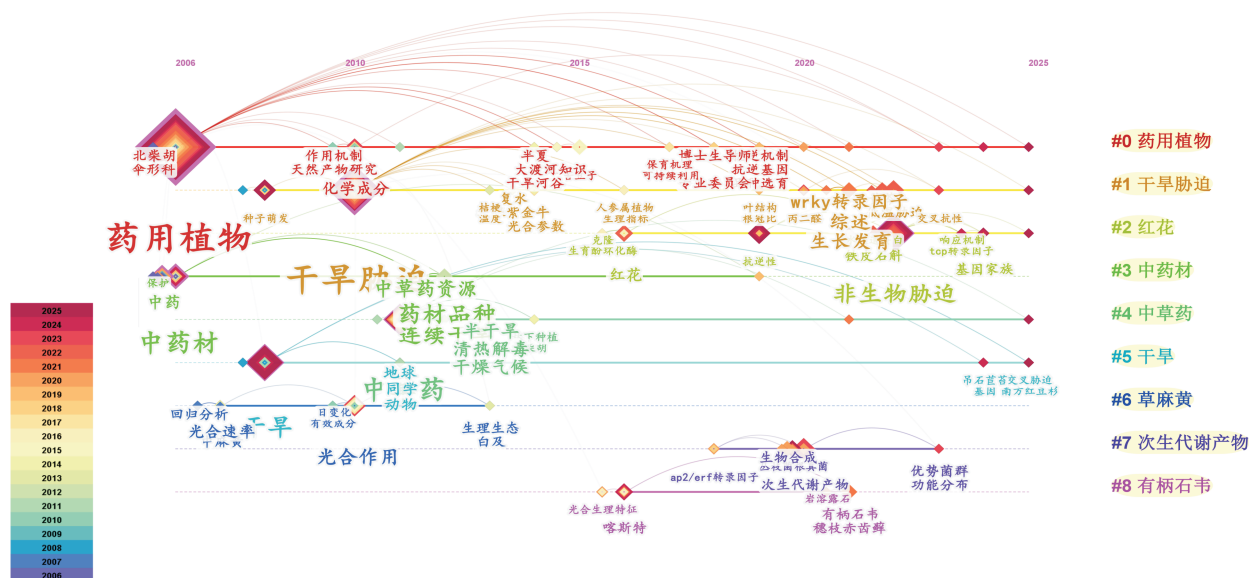


图 7 中文文献关键词时间线图

Figure 7. Keyword timeline of Chinese literature

展，药用植物干旱胁迫领域的研究热点在以前的基础上增加了分子层面的研究 (图9)。

英文文献获得了 16 个突现关键词，突现强度较高的是 water deficit (水分亏缺)、heat stress (热胁迫)、essential oils (挥发油)、defense (防

御) 等。可见国际对于药用植物干旱胁迫研究领域的研究并不单一只研究水分胁迫，干旱常常也伴随着高温，在干旱胁迫研究中水分胁迫和热胁迫的协同研究也是国际研究的一大热点 (图 10)。

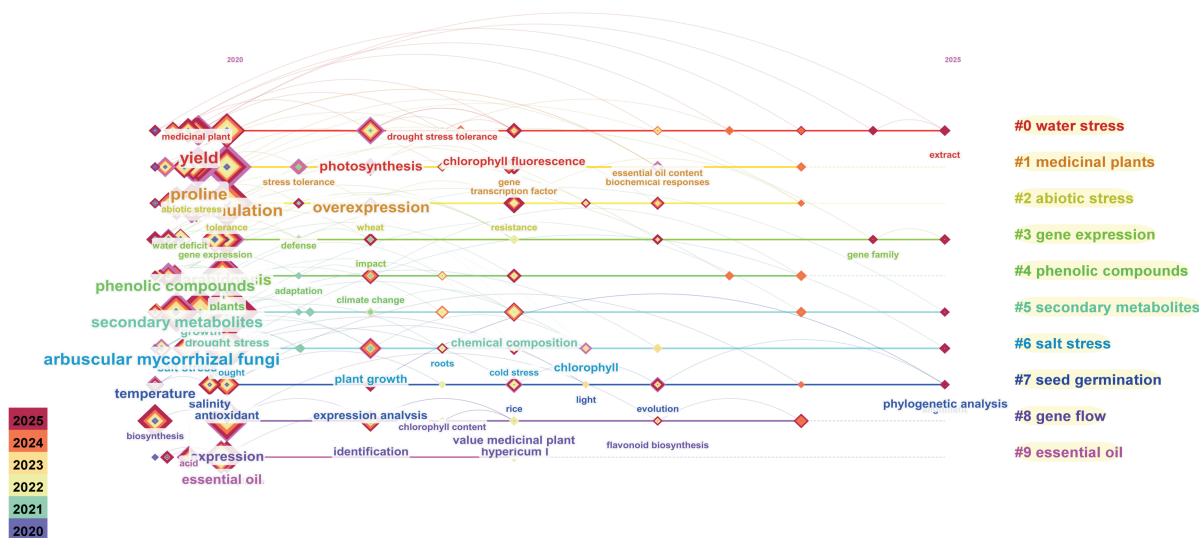


图8 英文文献关键词时间线图
Figure 8. Keyword timeline of English literature

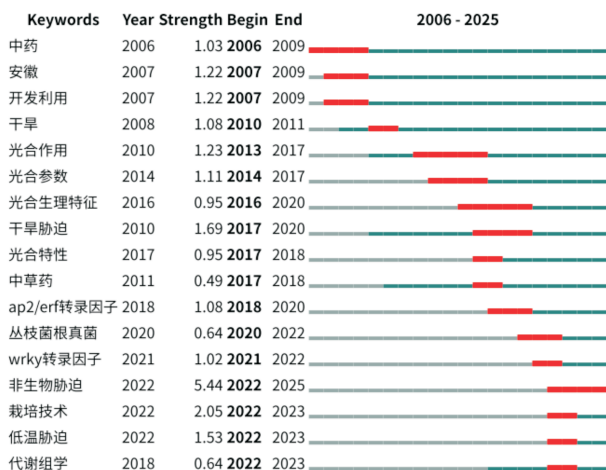


图9 中文文献关键词突现图谱
Figure 9. Keyword burst detection map of Chinese literature

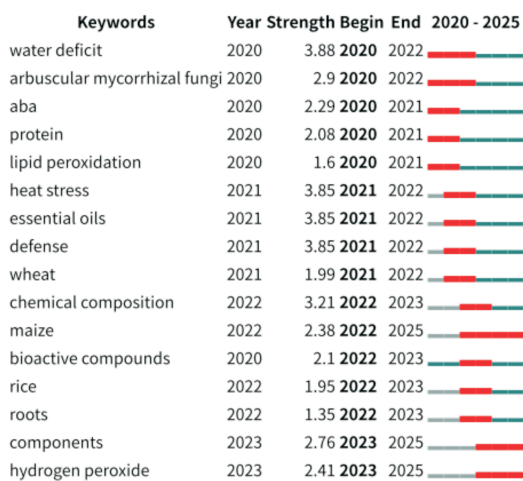


图10 英文文献关键词突现图谱
Figure 10. Keyword burst detection map of English literature

3 讨论

本研究运用文献计量学的方法，系统梳理了该领域的研究现状、合作特征、热点方向及发展演变规律。从文献产出特征来看，近20年该领域国内研究未曾间断，呈平缓增长趋势；2020年后中文文献发文量显著提升，反映国内关注度逐步提高。英文文献累计产出和年均产出均显著高于中文，表明该领域是国际长期关注的热点，中英文文献产出差异既与国际研究起步更早、体系更完善有关，也反映出研究者更倾向在英文期刊发表成果，提示国内需加强研究投入与本土化传播。

从作者与机构合作网络特征分析，该领域研究以团队协作为核心，但存在团队间独立性强、跨团队与跨机构合作不足的共性问题。中文文献形成3个核心合作群，以郭兰萍、黄璐琦等为代表，依托中医药科研院所，呈现区块化特征；英文核心团队以国内作者为主，国外作者参与度较低，表明国内学者已占据一定国际地位，但深度合作国际合作仍需拓展。机构合作方面，中英文均较为分散，但英文合作强度显著高于中文。Chinese Academy of Sciences（中国科学院）是该领域发文量最高的机构合作中心；中文核心发文机构以中国中医科学院中药研究所、中国医学科学院药用植物研究所等为主，多为单一机构研究，跨院校、跨学科协同较少。未来需打破机构壁垒，加强中医药院校、生态研究所、农业科学院等多类型机构的跨学科合作，并深化国际交流。

从研究热点与方向来看,次生代谢产物是中英文文献的共同高频关键词,研究核心均围绕次生代谢产物展开,而药用植物的次生代谢产物常被定义为中医的药效成分^[9]。研究表明,适度的干旱胁迫可在不降低产量的情况下提高药用植物品质^[10]。同时,干旱胁迫也会严重影响植物代谢过程,进而影响植物体内有效成分的积累与合成^[11]。赵楷等^[12]研究表明,干旱胁迫可短期内促进北苍术次生代谢物含量的提升。孙金等^[13]研究发现,在中度干旱胁迫下,北苍术中3种倍半萜类成分含量显著增加。适度的干旱会影响甘草^[14]、黄花蒿^[15]、粉葛^[16]、钩藤^[17]等有效成分的含量。以上研究均证实干旱胁迫有利于有效成分积累,与黄璐琦等^[18]提出的道地药材品质形成的逆境效应理论相吻合。

中文文献研究方向涵盖栽培技术、光合作用、生理生化指标等,较为全面但尚未形成精细化的研究体系。其中干旱胁迫常常会通过影响药用植物的气孔因素从而影响其光合作用^[19]。例如,干旱胁迫对七叶一枝花^[20]、红花玉兰^[21]、黄芩^[22]等药用植物的光合作用产生了一定的抑制作用。英文文献则聚焦于分子机制与生理生化研究,围绕基因表达、转录组、代谢组等方向展开,且关联性较强,形成了从“胁迫响应-基因调控-代谢物合成-品质形成”的研究体系。此外,关键词时间线图分析显示,近5年分子层面的研究是国内外共同的发展趋势。随着多组学技术的发展,利用其技术不仅可以获取药用植物从细胞到个体水平的生长发育动态化信息,还能为揭示药用植物在非生物胁迫下生长发育的复杂机制提供新思路^[23]。现今该领域对于转录因子的研究是一大热点,HD-Zip转录因子家族在调控植物生长和对环境胁迫的响应中起重要作用^[24]。Xu等^[25]研究表明,*ThMYB4*和*ThMYB7*可能作为类黄酮生物合成的调节因子。代谢组学常被运用于研究药用植物有效成分的代谢途径和相关调控机制^[26-27]。如运用代谢组学发现干旱胁迫下黄芩中黄酮类成分变化规律和木麻黄中植物信号传导和有效成分生物合成的调控机制^[28-29]。

关键词突现分析显示,该领域研究呈现从基础研究向分子层面深入、从单一胁迫向复合胁迫拓展的趋势。中文文献研究分为两个阶段:2005—2011年以中药、干旱、开发利用等基础研究为主;

2013—2025年逐步引入光合作用、转录因子、代谢组学等,实现从生理层面向分子层面的跨越。英文文献则呈现出复合胁迫研究与精准机制研究的双重特征,*water deficit*、*heat stress*等突现关键词表明国际研究已突破单一干旱胁迫,关注干旱与高温的协同效应;*essential oils*、*defense*、*gene expression*等关键词进一步证实国际研究已深入到防御机制、次生代谢产物合成的分子调控等精准领域。

综上,中英文文献研究虽存在产出规模、研究侧重点的差异,但核心研究方向高度一致,均以次生代谢产物为研究核心,围绕药用植物干旱胁迫下的生理响应、品质形成展开,多组学技术联合分析已成为该领域的主流研究方法。国内该领域研究近年来关注度显著提升,学者与机构在国际研究中占据一定地位,但存在产出规模较小、团队与机构间合作不足、研究精细化程度有待提高等问题;国际研究则形成了更加完善的研究体系,复合胁迫研究、分子调控机制成为核心方向,为国内研究提供重要参考。但文献样本存在一定局限,本研究数据均来自公开学术数据库,未纳入灰色文献、未刊手稿等类型,可能存在文献遗漏。

药用植物干旱胁迫整体研究呈持续增长态势,且正逐步从宏观生理层面向微观分子层面深入、从单一胁迫研究向复合胁迫研究拓展。未来药用植物干旱胁迫领域的研究可从以下方面展开:一是加强跨团队、跨机构、跨国际的深度合作,整合多学科资源,形成协同研究体系;二是依托多组学技术开展精准机制研究,深入解析干旱胁迫下药用植物次生代谢产物合成的分子调控网络,揭示其抗旱与品质形成的核心机制;三是开展复合胁迫研究,结合全球气候变化特征,探究干旱与高温、盐渍等非生物胁迫的协同效应,更加贴合实际生境为药用植物栽培提供理论支撑;四是强化研究成果的实际应用,将分子机制研究与栽培技术改良相结合,通过外源调控、种质资源筛选等方式提高药用植物的抗旱性,保障其产量与品质,实现药用植物资源的可持续利用。

参考文献

- 1 贾俊英. 水分调控下药用植物生长及药效物质积累研究进展[J]. 内蒙古民族大学学报(自然科学版), 2025, 40(1): 1-6. [Jia JY. Research progress on the growth of medicinal plants and the

- accumulation of effective substances under water regulation[J]. Journal of Inner Mongolia Minzu University (Natural Sciences), 2025, 40(1): 1–6.] DOI: [10.14045/j.cnki.15-1220.2025.01.001](https://doi.org/10.14045/j.cnki.15-1220.2025.01.001).
- 2 崔文婷, 孟玉山, 张昱, 等. 药用植物干旱胁迫响应研究进展[J]. 南方农业, 2019, 13(S1): 151–156. [Cui WT, Meng YS, Zhang Y, et al. Advances of research on response of medicinal plants to drought stress[J]. South China Agriculture, 2019, 13(S1): 151–156.] DOI: [10.19415/j.cnki.1673-890x.2019.S1.049](https://doi.org/10.19415/j.cnki.1673-890x.2019.S1.049).
 - 3 吕秉鼎, 王宏斌, 靳红磊. 逆境改良药用植物研究进展[J]. 中国科学: 生命科学, 2025, 55(6): 1233–1251. [Lyu BD, Wang HB, Jin HL. Research progress in the stress-improved medicinal plants[J]. Science in China (Series C), 2025, 55: 1233–1251.] DOI: [10.1360/SSV-2024-0125](https://doi.org/10.1360/SSV-2024-0125).
 - 4 Tan U, Gören HK. Comprehensive evaluation of drought stress on medicinal plants: a meta-analysis[J]. PeerJ, 2024(12): e17801. DOI: [10.7717/peerj.17801](https://doi.org/10.7717/peerj.17801).
 - 5 王文涛, 魏蓉, 徐幸酬, 等. 不同水分和光照处理对走马胎生理生化特性的影响[J]. 广西科学院学报, 2023, 39(4): 403–411. [Wang WT, Wei R, Xu XC, et al. Effects of different water and light treatments on physio-biochemical characteristics of ardisia kteniophylla[J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2023, 39(4): 403–411.] DOI: [10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20231226.007](https://doi.org/10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20231226.007).
 - 6 史雅红, 王敏, 王一鑫, 等. 基于文献计量学的中药材质量评价研究现状与发展趋势的可视化分析[J]. 中草药, 2025, 56(9): 3222–3233. [Shi YH, Wang M, Wang YX, et al. Visualized analysis of research status and development trend on quality evaluation of traditional Chinese medicinal materials based on bibliometrics[J]. Chinese Herbal Medicines, 2025, 56(9): 3222–3233.] DOI: [10.7501/j.issn.0253-2670.2025.09.019](https://doi.org/10.7501/j.issn.0253-2670.2025.09.019).
 - 7 陈悦, 陈超美, 刘则渊, 等. CiteSpace 知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242–253. [Chen Y, Chen CM, Liu ZY, et al. The methodology function of CiteSpace mapping knowledge domains[J]. Studies in Science of Science, 2015, 33(2): 242–253.] DOI: [10.16192/j.cnki.1003-2053.2015.02.009](https://doi.org/10.16192/j.cnki.1003-2053.2015.02.009).
 - 8 魏欣, 纪瑞锋, 徐娟, 等. 基于 VOSviewer 和 CiteSpace 知识图谱对绞股蓝研究热点与趋势分析[J]. 中草药, 2024, 55(9): 3064–3076. [Wei X, Ji RF, Xu J, et al. Analysis of research hotspots and trends in *Gynostemma pentaphyllum* based on VOSviewer and CiteSpace knowledge graph[J]. Chinese Herbal Medicines, 2024, 55(9): 3064–3076.] DOI: [10.7501/j.issn.0253-2670.2024.09.020](https://doi.org/10.7501/j.issn.0253-2670.2024.09.020).
 - 9 杨光, 苏芳芳, 李新月, 等. 从中药营养物质活性探讨中医药发展[J]. 中国现代中药, 2022, 24(12): 2295–2301. [Yang G, Su FF, Li XY, et al. Discussion on development of Chinese medicine based on activity of its nutrient substances[J]. Modern Chinese Medicine, 2022, 24(12): 2295–2301.] DOI: [10.13313/j.issn.1673-4890.20220831003](https://doi.org/10.13313/j.issn.1673-4890.20220831003).
 - 10 Abdollahi Mandoulakani B, Eyvazpour E, Ghadimzadeh M. The effect of drought stress on the expression of key genes involved in the biosynthesis of phenylpropanoids and essential oil components in basil (*Ocimum basilicum* L.)[J]. Phytochemistry, 2017, 139: 1–7. DOI: [10.1016/j.phytochem.2017.03.006](https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2017.03.006).
 - 11 黄林芳, 李文涛, 王珍, 等. 濒危高原植物羌活化学成分与生态因子的相关性[J]. 生态学报, 2013, 33(24): 7667–7678. [Huang LF, Li WT, Wang Z, et al. Correlative study between chemical constituents and ecological factors of *Notopterygii Rhizoma Et Radix* of endangered plateau plant[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(24): 7667–7678.] DOI: [10.5846/stxb201209221337](https://doi.org/10.5846/stxb201209221337).
 - 12 赵楷, 姚杰, 于鹏程, 等. 干旱提高北苍术药材质量的生物学机制[J]. 中国实验方剂学杂志, 2023, 29(13): 180–187. [Zhao K, Yao J, Yu PC, et al. Biological mechanism of drought improving quality of *Rhizoma Atractylodis Chinensis*[J]. Chinese Journal of Experimental Traditional Medical Formulae, 2023, 29(13): 180–187.] DOI: [10.13422/j.cnki.syfjx.20230514](https://doi.org/10.13422/j.cnki.syfjx.20230514).
 - 13 孙金, 翁丽丽, 肖春萍, 等. 干旱胁迫对北苍术 3 种倍半萜类成分积累及生物合成关键酶基因表达的影响[J]. 中药材, 2021, 44(4): 812–817. [Sun J, Weng LL, Xiao CP, et al. Effects of drought stress on accumulation of three sesquiterpenoids and gene expression of key enzymes in biosynthesis of *Atractylodes chinensis*[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2021, 44(4): 812–817.] DOI: [10.13863/j.issn1001-4454.2021.04.008](https://doi.org/10.13863/j.issn1001-4454.2021.04.008).
 - 14 刘长利, 王文全. 干旱胁迫对甘草酸积累影响的物质组分分配研究[J]. 中国中药杂志, 2008, 33(23): 2852–2853. [Liu CL, Wang WQ. Study on the distribution of substance components affected by drought stress on the accumulation of glycyrrhizic acid[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2008, 33(23): 2852–2853.] DOI: [10.3321/j.issn:1001-5302.2008.23.025](https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-5302.2008.23.025).
 - 15 Shahrajabian MH, Kuang Y, Cui HR, et al. Metabolic changes of active components of important medicinal plants on the basis of traditional Chinese medicine under different environmental stresses[J]. Curr Org Chem, 2023, 27(9): 782–806. DOI: [10.2174/1385272827666230807150910](https://doi.org/10.2174/1385272827666230807150910).
 - 16 李鑫, 敖志超, 周洁, 等. 粉葛生理特性对干旱胁迫的响应[J]. 分子植物育种, 2023, 21(15): 5110–5121. [Li X, Ao ZC, Zhou J, et al. Responses of physiological characteristics of *Pueraria montana* var. *thomsonii* to drought stress[J]. Molecular Plant Breeding, 2023, 21(15): 5110–5121.] DOI: [10.13271/j.mpb.021.005110](https://doi.org/10.13271/j.mpb.021.005110).
 - 17 张智仙, 王晓红, 李雪, 等. 土壤自然干旱处理对钩藤生长与生理特征及主要药用成分积累的影响[J]. 西北植物学报, 2020, 40(4): 658–666. [Zhang ZX, Wang XH, Li X, et al. Effect of soil natural drought on growth, physiological characteristics and accumulation of main medicinal components of *Uncaria rhynchophylla*[J]. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2020, 40(4): 658–666.] DOI: [10.7606/j.issn.1000-4025.2020.04.0658](https://doi.org/10.7606/j.issn.1000-4025.2020.04.0658).
 - 18 黄璐琦, 郭兰萍. 环境胁迫下次生代谢产物的积累及道地药材的形成[J]. 中国中药杂志, 2007, 42(4): 277–280. [Huang LQ, Guo LP. Secondary metabolites accumulating and geoherts formation under environmental stress[J]. China Journal of Chinese Materia Medica, 2007, 42(4): 277–280.] DOI: [10.3321/j.issn:1001-5302.2007.04.021](https://doi.org/10.3321/j.issn:1001-5302.2007.04.021).
 - 19 Xu ZZ, Jiang YL, Jia BR, et al. Elevated CO₂ response of stomata and its dependence on environmental factors[J]. Front Plant Sci, 2016, 7: 657. DOI: [10.3389/fpls.2016.00657](https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00657).
 - 20 梁娟, 郭泽宇, 叶漪. 不同土壤水分条件对七叶一枝花光合特性及有效成分皂苷含量的影响[J]. 植物生理学报, 2014, 50(1):

- 56–60. [Liang J, Guo ZY, Ye Y. Effects of different soil moisture conditions on photosynthetic characteristics and effective content of saponin of *Paris polyphylla*[J]. Plant Physiology Journal, 2014, 50 (1): 56–60.] DOI: 10.13592/j.cnki.ppj.2014.01.006.
- 21 桑子阳, 马履一, 陈发菊. 干旱胁迫对红花玉兰幼苗生长和生理特性的影响[J]. 西北植物学报, 2011, 31(1): 109–115. [Sang ZY, Ma LY, Chen FJ. Growth and physiological characteristics of *Magnolia wufengensis* seedlings under drought stress[J]. Acta Botanica Boreali–Occidentalia Sinica, 2011, 31(1): 109–115.] <https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/CihQZXJpb2RpY2FsQ0hJU29scjkyMDI2MDYxMDIwMjYwNjEwMTYxMjM4Eg94Ynp3eGIyMDEwMDEwMTgaCHJvb3F2aWph>.
- 22 陈雨森. 水分胁迫下黄芩生长特性及生理响应研究[D]. 太原: 山西农业大学, 2024. DOI: 10.27285/d.cnki.gsxnu.2024.000599.
- 23 杨泽敏, 高旦, 王业, 等. 多组学技术揭示药用植物逆境响应及次生代谢调控机制的研究进展[J]. 中药材, 2024, 47(4): 1062–1070. [Yang ZM, Gao D, Wang Y, et al. Research progress in multi–omics technologies revealing stress responses and secondary metabolism regulation mechanisms of medicinal plants[J]. Journal of Chinese Medicinal Materials, 2024, 47(4): 1062–1070.] DOI: 10.13863/j.issn1001–4454.2024.04.043.
- 24 Zhu YH, Peng SP, Zhao L, et al. Genome–wide identification and characterization of the HD–Zip gene family and expression analysis in response to stress in *Rehmannia glutinosa* Libosch[J]. Plant Signal Behav, 2022, 17(1): 2096787. DOI: 10.1080/15592324.2022.2096787.
- 25 Xu HS, Dai X, Hu X, et al. Phylogenetic analysis of R2R3–MYB family genes in *tetrastigma hemsleyanum* diels et gilg and roles of ThMYB4 and ThMYB7 in flavonoid biosynthesis[J]. Biomolecules, 2023, 13(3): 531. DOI: 10.3390/biom13030531.
- 26 Ning ZC, Lu C, Zhang YX, et al. Application of plant metabonomics in quality assessment for large–scale production of traditional Chinese medicine[J]. Planta Med, 79(11): 897–908. DOI: 10.1055/s–0032–1328656.
- 27 Xie GX, Ni Y, Su MM, et al. Application of ultraperformance LC–TOF/MS metabolite profiling techniques to the analysis of medicinal panax herbs[J]. Metabolomics, 2008, 4(3): 248–260. DOI: 10.1007/s11306–008–0115–5.
- 28 管仁伟, 郭瑞齐, 林慧彬, 等. 基于植物代谢组学技术的干旱及盐胁迫对黄芩中黄酮类成分影响的研究[J]. 中草药, 2022, 53(5): 1504–1511. [Guan RW, Guo RQ, Lin HB, et al. Effects of drought and salt stress on flavonoids in *Scutellaria baicalensis* based on plant metabonomics[J]. Chinese Herbal Medicines, 2022, 53(5): 1504–1511.] https://kns.cnki.net/kcms2/article/abstract?v=Wd02d9JSrf8ZZ7–t6mbA91zc5o_W5Ub6F_T0AIRTsbbOe6jS9bT9n8o4frUH3vEdqq1AAfV7iOqNko–bRRZq_MkhI4taMmjlrk1R37ktDczfS4QUoznxWM_1BOSix4WFj3lWR6Du2IB044C2GfGS_j8uF–3rPRmhoXEqDkWPaqSUV8ocfWGOiw==&uniplatform=NZKPT&language=CHS.
- 29 Zhang SK, He CM, Wei L, et al. Transcriptome and metabolome analysis reveals key genes and secondary metabolites of *Casuarina equisetifolia* ssp. *incana* in response to drought stress[J]. BMC Plant Biology, 2023, 23(1): 200. DOI: 10.1186/s12870–023–04206–x.

收稿日期: 2025 年 12 月 12 日 修回日期: 2026 年 04 月 21 日

本文编辑: 李 阳 洗静怡