doi:10. 3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 06. 016

基于文献计量学的植物耐阴能力研究进展

刘 宾[1],尹清苓[2],张利源[3],张 龙[3],蒋 斌[2],刘 浩[4],圣倩倩[4,5],喻 凯[4],邹 蒙[4],祝遵凌[4,5]
(1. 青岛市工程咨询院,山东 青岛 266035; 2. 青岛市市政工程设计研究院有限责任公司,山东 青岛 266100;
3. 青岛城发城市更新有限公司,山东 青岛 266100; 4. 南京林业大学,江苏 南京 210037;
5. 南京林业大学 金埔研究院,江苏 南京 211113)

摘要:运用文献计量方法并借助 VOSviewer 计量程序,对中国知网和 WOS 文献数据库近 33 年来的植物耐阴性研究文献进行统计与可视化分析。结果表明,中英文文献数量整体上均趋于稳步增长,2000 年以后中文文献平均每年增长 63.8 篇,英文文献平均每年增长 108.2 篇;发文作者间的联系与合作紧密性不强,高被引文献的发表时间主要分布在 2015 年之前;发文贡献以中国、美国和德国为核心,发文量占据全部文献的 40.3%,研究机构的发文量以中国科学院占据主导;英文高频关键词前 20 位总出现频次约为中文关键词的 3.03 倍;分析关键词网络共呈图谱发现,国内外在研究热点与关键内容上关注视角较为相似,但国外对于植物耐阴的研究更加成熟。

关键词:植物耐阴能力;文献计量方法;被引频次;发文量;高频关键词;VOSviewer 软件

中图分类号:S718.43;G350　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1671-3168(2025)06-0116-09

引文格式:刘宾,尹清苓,张利源,等. 基于文献计量学的植物耐阴能力研究进展[J]. 林业调查规划,2025,50(6):116-124. doi:10.3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 06. 016

LIU Bin, YIN Qingling, ZHANG Liyuan, et al. Research Progress on Plant Shade Tolerance Based on Bibliometrics[J]. Forest Inventory and Planning, 2025, 50(6): 116-124. doi:10.3969/j. issn. 1671-3168. 2025. 06. 016

Research Progress on Plant Shade Tolerance Based on Bibliometrics

LIU Bin[1], YIN Qingling[2], ZHANG Liyuan[3], ZHANG Long[3], JIANG Bin[2], LIU Hao[4], SHENG Qianqian[4,5], YU Kai[4], ZOU Meng[4], ZHU Zunling[4,5]
(1. Qingdao Engineering Consulting Institute, Qingdao, Shandong 266035, China; 2. Qingdao Municipal Engineering Design and Research Institute Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266100, China; 3. Qingdao Chengfa Urban Renewal Co., Ltd., Qingdao, Shandong 266100, China; 4. Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China; 5. Jinpu Research Institute, Nanjing Forestry University, Nanjing 211113, China)

Abstract: The bibliometric methods and the VOSviewer software were used to statistically and visually analyze the literature on plant shade tolerance from the CNKI and WOS databases over the past 33 years. The results showed that the number of both Chinese and English literature tended to grow steadily as a whole, with an average annual growth of 63.8 articles in Chinese literature and 108.2 articles in English literature after 2000; the linkage and cooperation between issuing authors were not strong, and the publication time of highly cited literature was mainly distributed before 2015; the core contributing countries were China, the United States, and Germany, with the amount of issuing literature occupying 40.3% of

收稿日期:2024-08-07;修回日期:2024-10-27
第一作者:刘宾(1986-),男,高级工程师. 从事咨询管理工作. Email:liubinzxy@163.com
责任作者:尹清苓(1986-),女,高级工程师. 从事园林设计工作. Email:yinql888@163.com

all literature, and the amount of publications from research institutions was dominated by the Chinese Academy of Sciences; the total occurrence frequency of the top 20 English high-frequency keywords was about 3.03 times that of the Chinese keywords; the keyword co-occurrence network found that domestic and foreign countries focused on similar hotspots and key topics, but foreign research on plant shade tolerance was more mature.

Key words: plant shade tolerance; bibliometric method; frequency of citation; amount of publications; high-frequency keywords; VOSviewer software

植物耐阴能力作为复合性状[1],其研究伴随着光照强度、植物光合作用及植物生理分子机制等的讨论。光在植物全过程生长发育中发挥着不可替代的作用[2],有关植物耐阴能力强弱的研究也是从光照强度的大小与光照时间的长短两个角度出发去深入探讨,基于植物对光的需求不同划分了需光植物与耐阴植物等类别[3-4]。研究表明,耐阴植物在弱光环境下需要提高光能利用效率以保证其正常生长。但若处于强光条件下,则需增加植物正常生长发育光能外的多余光能的消耗。长期的光胁迫会引起对光需求不强的植物发生光抑制或光损伤[5],但某些耐阴物种可能会通过增强电子传递等方式[6]提高光能利用率去减少或解决光损伤问题。

关于植物耐阴的关注点与研究点还包含植物形态[7]、生理特征[8]、物候环境以及耐阴的适应机理等。有研究尝试通过系统试验与剂量—反应曲线(DRcS)了解不同植物在生长过程中光照的长期响应[9]。例如“强光生长”植物与“弱光生长”植物的比较研究,但因试验环境与实验过程的不一致性可能导致不同的研究结果,因此,植物对不同光环境的研究发展需更深一步[10]。植物耐阴能力的研究既包括短时间内植物内部各因素的迅速响应,也包括长时间植物生长的各因子的缓慢变化。特别是对于大尺度下的植物群落结构演替[11]与梯度分化[12],耐阴性差的植物物种往往需要良好的光照环境保证最低生存条件及种群更新。而对于耐阴植物需通过减少叶片丛集程度获取更大的叶面积等方式去提高光能利用效率[13-14]。无论是从植物利用还是更大尺度的森林群落角度,梳理植物耐阴能力的研究进展和探究其发展趋势是目前重要的研究内容。

文献数据计量是以文献为基础数据,获取文献中各信息后预测其变化并进行网络图谱关系的规律分析,目前已广泛应用于各个研究领域[15-17]。本文基于国内外研究文献,通过将数据库文献转化为可量化的文献数据并使用文献计量方法对文献处理后进行可视化分析,目的在于对植物耐阴能力研究的相关领域进行定性与定量结合的全面精准统计分析,得出当下相对准确的研究进展和研究热点。根据文献计量方法量化研究进展去了解国内外植物耐阴研究现状,并以此为抓手和参考为现有研究和未来趋势提供借鉴。

1 数据来源

研究所用中文文献数据均来源于 CNKI(中国知网)数据库,并使用其提供的中国学术期刊全文数据库。选择高级检索,考虑到文献检索的针对性与准确性是非常重要因素,选择主题较为贴合的“植物+耐阴”和“植物+弱光”组合进行检索,时间上选择 1990—2023 年的“全部期刊”。以“植物+耐阴”为主题共检索到 599 条文献数据,以“植物+弱光”为主题共检索到 1 033 条文献数据,CNKI(中国知网)数据库文献导出形式采用 Refworks 数据存储格式。研究所用外文文献全部来源于 Web of Science (WOS)核心数据集,并选用核心数据集中的 SCI-E 和 SSCI 数据库进行检索。TS 以=(Plants AND Shade-Tolerance OR Plants AND Low Light)作为检索式,检索的文献类型包括 Article 和 Review 两种。时间跨度与 CNKI 检索时间一致,对 1990—2023 年间发表的研究论文进行检索。将检索所得文献以“全记录与引用的参考文献”格式导出,共检索出 2 489 篇。

2 研究方法

文献计量方法是通过数学、统计学等方法或模型将文献量化为数据形式研究文献数据的分布结构、关联关系和变化趋势[18]。本研究文献数据处理使用 VOSviewer 可视化程序,VOSviewer 是一款基于计算机编程语言 Java 环境的可视化工具,能够将获取的文献数据以图形或图表形式展现,并对数据进行聚类等可视化分析。VOSviewer 应用较多的方式主要是在文献数据库中将各个文献数据从国家、学

术机构、作者、期刊名和关键词中提取关键信息后深入分析呈现出可视化研究结果[19]。VOSviewer作为计量研究的重要产物和工具,在国家、机构、作者等合作关系及科学、科技政策研究中提供较强的图谱呈现能力[20-21],并且能构建出研究者在进行相关研究领域与研究方向的文献发掘与深入分析后的知识网络图谱。

3 结果与分析

3.1 年度发文量分析

论文的数量变化可较为清晰地表现特定领域研究的发展阶段、研究规模及成熟程度[22-23]。根据年份对国内外共4 121篇文献数据进行时间序列的趋势分析(图1)。

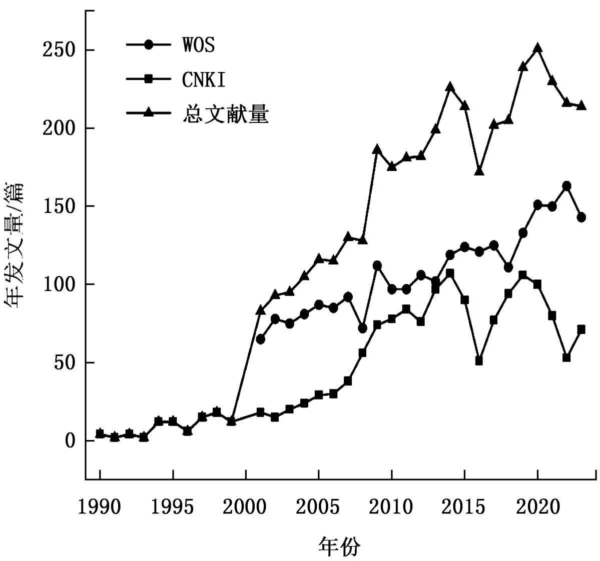


图1 1990—2023年植物耐阴能力研究发文量

Fig.1 Amount of publications on plant shade tolerance from 1990 to 2023

分析图1发现,剔除个别年份的文献后,国内的植物耐阴研究文献从1990年开始呈逐年稳步上升态势,但在2000年以前国内关于植物耐阴能力的相关研究年度发文量一直在20篇以下,2000年以后研究文献的数量继续增长,但发文量低于100篇,且在2015年和2022年两个时间节点表现出起伏。国外的相关研究在2000年以前很少出现与植物耐阴能力相关的文献产出,但在研究初期就展现出较高的产出水平。例如2001年时,与同时期的CKNI的18篇文献发文量相比,WOS的发文量已达到65篇,并随时间的推移WOS数据库文献发文量始终高于CKNI的文献发文量,2010年以后WOS的年度发文量基本维持在100篇以上,在个别时间节点上数量会出现波动,但整体上WOS的文献发文量仍表现出缓步增长趋势。

3.2 被引频次分析

通常情况下影响文献质量的因素较多,一篇高质量论文包含了科学系统的元素与因果关系,但文章的被引频次在一定程度上反映出其受关注程度及学者对文章代表性观点的认同[24]。本研究在1990—2023年规定的时间尺度下遴选出CNKI数据库与WOS核心数据集中的被引频次最高的论文(表1)。

从被引频次总量的角度发现,CNKI数据库中的中文文献被引频次排名前5位的文章总被引量为1 697次。中文文献中被引量最高的是战吉宬于2003年发表在《植物学通报》的题为植物弱光逆境生理研究综述文献,被引次数达406次。WOS核心数据集获取的文献数据被引频次排名前5位的被引总量为5 833次,约为中文文献被引总量的3.437倍。

由表1可知,国外植物耐阴研究的高被引文献无论是个体被引量还是总被引频次均高于国内相关研究,特别是Reich,PB发表的论文*The world-wide 'fast-slow' plant economics spectrum:a traits manifesto*,该篇文献于2014年发表在*JOURNAL OF ECOLOGY*期刊上,目前被引频次已达2 131次。

3.3 发文作者分析

利用WOS及CNKI数据库中根据特定要求筛选出的中英文文献数据,通过不同的文件格式分别导入VOSviewer中进行作者合作关系可视化分析,设置作者最低发文频次为2次(图2)。

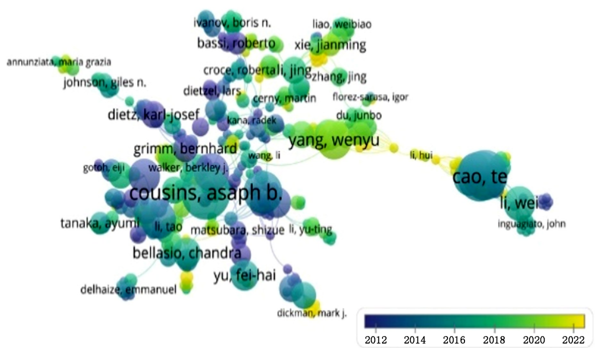
由图2可知,cousins,asaph b,cao,te,huang,wei,aro,eva-mari等分布于合作网络的密集区域中心,但各作者之间合作网络的离散度较高,WOS数据库中发文量前10位作者的个体发文量占全部研究文献的比例较低,植物耐阴相关研究内容的文献数量虽然较多,但不同研究者的研究内容较为割裂,合作程度较低。且位于合作网络中心的作者发文量为9~13篇,作者整体论文产出不高(表2)。

由表2可知,产出文献最高的作者cousins, asaph b的文献主要研究内容集中于光合作用中微观指标对植物生理的响应、植物内在生理变化与植物表征之间的关系、低光环境对植物生长效率及适应性的影响等,最新文献为发表在《植物生理学》上的主题有关丙酮酸、磷酸二激酶Setaria viridis中C4光合作用的响应的研究。CNKI数据库中作者发文量前10

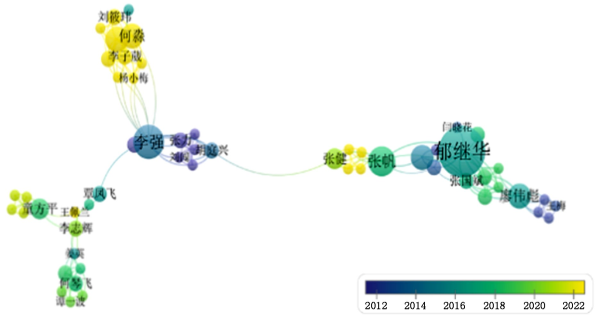
表 1　CNKI 和 WOS 数据库被引频次排名前 5 位文献

Tab. 1　Top 5 cited literature from the CNKI and WOS databases

文献数据库	序号	标题	作者	来源期刊	年份	被引频次
CNKI	1	植物弱光逆境生理研究综述	战吉宬	植物学通报	2003	406
	2	植株叶片的光合色素构成对遮阴的响应	孙小玲	植物生态学报	2010	363
	3	遮阴对连翘光合特性和叶绿素荧光参数的影响	王建华	生态学报	2011	331
	4	四种热带雨林树种幼苗比叶重,光合特性和暗呼吸对生长光环境的适应	冯玉龙	生态学报	2002	319
	5	不同光照对植物生长、生理生化和形态结构影响的研究进展	王艺	山地农业生物学报	2010	278
WOS	1	The world-wide ‘fast-slow’ plant economics spectrum: a traits manifesto	Reich P B	*JOURNAL OF ECOLOGY*	2014	2131
	2	Shade tolerance, a key plant feature of complex nature and consequences	Valladares F	*ANNUAL REVIEW OF ECOLOGY EVOLUTION AND SYSTEMATICS*	2008	1027
	3	Photosynthetic acclimation of plants to growth irradiance: the relative importance of specific leaf area and nitrogen partitioning in maximizing carbon gain	Evans J R	*PLANT CELL AND ENVIRONMENT*	2001	866
	4	Community assembly and shifts in plant trait distributions across an environmental gradient in coastal California	Cornwell W K	*ECOLOGICAL MONOGRAPHS*	2009	855
	5	Firefly luciferase complementation imaging assay for protein-protein interactions in plants	Chen H M	*PLANT PHYSIOLOGY*	2008	849



(a) 英文



(b) 中文

图 2　中、英文文献作者合作关系网络图谱及时间趋势

Fig. 2　Collaboration network maps and time trends of authors for Chinese and English publications

表 2　WOS 数据库发文量前 10 位作者

Tab. 2　Top 10 authors by publication amount from the WOS database

序号	作者名称	文献数量/篇	被引频次/次	占比/%	平均被引次数/次
1	cousins, asaph b.	13	453	0.52	34.84
2	zhang, shi-bao	13	454	0.52	34.92
3	cao, te	12	525	0.48	43.75
4	ni, leyi	12	538	0.48	44.83
5	huang, wei	11	403	0.44	36.64
6	aro, eva-mari	10	677	0.40	67.70
7	kim, ki sun	10	102	0.40	10.20
8	jahns, peter	9	671	0.36	74.56
9	von caemmerer, susanne	9	408	0.36	45.33
10	yang, wenyu	9	228	0.36	25.33

位的数量整体与 WOS 作者发文量、各作者发文占总体研究文献的比例与平均被引频次差别不大(表 3)。

从 CNKI 作者合作关系网络图谱可以看出(图 2),不同研究者之间发文合作很少,离散程度高于 WOS 作者合作网络。从各作者发文时间发现,国外文献

表 3　CNKI 数据库发文量前 10 位作者

Tab. 3　Top 10 authors by publication amount from the CNKI database

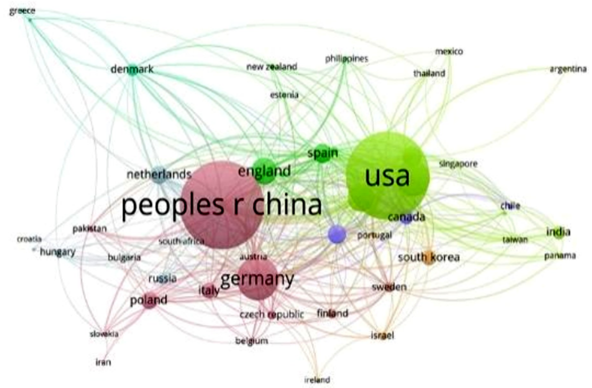
序号	作者名称	文献数量/篇	被引频次/次	占比/%	平均被引次数/次
1	郁继华	11	670	0.67	60.91
2	孙广玉	10	453	0.61	45.30
3	石雷	9	53	0.55	5.89
4	韦霄	9	496	0.55	55.11
5	史宝胜	8	334	0.49	41.75
6	王满莲	8	547	0.49	68.38
7	艾希珍	8	855	0.49	106.88
8	郭世荣	8	186	0.49	23.25
9	吴月燕	7	281	0.43	40.14
10	张渝洁	7	61	0.43	8.71

作者的发文时间主要分布于 2018 年之前,近几年缺乏较为创新的研究结果与产出。国内文献作者发文和产出较为稳定,但总体缺乏合作与联系。

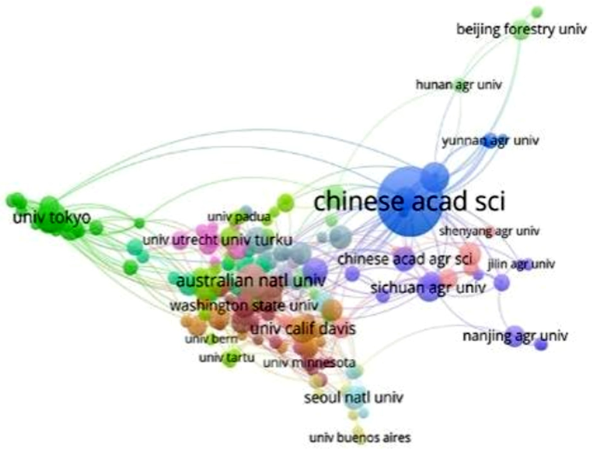
3.4 国家和机构合作网络特征分析

不同国家对某一研究领域的重视程度及深入研究可用发文数量及质量情况大致衡量[25-26]。对 WOS 数据库文献进行国家统计分析后发现,相关研究涵盖了 88 个国家与地区,有关研究发文数量超过 100 篇的包括 5 个国家(图 3)。

由图 3 可知,中国、美国、德国 3 个国家占据网络共现分布的核心,其中中国、美国、德国所发文献分别为 410 篇、407 篇和 186 篇,占全部文献的 40.3%。中国的文献数量位居第一,表明在植物耐阴能力研究领域中的科研提升,但总体被引量(8 953 次)远小于美国(19 103 次),而德国在相关产出方面虽不及中国和美国,但平均被引频次较高(42.3 次),整体文献质量和研究水平处于较高层次。对 1990—2023 年有关植物耐阴能力研究主要机构的可视化分析与统计发现,中国科学院(Chinese Acid sci)发文数量位于第一,总计 114 篇,较发文量第二的澳大利亚国立大学(Australian National University)高出约 3.45 倍。根据机构合作关系网络共现图谱(图 3)发现,澳大利亚国立大学、华盛顿州立大学(Washington State University)等机构发文量较少,但被引量很高,且各机构合作网络共现较为紧密,交流与合作比较密切。东京大学有关植物耐阴的研究比较独立,仅与中国科学院、澳大利亚国立大学、华盛顿州立大学等机构有合作关系。



(a)发文数量国家分布



(b)机构合作关系

图 3　WOS 数据库文献数量国家分布及机构合作关系网络共现图谱

Fig. 3　Country distribution and institutional collaboration network co-occurrence map from the WOS database

3.5 关键词分析

3.5.1 高频关键词特征

关键词是文献核心内容的简要表现和凝练词汇,关键词出现频次可表明研究内容的关注点的重要性,反映研究的热点问题。利用 VOSviewer 提取 CNKI 和 WOS 文献数据库中的关键词,并设置最低关键词出现频次为 5 次,统计出高频中英文关键词(表 4)。

对 CNKI 数据库中的中文关键词进行频次统计后发现,出现频次最多的关键词是“光合特性”,频次为 186 次。其他出现较多的关键词有“光合作用”“叶绿素荧光”“弱光”等。总体来看,国内研究侧重于对植物光合特性、植物光合作用等方面的研究,探究植物耐阴的生理及分子影响因素及机制。对 WOS 数据库中的英文关键词进行频次统计后发现,英文高频关键词出现次数远高于中文关键词,其中排名前 3 位的英文关键词为“photosynthesis”“growth”

表 4　CNKI 和 WOS 文献数据库关键词频次

Tab. 4　Keyword frequency from the CNKI and WOS literature databases

序号	中文关键词	频次	序号	英文关键词	频次
1	光合特性	186	1	photosynthesis	530
2	光合作用	117	2	growth	454
3	叶绿素荧光	78	3	plants	344
4	弱光	76	4	chlorophyll fluorescence	285
5	荧光	76	5	light	276
6	耐阴性	75	6	leaves	215
7	光响应曲线	65	7	photosystem-II	188
8	光照强度	62	8	responses	177
9	地被植物	58	9	photoinhibition	155
10	生长	56	10	acclimation	136
11	遮阴	50	11	temperature	123
12	低温弱光	49	12	arabidopsis-thaliana	122
13	光强	47	13	shade	122
14	叶绿素	46	14	stress	112
15	净光合速率	45	15	arabidopsis	110
16	弱光胁迫	42	16	nitrogen	106
17	遮阴	41	17	xanthophyll cycle	103
18	光照	39	18	gas-exchange	101
19	园林应用	32	19	photoprotection	99
20	生长发育	32	20	tolerance	93

“plants”,出现频次分别为 530 次、454 次和 344 次。一方面说明对植物耐阴的研究国外研究更加广泛,被关注度较高,另一方面也反映了国内与国际对植物光合作用和植物耐阴的相关研究的一致性。

3.5.2 关键词共现分析

使用 VOSviewer 对 WOS 和 CNKI 数据库文献进行关键词网络共现图谱制作,通过 WOS 文献数据库绘制的关键词网络共现图谱(图 4)发现,WOS 数据库中的关键词根据不同颜色主要分为 5 个聚类。聚类 1 主要关注植物生长与遮阴胁迫研究,主要关键词包含 growth、shade、carbon、plasticity 等。聚类 2 以 photosynthesis、chlorophyll fluorescence、photoinhibition、arabidopsis thaliana 等关键词为主,其中光合作用占据了关键词知识图谱的核心。聚类 3 包含 stress、tolerance、light intensity 等关键词。聚类 4 主要是关于 gas-exchange、CO_2、quantum yieid 的研究热点。聚类 5 的关键词主要是以 arabidopsis 为核心的聚类特征,以拟南芥(*Arabidopsis thaliana*)为主要研究对象进行植物光敏色素等微观研究。

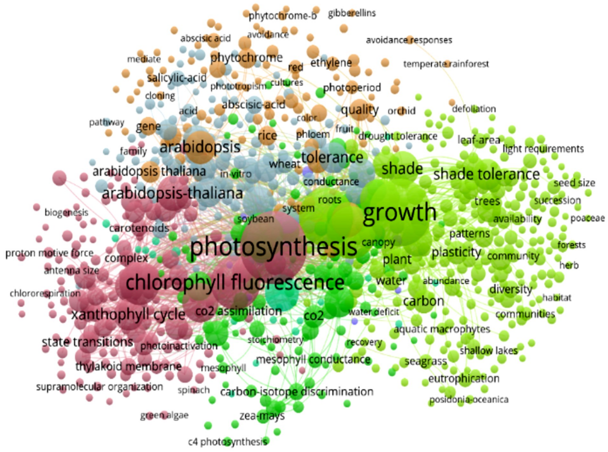


图 4　WOS 数据库关键词网络共现图谱

Fig. 4　Keyword co-occurrence network map from the WOS database

通过 CNKI 文献数据库绘制的关键词网络共现图谱(图 5),CNKI 数据库中的关键词主要分成 6 个聚类,其中以光合作用、叶绿素荧光为核心的 2 类聚类关键词与 WOS 文献数据库关键词相同,其他 4 类聚类核心关键词包含了光响应曲线、光合特性、地被植物和光照强度。其中以地被植物为核心的关键词聚类与其他网络图谱距离较远,关联程度较为离散。以光响应曲线为核心关键词聚类的关系网络虽与知识网络图谱核心距离较远,但线条粗度明显,关联程度较为紧密。

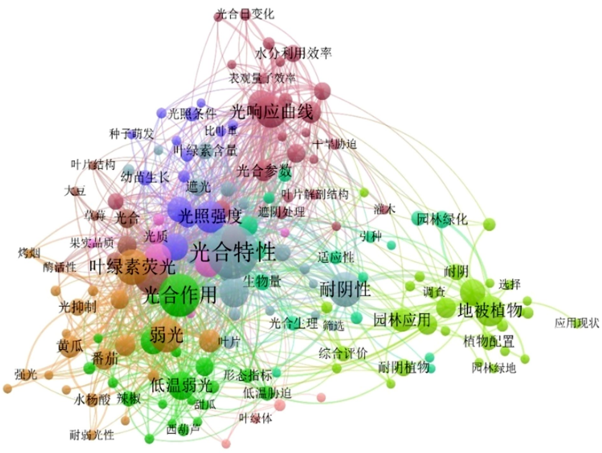


图 5　CNKI 数据库关键词网络共现图谱

Fig. 5　Keyword co-occurrence network map from the CNKI database

3.6 研究前沿分析

为更好地了解植物耐阴未来研究方向,增加了对 2024 年的关键词突现分析,突现词的变化可以反

映该时期的探索研究方向,对 2014—2024 年间的关键词进行突现分析,分别设置 γ 为 0.25 和 0.1,检测得出 20 个关键词。CNKI 数据库中的关键词持续时间普遍较短,关键词突现周期最长的是生理指标,持续时间为 2017—2020 年。CKNI 和 WOS 文献数据库中突现强度最高的关键词分别是“应用”和“yield”,凸现强度为 2.86 和 7.83(图 6)。

由图 6 可知,WOS 文献数据库中关键词突现强度明显高于 CKNI,WOS 核心数据库中 20 个关键词平均突现强度为 5.255 5,CNKI 数据库中关键词平均突现强度仅为 1.992。图 6 显示耐阴性、气候、基因、生物合成、表达等关键词在后续可能继续研究,但目前持续时间较短,具有不确定性。

4 讨　论

从文献计量的角度来看,某一研究成果的影响力、质量程度与科学性的体现可以是文章的数量和质量[25]。对 30 多年来植物耐阴文献的量化分析发现,不断增长的发文量表明相关研究得到了学者们的持续性关注。统计分析中英文高被引文献发现,中文高被引文章阐述的主要内容的共同之处在于其研究均涉及不同光环境下的植物生理、形态、光合特性变化等。高被引英文文献无论是微观角度下的植物特定生理、形态性状变化,还是大区域、大尺度视角下的不同环境梯度的植物群落组合与植物耐阴性之间的关系均有所提及。这表明 WOS 文献数据库中的文献对植物耐阴的探讨与研究更加广泛和细致。植物耐阴方面的研究核心问题总是包含了光环境调控下的植物各方面所表现出的动态变化。王雁、苏雪痕等人提出的植物耐阴性是植物在弱光环境下的生活能力,包含复杂的性状[27],也表明了更深层次下耐阴研究也是光胁迫下植物各种机制多方面调控的复合型研究。

针对植物耐阴性研究的各学者在具体发掘时发表的研究文献与提出的论点系统性不强,也印证上文提出的植物耐阴能力研究是一项复杂工程,但各学者的研究也对此项研究的某一方向的发展起到了参考和推动作用,这一点从本文对作者与合作机构制作的可视化图谱中不难发现:作者间、机构间虽大部分发文量匮乏,但彼此间也均有联线;整体合作程度虽然不多,但呈现了良好的合作态势。中国科学院对植物耐阴能力研究做出了较多贡献,并带动了其他机构的研究以及加强了科研主导力互相扩散。

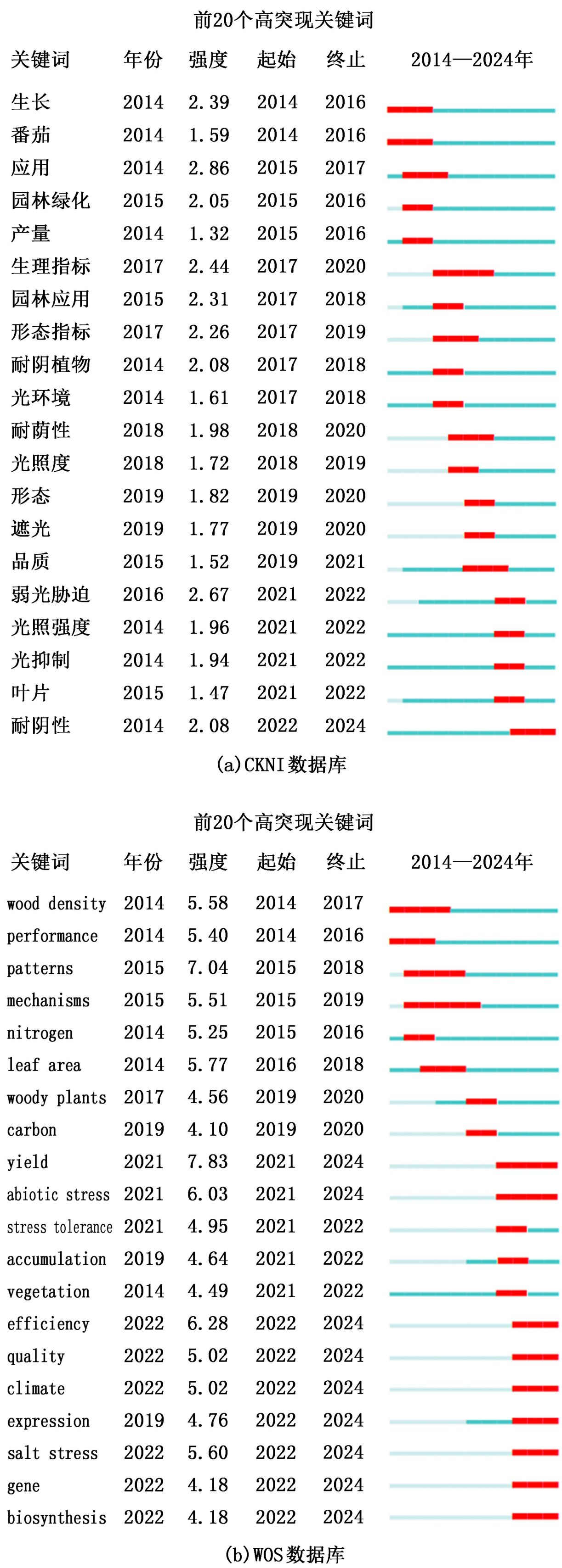


图 6　CKNI 和 WOS 文献数据库中关键词突现强度

Fig. 6　Keywords with the strongest citation bursts from the CNKI and WOS databases

本研究在进行关键词分析时发现,中英文高频关键词均出现"光合作用""光合特性""叶绿素荧光"等词汇。从关键词知识图谱看,英文中出现的关键词对植物耐阴的解释和覆盖面更广,对于植物耐阴性的研究主要置于森林等大尺度范围内并已有广泛的研究基础,表明光合作用、光合特性等与植物耐阴相关的词汇也常适用于森林结构和动态变化的研究中去突出表现,解释植物耐阴的机制。例如碳增益假说所揭示的"叶片化学和生理根据碳增益假说,任何提高光的利用效率从而提高碳增益的性状均增加了物种的遮阴耐受性"。碳增益可从植物组织[28-29]到整个植物鳞片[30]的许多性状来增加。在叶片尺度上,碳增益假说表明[31-33],在弱光条件下,耐阴物种比不耐阴物种具有更高的叶片叶绿素含量和更高的光合能力。关键词中出现的植物幼苗、弱光等词汇也有相关研究解释,即在强光和弱光条件下,耐阴物种幼苗的光合能力始终大于不耐阴物种幼苗的光合能力,也有研究表明,遮阴处理下植物光合特性与耐阴性也有一定的关系[34]。与国外耐阴植物的尺度研究相比,国内文献中多出现园林绿化、植物选择、适应性等词汇,这也表明了国内对植物耐阴性相关研究更加注重实际应用,缺乏对植物耐阴更深层次机理和大场域下的研究。

5 结论与展望

5.1 结论

1)基于 WOS 和 CNKI(中国知网)文献数据库进行特定筛选后,对国内外 33 年来的植物耐阴相关文献年度发文量进行分析,结果表明,国内对植物耐阴方面的研究开始较早,但发展较为缓慢且有部分波动。国外研究起步时就有较高的论文产出量,并在后续阶段稳步发展,年度发文量保持在很高数量。

2)WOS 文献数据库的高被引文献的被引频次远高于 CNKI(中国知网)文献数据库,中文高被引文献关注的研究点集中于弱光下植物光合特性、生理性状的改变,英文高被引文献研究重点在植物经济光谱及特性。两者共同特点在于发表时间较早,表明植物耐阴能力方面深入研究的迫切性。

3)国内外相关研究的作者发文较为均匀,发文量相对均衡,并无较为突出的研究数量产出。各作者对于植物耐阴能力的研究均具有一定的独立性,研究合作并不紧密。部分作者的发文量很少,但文献平均被引频次很高。

4)中国、美国和德国在植物耐阴方面的研究作出了突出贡献,3 个国家的合作关系也较为密切。在研究机构上,以中国科学院为代表的机构占据了研究的核心地位,对植物耐阴研究领域做出了大量贡献,并保持了稳定的文献产出。

5)关于植物耐阴研究文献,中英文关键词的出现频次差别较大。在高频关键词方面,英文关键词频次高于中文关键词,但二者关注的研究点较为一致,主要集中于光合特性、光合作用、叶绿素荧光等与植物耐阴相关研究。

5.2 展望

从文献计量方法和计量软件协助对植物耐阴能力研究文献整体分析结果来看,随着研究方法的更新与研究的由浅入深、由表及里,植物耐阴能力研究进展已处于相对成熟阶段。以往研究局限于单一尺度或因素,或者缺乏定量的研究数据支撑论文的理论观点,研究重点也是有关园林植物[35-36]、应用现状[37]、园林绿化[38]等。不同植物的性状变异程度不同,植物耐阴性也具有受多因素共同影响的属性,在不同生长阶段会表现出很大差异。目前许多研究停留于实验室阶段,并缺乏对植物耐阴的长期监测,这与植物本身独有的生长特性不符。依据对植物耐阴相关研究进展的文献梳理发现,植物光合作用和植物地上部分的研究文献的发文量很可观,但光对植物地下生长、呼吸作用和化学成分等因素的影响研究很少,在未来研究及发展趋势中可以着重分析,并继续在现有研究基础上增加更加微观、全面和深入的研究。

参考文献:

[1] 韩金梁. 浅谈园林植物耐阴性研究[J]. 时代农机,2018,45(4):97.

[2] MAXWELL A W,DARCY H,MICHAEL C,et al. A chlorophyte alga utilizes alternative electron transport for primary photoprotection[J]. Plant Physiology,2020,183(4):1735-1748.

[3] MATHUR S,JAIN L,JAJOO A. Photosynthetic efficiency in sun and shade plants[J]. Photosynthetica: International Journal for Photosynthesis Research,2018,56(1):354-365.

[4] GRAY W M. Hormonal regulation of plant growth and development[J]. PLoS Biology,2004,2(9):1270-1273.

[5] NIYOGI K K, TRUONG B T. Evolution of flexible non-photochemical quenching mechanisms that regulate light harvesting in oxygenic photosynthesis[J]. Current Opinion in Plant Biology,2013,16(3):307-314.

[6] KALMATSKAY A O K,TRVBITSIN B V,SUSLICHENKO

I S, et al. Electron transport in tradescantia leaves acclimated to high and low light: Thermoluminescence, PAM-fluorometry, and EPR studies[J]. Photosynthesis Research, 2020, 146(1-3): 1-19.
[7] 王燕,张亚见,何茂盛,等. 光质对植物形态结构和生长的影响[J]. 安徽农业科学,2018,46(19):22-25.
[8] 赵榕,王猛,赵雅杰,等. 向日葵对列当寄生的生理响应及关键代谢通路分析[J]. 西北植物学报,2024,44(1):43-52.
[9] EL-KEBLAWY A, GAIROLA S. Dormancy regulating chemicals alleviate innate seed dormancy and promote germination of desert annuals[J]. Journal of Plant Growth Regulation, 2017, 36(2): 300-311.
[10] ESTELL E R, FREDRICKSON L E, JAMES K D. Effect of light intensity and wavelength on concentration of plant secondary metabolites in the leaves of flourensia cernua[J]. Biochemical Systematics and Ecology, 2016, 65: 108-114.
[11] 张煜林,刘玲娟,刘胜龙,等. 不同密度杉木萌生林自然恢复初期群落结构对林分碳密度的影响[J]. 应用生态学报,2024,35(2):289-297.
[12] 任世杰,宋朝阳,林长存,等. 西藏高寒草原湿润度梯度下植物群落特征的空间格局及其驱动因子[J]. 生态学报,2024,44(5):1996-2007.
[13] 王凯,朱教君,于立忠,等. 遮阴对黄波罗幼苗的光合特性及光能利用效率的影响[J]. 植物生态学报,2009,33(5):1003-1012.
[14] 林树燕,张庆峰,陈其旭,等. 10 种园林植物的耐阴性[J]. 东北林业大学学报,2007(7):32-34.
[15] 王耕,张挥航. 基于文献计量的海洋生态系统服务研究热点与趋势分析[J]. 生态学报,2020,40(7):2496-2505.
[16] 李苗苗,夏万才,王猛,等. 基于文献计量的中国自然保护地监测研究[J]. 生态学报,2020,40(6): 2158-2165.
[17] 肖鹏飞,安璐,吴德东. 基于文献计量学分析的全球生物质炭研究进展[J]. 农业工程学报,2020,36(18):292-300.
[18] 宋巧枝,方曙. 基于文献统计分析法的专利计量分析研究[J]. 现代情报,2008(2):125-126,129.
[19] 郑梅迎,林伟,徐茜,等. 基于 CNKI 数据库的土壤酸化文献计量分析[J]. 土壤,2020,52(4):811-818.
[20] 王洪雨,于寒青. 基于文献计量分析的土壤侵蚀与土壤有机碳动态研究进展与展望[J]. 土壤通报,2023,54(6):1470-1483.
[21] 张馨,李林锶,秦新生. 基于 CiteSpace 的萝芙木属植物研究知识图谱可视化分析[J]. 北京大学学报(自然科学版),2023,59(6):1011-1024.
[22] 邱均平,刘国徽,董克. 基于合作分析的知识聚合与学科知识结构研究——以国内知识管理领域为例[J]. 情报理论与实践,2014,37(8):6-11.
[23] 何奕忻,蒋海波,张运春. 基于 CiteSpace 的小微湿地文献计量分析[J]. 生态学报,2022,42(13):5516-5530.
[24] BARABASI A-L, SONG C, WANG D. Handful of papers dominates citation[J]. Nature, 2012, 491(7422): 40.
[25] 陈林,曹萌豪,宋乃平,等. 中国荒漠草原的研究态势与热点分析——基于文献计量研究[J]. 生态学报,2021,41(24):9990-10000.
[26] 闫淑兰,赵秀红,罗启仕. 基于文献计量的重金属固化稳定化修复技术发展动态研究[J]. 农业环境科学学报,2020,39(2):229-238.
[27] 王雁,苏雪痕,彭镇华. 植物耐荫性研究进展[J]. 林业科学研究,2002(3):349-355.
[28] LIU L T, LUAN Y, FANG C, et al. Structural characteristics of reaction tissue in plants[J]. Plants-Basel, 2023, 12(8): 1705.
[29] WOUDENBERG S, RENEMA J, TOMESCU A M F, et al. Deep origin and gradual evolution of transporting tissues: Perspectives from across the land plants[J]. Plant Physiology, 2022, 190(1): 85-99.
[30] REN M Z, CUI L, GAO C, et al. Effects of morphological characteristics, nutritional status and light on the scale propagation of lilium[J]. Agriculture, 2023, 13(7): 1341.
[31] DEANS R M, BRODRIBB T J, BUSCH F A, et al. Optimization can provide the fundamental link between leaf photosynthesis, gas exchange and water relations[J]. Nature Plants, 2020, 6(9): 1116-1125.
[32] OSADA N, OIKAWA S, KITAJIMA K. Implications of life span variation within a leaf cohort for evaluation of the optimal timing of leaf shedding[J]. Functional Ecology, 2015, 29(3): 308-314.
[33] FALSTER S D, WESTOBY M. Leaf size and angle vary widely across species: What consequences for light interception?[J]. New Phytologist, 2003, 158(3): 509-525.
[34] PERI L P, MOOT J D, JARVIS P, et al. Morphological, anatomical, and physiological changes of orchardgrass leaves grown under fluctuating light regimes[J]. Agronomy Journal, 2007, 99(6): 1502-1513.
[35] 田羽博. 植物生态对城市发展与环境因子影响[J]. 环境工程,2023,41(7):375-376.
[36] 刘瑞悦,王雨桐,韩星,等. 低成本管养下的南京城市公园自生植物优选体系研究[J]. 园林,2023,40(7):119-125.
[37] 刘敏,何孟璐,梅瑜,等. 园林植物小叶榕的研究与应用现状[J]. 热带农业科学,2020,40(10):108-112.
[38] 张云路,关海莉,李雄. 从园林城市到生态园林城市的城市绿地系统规划响应[J]. 中国园林,2017,33(2):71-77.

责任编辑: 许易琦