



DOI: 10.5846/stxb202112243647

房俊民, 罗小英. 基于文献计量的森林生态学学科发展态势研究. 生态学报, 2023, 43(1): 449-461.

基于文献计量的森林生态学学科发展态势研究

房俊民^{1,2,*}, 罗小英^{1,2}

1 中国科学院成都文献情报中心, 成都 610041

2 中国科学院大学经济与管理学院图书情报与档案管理系, 北京 100190

摘要:聚焦森林生态学领域,通过文献计量研究方法全景式、多维度揭示该领域学科发展特点。以 Web of Science 数据库 1905—2014 年 110 年间森林生态学领域研究文献数据为研究对象,借助文本挖掘软件(DDA)、知识图谱分析软件(SCI2)、Excel 等工具,从总体发展态势(论文产出、国际合作关系、主题相似度),基于文献增长中不同阶段的研究主体论文产出分布,高频词时序与高被引论文研究主题 3 个层面,全面揭示该学科领域 110 年以来全球发展态势、研究主体力量和主题演变。研究结果表明:(1)近 110 年森林生态学研究论文逐年持续增长,根据文献增长特点,可以将森林生态学研究划分为孵化期、培育期、发展期、加速期以及爆发期 5 个阶段;(2)全球森林生态研究合作网络可划分为大、中、小 3 种类型;(3)不同国家之间由于科研合作、地理地貌等因素在主题研究上既存在共性,也不乏差异与特色;(4)不同阶段的研究力量呈现不同特点,其中美国在各个时期的论文产出均位居首位,且在国际科研合作中处于核心地位,与多个国家在研究主题上具有显著相似度,是领跑、推动森林生态学研究的主要力量;(5)各阶段研究主题呈现较强的阶段性和生态发展依附性,并表现出越来越强的学科交叉特点。研究将了解全球森林生态学现状及发展态势,以及我国森林生态学学科发展提供参考。

关键词:森林生态学;发展态势;文献计量;主题分析

森林生态学是从人们生活、生产实际需要逐渐发展起来,研究森林和环境之间相互关系的学科^[1],属于生态学和林学的一个交叉分支学科^[2]。1947 年,以美国学者 J.W.Toumey 为代表的生态学家从植物生态学中派生并创立“森林生态学”学科后,森林生态学经过系列演变,在联合国教科文组织的“国际生物学计划”(IBP)、“人与生物圈计划”(MAB)、“国际地圈-生物圈计划”(IGBP)等大型研究计划的推动下,开始得以迅速发展。而随着全球气候变化带来的系列科学、社会和政治问题,自 20 世纪中期以来,森林生态学研究逐渐成为热点。尤其进入 21 世纪以来,森林生态学在全球变化、生物多样性、森林生态系统管理与服务、生态水文学以及可持续发展等诸多方面取得了迅速、长足的发展^[3]。

通过回溯现有文献发现,目前针对森林生态学科发展全貌的研究并不多见。已有研究主要集中于通过对海量文献进行梳理而得到研究结论^[3],或者仅针对较短学科发展时间跨度进行研究。例如,中国林学会对 2008—2009 年的学科研究进行总结^[4],Yajun Song 等对 2002—2011 年的全球森林生态学研究进行分析^[5],黄东晓等以 2004—2014 年科学引文索引扩展版(SCIE)收录论文为基础对森林生态学研究态势进行分析^[6]。此外,部分学者从学科领域中某一较小的研究方向或地区范围进行分析和总结。例如,杨敏等基于中国知网(CNKI)的文献数据对中国森林生态学学科研究展开分析^[7]。总体而言,尚缺乏利用多种研究工具和研究方法,针对森林生态学在整个学科发展历史进程中,长时间跨度的学科演进研究工作。基于此,本文以森林生态学 110 年学科研究数据为基础,运用统计分析、社会网络分析、共现分析、时序分析等多种方法,揭示 110 年来

收稿日期:2021-12-24; 网络出版日期:2022-08-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: fjm@clas.ac.cn

全球森林生态学学科整体发展态势与特征,分析森林生态学不同研究阶段全球科研主体产出能力分布,挖掘森林生态学研究在不同阶段的研究主题与热点,并进一步对森林生态学学科未来研究趋势提出展望。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

本文以 Web of Science 数据库为基础,构造检索式“TS=Forest * AND WC=Ecology”进行检索,检索时间范围为 1905—2014 年(总时间跨度为 110 年),限定文献类型为论文,最终检索得到文献总数 56126 篇。在此基础上,将检索结果的标题、摘要、关键词、作者、参考文献等全记录导出构建研究数据集。

1.2 研究方法

基于文献计量的方法是目前分析学科发展及演化的主要方法,基本原理是通过对文献及文献之间的关系计量来构建学科的内在逻辑与结构。本文主要运用统计分析、社会网络分析、共现分析、词频分析、时序分析等方法,对所获取森林生态学数据进行量化与可视化分析,从整体观测并解读 110 年来全球森林生态学学科的发展态势、研究主体力量分布、研究主题演变等。

分析工具方面,主要采用包括 DDA^[8]、SCI2^[9]、Excel 等。其中,DDA 是科睿唯安公司的一款具有强大分析功能的文本挖掘软件,可以对数据进行多角度、全景式的数据挖掘和可视化,常用功能包括:数据清洗、列表功能、矩阵功能与图功能,可构建共现矩阵发现领域的发展趋势以及同邻近领域的相关性,并可通过图功能模块实现对分析结果的可视化,揭示机构、人员、学科领域间的关系^[10]。SCI2 是由美国印第安纳大学图书情报专家 Katy Börner 及其团队开发的一款知识图谱分析软件,具有时间序列、地理空间和网络分析等分析功能,支持抽取多种常用网络,如定向网络、双边网络、引文网络、合作者网络等^[11]。

本文主要运用 DDA 进行数据清洗、信息抽取与计量分析,包括统计、分析不同科研主体产出情况,构建 Pearson 相似度矩阵,分析全球各国森林生态学领域研究主题的相似性,以及生成高频词时序变化图谱,反映不同阶段森林生态学领域研究主题的演变;运用 SCI2 构建、分析森林生态学领域中国家/地区合作共现网络;并辅以 Excel 统计、分析整体与不同科研主体论文产出情况以及各阶段高被引论文数据。具体研究思路如图 1 所示。

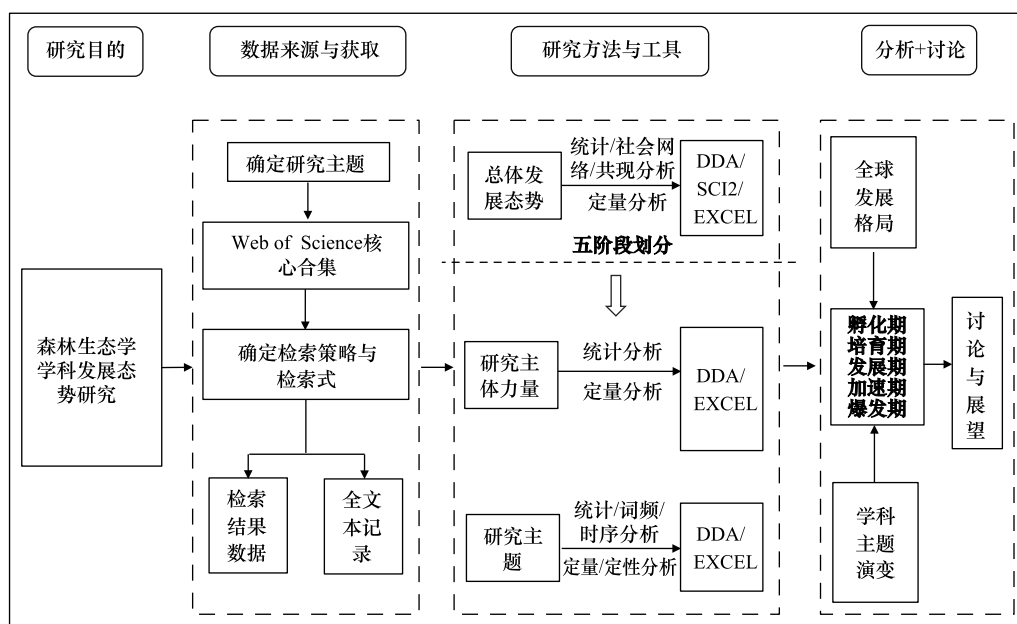


图 1 研究思路

Fig.1 Research design

DDA:科睿唯安公司文本挖掘软件 Derwent data analyzer;SCI2:美国印第安纳大学知识图谱分析软件 Science of science;Excel:微软公司电子表格软件 Microsoft office excel

2 结果与分析

2.1 全球森林生态学总体发展态势

2.1.1 全球森林生态学论文产出

(1) 论文产出的变化趋势

根据检索结果,对森林生态学 1905—2014 年每年的论文产出数量进行统计分析,绘制如图 2 文献产出变化曲线。整体而言,全球森林生态学研究从 20 世纪初开始,经过了较为漫长的孕育和发展阶段后,直至 21 世纪初期到达非常活跃的状态。

(2) 论文产出的阶段划分

“生命周期”源于生物学概念,并被广泛地应用于政治、经济、环境、技术、社会等诸多领域,主要描述事物所遵循的“萌芽-发展-成熟/稳定-衰退”的发展过程。学科领域的演变同样具有生命周期^[12]。借鉴生命周期理论,根据森林生态学文献数量分布及增长变化趋势,本文将森林生态学的学科发展阶段划分为孵化期、培育期、发展期、加速期以及爆发期 5 个阶段,全球与中国在各发展阶段的论文产出情况如表 1 所示。

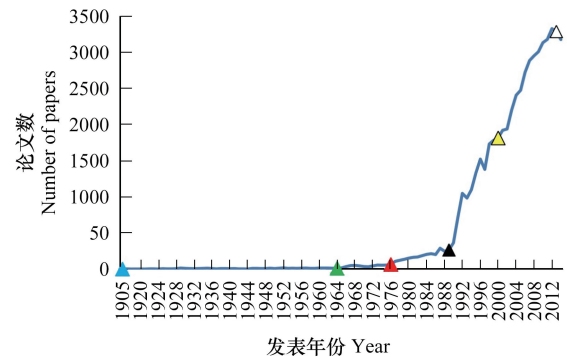


图 2 森林生态学 1905—2014 年论文产出数量随时间变化曲线

Fig.2 The number and growth trend of papers published on forest ecology research (1905—2014)

表 1 各阶段论文产出数量分布

Table 1 Distribution of research output in each stage

阶段 Stage	时间范围 Time horizon	各时间段论文数量 Publications of each stage/篇			
		全球 Global		中国 China	
		数量 Number of papers	年均数量 Average	数量 Number of papers	年均数量 Average
孵化期 Incubation period	1905—1964	396	6	—	—
培育期 Cultivation period	1965—1976	542	49	—	—
发展期 Acceleration period	1977—1989	2458	189	6	<1
加速期 Evolution period	1990—1999	11955	1195	72	7.2
爆发期 Outbreak period	2000—2014	40414	2694	1735	116

①孵化期:1905—1964 年。从论文数量随时间变化曲线来看,该阶段的 60 年间,整个森林生态学学科的相关论文发表数量增长缓慢,总量仅为 396 篇,年均发文量约 6 篇,说明该阶段森林生态学领域的发展处于起步阶段。因此,将这一阶段视为森林生态学研究的孵化期。

②培育期:1965—1976 年。该阶段的 12 年间,森林生态学相关论文发表数量有了一定幅度的增长,年均发文量约为 49 篇。因此,将这一阶段视为森林生态学研究的培育期。

③发展期:1977—1989 年。该阶段的 23 年间,学科的相关论文数量开始呈现更大幅度的增长,年均发文数量约为 189 篇。因此,将这一阶段视为森林生态学研究的发展期。

④加速期:1990—1999 年。1990 年以后直到 20 世纪末,森林生态学的研究论文产出数量随时间变化曲线出现明显的拐点,并呈现高速增长与波动趋势,年均发文量达到 1195 篇。因此,将这一时期视为森林生态学研究的加速期。

⑤爆发期:2000—2014 年。进入 21 世纪以后,森林生态学学科研究得到空前发展,相关研究论文发表数量增长持续攀升,短短 10 余年间发文量达到 4 万余篇,年均发文量达 2694 篇。因此,将这一时期视为森林生态学研究的爆发期。

2.1.2 全球森林生态学研究国际科研合作关系

文献计量科学知识图谱的可视化效果一定程度取决于参数、阈值设定,阈值过高或过低均不利于进一步

分析与解读。因此根据数据与可视化效果,本文在全球森林生态学国家/地区间的合作关系网络图谱(图3)中,将论文数量和合作数量的阈值分别设定为50和20。其中,图中节点(圆点)大小代表该主体论文产出数量多少,节点越大说明论文数越多;连线粗细代表两国(地区)之间合作关系深度,连线越粗,合作深度越深;连线多少代表该主体合作广度的大小,即合作对象的多少,连线越多,合作广度越大。

图3表明,森林生态学的研究在国家/地区间构成了一个大的合作网络整体,不同国家/地区间的合作十分密集。其中,美国、澳大利亚、加拿大、英国、巴西、德国、中国、巴拿马、墨西哥等国家间合作最为密切,且美国在其中占据较高的主导地位;其次为西班牙、法国、日本、芬兰、新西兰、瑞典、瑞士、意大利同其他国家/地区。另外,值得注意的是,俄罗斯、印度、南非等经济大国在森林生态学领域研究的国际合作程度并不高。

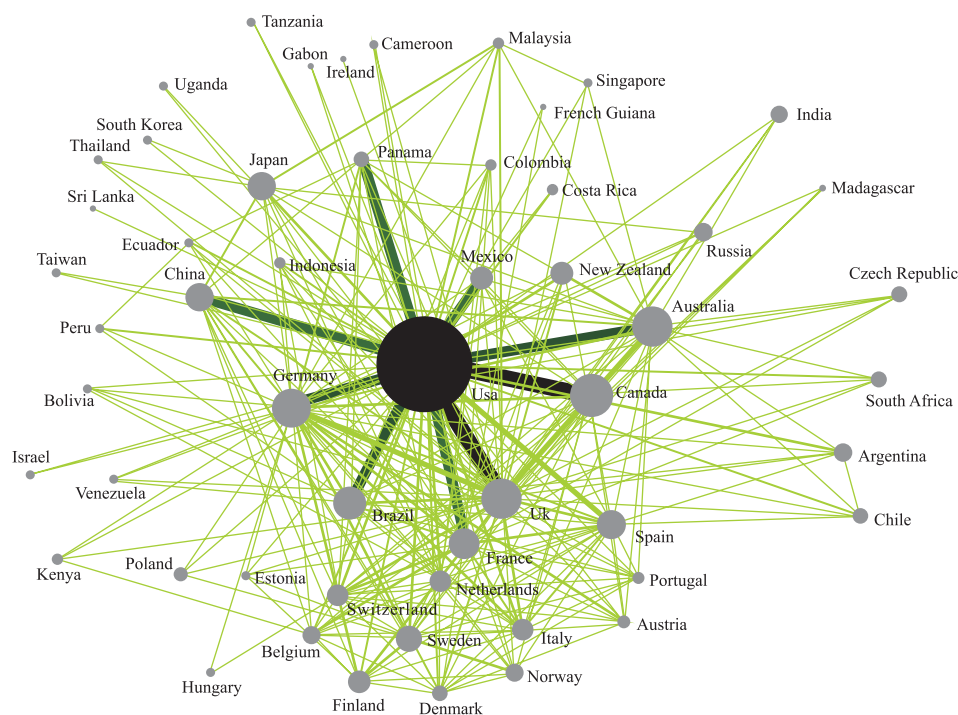


图3 国家/地区合作关系网络图谱

Fig.3 Map of national/regional cooperation network

Argentina : 阿根廷; Australia : 澳大利亚; Austria : 奥地利; Belgium : 比利时; Bolivia : 玻利维亚; Brazil : 巴西; Cameroon : 喀麦隆; Canada : 加拿大; Chile : 智利; China : 中国; Colombia : 哥伦比亚; Costa Rica : 哥斯达黎加; Czech : 捷克; Denmark : 丹麦; Ecuador : 厄瓜多尔; Estonia : 爱沙尼亚; Finland : 芬兰; France : 法国; French Guiana : 法属圭亚那; Gabon : 加蓬; Germany : 德国; Guiana : 圭亚那; Hungary : 匈牙利; India : 印度; Indonesia : 印尼; Israel : 以色列; Italy : 意大利; Japan : 日本; Kenya : 肯尼亚; Madagascar : 马达加斯加; Malaysia : 马来西亚; Mexico : 墨西哥; Netherlands : 荷兰; New Zealand : 新西兰; Norway : 挪威; Panama : 巴拿马; Peru : 秘鲁; Poland : 波兰; Portugal : 葡萄牙; Russia : 俄罗斯; Singapore : 新加坡; South Africa : 南非; South Korea : 韩国; Spain : 西班牙; Sri Lanka : 斯里兰卡; Sweden : 瑞典; Switzerland : 瑞士; Taiwan China : 中国台湾; Tanzania : 坦桑尼亚; Thailand : 泰国; Uganda : 乌干达; UK : 英国; USA : 美国; Venezuela : 委内瑞拉

整体而言,结合论文产出与合作关系,全球森林生态学研究主体可大致定性划分为3种类型网络关系:(1)以美国为核心构建的遍布全球的合作大网络,参与这一网络的合作者涵盖了森林生态学研究领域近乎全部的参与对象;(2)以某些国家/地区为核心形成的较次一级的密集合作网络,如以德国、巴西、法国、西班牙、英国、瑞典、芬兰、丹麦为主体形成的密集合作网络,以澳大利亚为主体形成的加拿大、英国、新西兰合作网络,以中国为主体形成日本、德国、瑞士、比利时、澳大利亚合作网络;(3)更小规模的合作网络,如以马来西亚为主体形成的新加坡、澳大利亚、巴拿马、日本合作网络。

2.1.3 基于关键词的国家间主题相似度

为了更加直观地显示不同国家之间在森林生态学研究的相关程度,基于文献关键词,利用DDA分析工具对全球森林生态学领域的文献进行相关分析,采用Pearson相关度算法,发文量Top 20国家之间研究主题关系网络如图4所示。其中,圆点的大小代表一个国家森林生态学领域发文量的多少,点与点之间的连线粗细

表示两者之间的相似程度,连线越粗,相似性越大;且图4中仅显示了国家之间具有中等及以上显著相似性的连线,即 Pearson 相似度系数值大于 0.5。

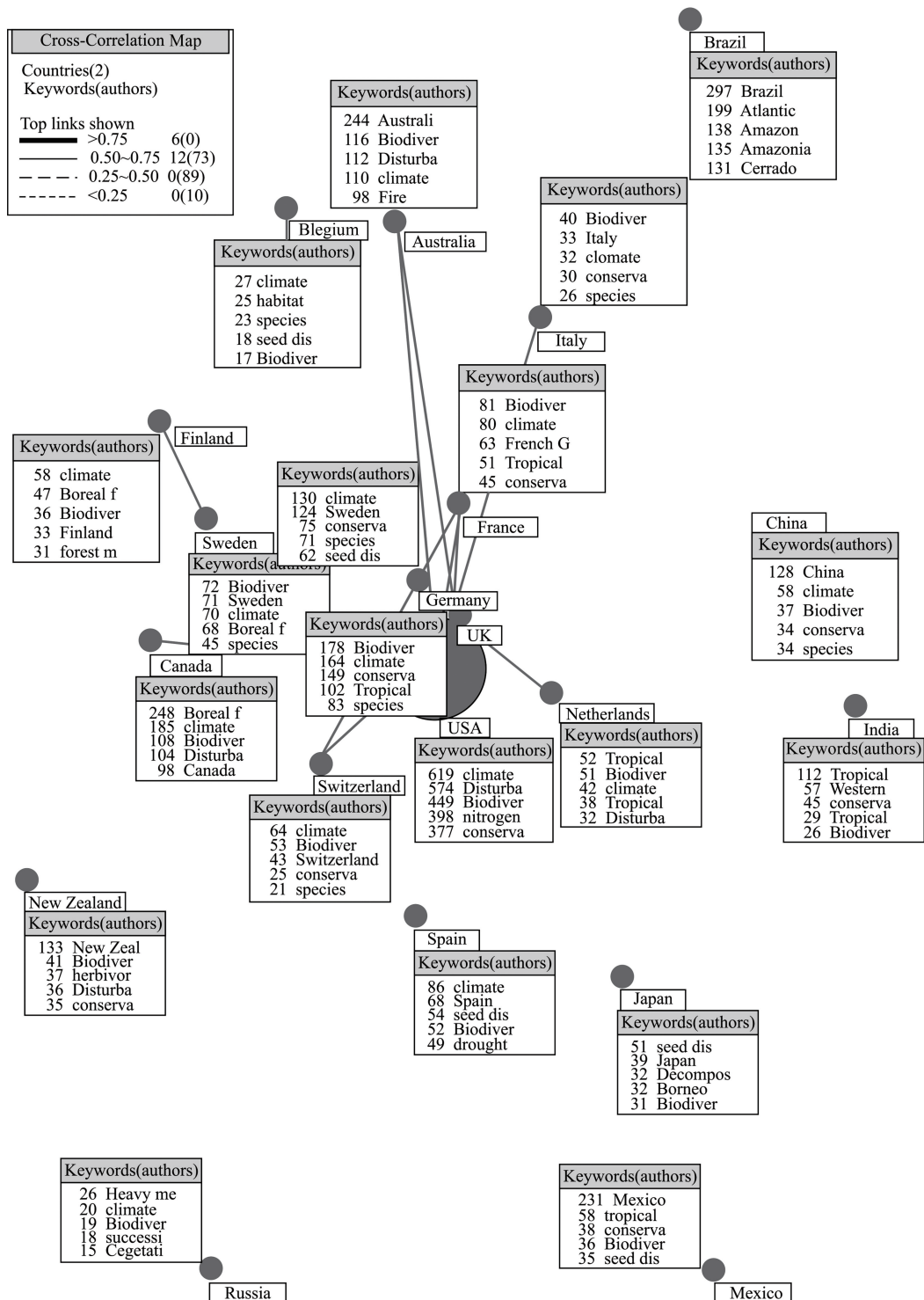


图4 基于关键词分布计算 Top 20 国家间的 Pearson 相似度

Fig.4 Pearson similarity among Top 20 countries calculated based on keywords distribution

Amazon: 亚马孙; Amazonia: 亚马孙流域; Atlantic: 大西洋的; Australi: 澳大利亚 Australia; Biodiver: 生物多样性 Biodiversity; Boreal f: 北方针叶林 Boreal forest; Borneo: 婆罗洲; Cerrado: 塞拉多保护区; climate: 气候; Conserva: 保护 Conservation; Decompos: 分解 Decompose/Decomposition; Disturba: 扰动 Disturbance; drought: 干旱; Fire: 火; forest m: 森林管理 forest management; Habitat: 栖息地; Heavy me: 重金属 Heavy metal; herbivor: 食草动物 herbivore; Nitrogen: 氮; seed dis: 种子扩散 seed dispersal; Species: 物种; Successi: 演替 Succession; Tropical: 热带的; Vegetati: 植被 Vegetation

由图 4 可知,美国同英国、德国、法国、加拿大、意大利、瑞士、荷兰等多个国家的研究具有显著相似性;此外,瑞典与荷兰,澳大利亚同英国和美国,法国同瑞士、荷兰、德国与荷兰、法国之间的也有较高相似度。相似度与较多国家相近的还有法国、荷兰;其次为澳大利亚、德国和瑞士。如图 4 同时显示了各国文献的关键词中出现频次较高的若干词组及其出现的频次,由于图形大小限制,图中仅显示了出现频率最高的 5 组关键词。由此发现:(1)不同国家对森林生态研究的关注点不尽相同。如美国研究人员较多关注气候、扰动、生物多样性、氮循环、保护;巴西研究人员较多关注大西洋、亚马孙流域、热带高草草原;而澳大利亚研究人员关注点在于生物多样性、扰动、气候变化、火。(2)绝大多数国家研究人员共同关注较多的研究主题包括生物多样性、气候变化、生物保护、扰动等。(3)部分特定主题受到某些国家研究人员的特别关注,例如澳大利亚研究人员特别关注对火因子的研究;巴西研究人员重视亚马逊雨林、热带高原草原的研究;美国重视氮循环的研究;芬兰和瑞典重视寒带森林的研究;新西兰重视草食动物的研究;西班牙重视对干旱问题的研究;日本关注凋落物分解问题;墨西哥关注对热带森林的研究等。(4)中国研究人员主要关注气候、生物与物种多样性、保护等。具体地,保护主题较多关注包括如野生动物、鸟类、大熊猫的栖息地保护;其次,从地域角度,除了国际合作以及对全球性问题的关注,在中国范围内的森林生态研究集中于长江流域、秦岭,以及云南、四川、西藏等西南地区。

2.2 全球森林生态学各阶段研究主体论文产出

2.2.1 国家论文产出分布

对各阶段不同国家论文产出数量进行统计,可以更加直观地反映出不同时期森林生态学领域各国论文产出变化情况及科研力量分布。如表 2 所示,美国在各个时期的论文产出均位列榜首;但在学科发展早期(孵化期、培育期)占据重要地位的瑞典、法国,以及比利时和俄罗斯的发文量随后在各阶段的排名却逐渐下降,尽管他们总发文量在上升,但相比其他国家而言,其在森林生态学领域的产出增速明显减弱;巴西、中国、西班牙等国的论文产出则持续增长。

表 2 各阶段国家发文数量排名 Top 20

Table 2 Top 20 countries of the research output in each stage

排名 Rank	1905—1964 年		1965—1976 年		1977—1989 年		1990—1999 年		2000—2014 年	
	国家 Country	论文数/篇 Number of papers	国家 Country	论文数/篇 Number of papers	国家 Country	论文数/篇 Number of papers	国家 Country	论文数/篇 Number of papers	国家 Country	论文数/篇 Number of papers
1	美国	59	美国	124	美国	548	美国	3507	美国	16077
2	加拿大	1	法国	17	法国	76	加拿大	570	加拿大	3268
3	南非	1	英国	12	澳大利亚	67	澳大利亚	544	英国	3209
4	瑞典	1	澳大利亚	9	英国	66	英国	496	澳大利亚	3001
5			德国	8	加拿大	42	法国	285	德国	2906
6			加拿大	6	德国	24	德国	278	巴西	2131
7			瑞典	6	新西兰	22	日本	270	法国	1880
8			比利时	5	芬兰	20	瑞典	209	中国	1684
9			日本	5	日本	20	巴西	177	西班牙	1678
10			俄罗斯	5	印度	19	新西兰	175	日本	1515
11			丹麦	3	瑞典	16	芬兰	164	瑞典	1346
12			加纳	3	墨西哥	13	墨西哥	149	荷兰	1042
13			尼日利亚	3	巴西	11	荷兰	140	墨西哥	1038
14			波兰	3	荷兰	11	西班牙	132	芬兰	997
15			哥斯达黎加	2	委内瑞拉	11	印度	108	瑞士	996
16			科特迪瓦	2	智利	9	挪威	95	新西兰	982
17			肯尼亚	2	哥斯达黎加	9	俄罗斯	94	意大利	899
18			挪威	2	科特迪瓦	8	瑞士	81	比利时	696
19			乌克兰	2	比利时	7	巴拿马	73	俄罗斯	686
20			苏格兰	1	马来西亚	7	丹麦	64	阿根廷	669

2.2.2 机构论文产出分布

根据机构论文产出数量统计及全球植被类型分布^[13],本文对森林生态学学科领域发文量前 20 名的机构及其所在地的植被类型进行了映射标注(表 3)。从相关科研和管理机构的地理位置分布来看,在排名前 20 名的机构中,除非洲外,北美洲、南美洲、亚洲、欧洲、大洋洲均出现了若干代表性的研究机构。由此可初步判断,在森林生态学研究发展过程中:①在北美洲,以美国森林服务局、俄勒冈州立大学等机构为首的森林生态学研究在全球范围开展了极多的研究工作;②在南美洲,以美国史密森尼热带研究所、墨西哥国立自治大学为代表的研究工作值得关注;③在亚洲,以中国科学院、日本京都大学(位列第 26 位)两个机构的工作最具代表性;④在欧洲,以瑞典农业科学大学、俄罗斯科学院、德国哥廷根大学、芬兰赫尔辛基大学、法国农业科学研究院(位列第 23 位)等机构的研究工作最具代表性;⑤在大洋洲,相关研究以澳大利亚国立大学为主。

表 3 研究机构论文发表数量 Top 20(1905—2014 年)
Table 3 Top 20 institutions of the research output (1905—2014)

排名 Rank	机构 Institution	论文数(篇) Number of papers	研究机构所在地毗邻植被类型 Adjacent vegetation types of the institution	国家 Country
1	美国森林服务局(United States Forest Service)	1546	—	美国
2	中国科学院(Chinese Academy of Science)	958	—	中国
3	俄勒冈州立大学(Oregon State University)	722	针叶林	美国
4	史密森尼热带研究所(Smithsonian Tropical Research Institute, STRI)	716	热带雨林	美国
5	瑞典农业科学大学(Swedish University of Agricultural Sciences)	697	落叶针叶林、常绿针叶林	瑞典
6	威斯康星大学(University of Wisconsin)	689	落叶阔叶林、混交林	美国
7	佛罗里达大学(University of Florida)	644	有地被层的阔叶林	美国
8	加州大学伯克利分校(University of California Berkeley)	602	有裸土灌丛、草地、针叶林	美国
9	美国地质调查局(US Geological Survey)	577	—	美国
10	墨西哥国立自治大学(Universidad Nacional Autonoma de Mexico)	530	有地被层的阔叶林、草地有裸土灌丛	墨西哥
11	俄罗斯科学院(Russian Academy of Sciences)	529	混交林、针叶林	俄罗斯
12	明尼苏达大学(University of Minnesota)	500	落叶阔叶林	美国
13	杜克大学(Duke University)	497	落叶阔叶林、针叶林	美国
14	哥廷根大学(University of Göttingen)	492	农业区、阔叶林	德国
15	乔治亚大学(University Of Georgia)	484	落叶阔叶林、混交林	美国
16	不列颠哥伦比亚大学(University of British Columbia)	465	针叶林	加拿大
17	阿尔伯塔大学(University of Alberta)	459	阔叶林、草地	加拿大
18	赫尔辛基大学(University of Helsinki)	454	常绿针叶林、落叶针叶林	芬兰
19	加州大学戴维斯分校(University of California, Davis)	443	裸土灌丛、地被层矮林、常绿针叶林	美国
20	澳大利亚国立大学(Australian National University)	437	热带雨林	澳大利亚

进一步分析近 20 余年森林生态学领域发文量 Top 10 研究机构发现(图 5),美国森林服务局尽管一直遥遥领先,但在 2006—2008 年这一短暂的时期,其发文量出现了明显下滑,此后再度领先。而中国科学院在 20 世纪 90 年代初落后其他研究机构,但从 2002 年,开始逐渐追赶美国地质调查局、墨西哥国立自治大学等机构,2007 年之后,已经同美国森林服务局并驾齐驱,并在 2012 年之后最终实现超越。

2.3 全球森林生态各阶段高被引论文研究主题分析

论文的被引次数是一个重要的指标,一定程度上说明了被引文献受到同行的学术关注程度。通过对森林生态学领域 110 年相关文献被引频次的分析,得到高被引论文列表,进一步对总体及各阶段高被引文献进行解读,可以分析森林生态研究中受关注度高的文献及其相关研究主题与研究内容。

2.3.1 总被引次数 Top 50 论文

分析 1905—2014 年间高被引 Top 50 文献(表 4)发现:

(1)早期的森林生态学相关研究主要围绕森林生态中的物种、种群,针对种群生态、物种数量及物种的生物学特性等开展研究。如美国东北针叶林林莺的种群生态问题^[14],热带森林食草动物及树种数量^[15],低洼地势热带雨林的树种被动物采食情况,以及树种采取的防御生物学特征^[16]。

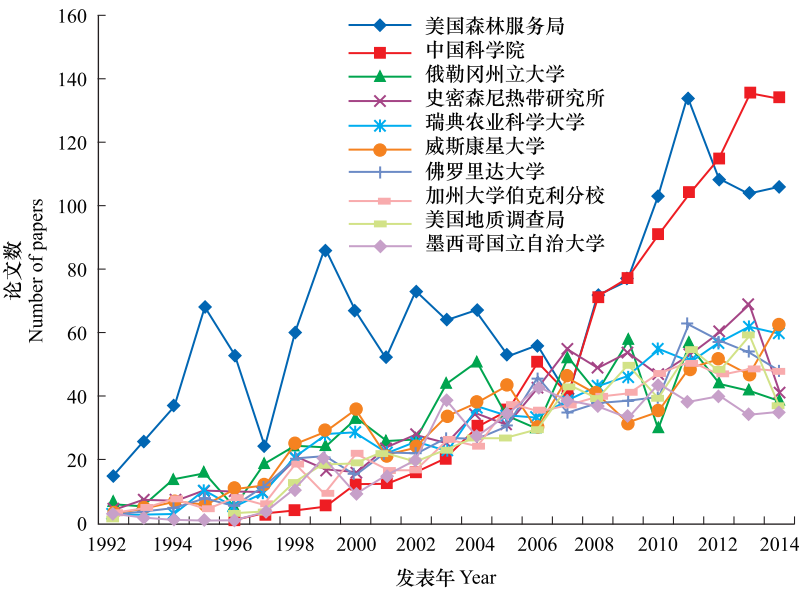


图 5 近 20 余年全球机构发文 Top 10 的发文量随时间变化
Fig.5 Research output of the Top 10 institutions

表 4 1905—2014 森林生态学领域论文被引用次数最多的 50 篇论文
Table 4 Top 50 Highly cited papers on forest ecology (1905—2014)

序号 Rank	作者 Author	标题 Title	被引频次 Total citations	发表时间 Year
1	Anderson, MJ	A new method for non-parametric multivariate analysis of variance	3421	2001
2	Mack, RN	Biotic invasions; Causes, epidemiology, global consequences, and control	2690	2000
3	Gotelli, NJ	Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness	2527	2001
4	Vitousek, PM	Human alteration of the global nitrogen cycle: Sources and consequences	2350	1997
5	Janzen, DH	Herbivores and the number of tree species in tropical forests	2106	1970
6	Fahrig, L	Effects of habitat fragmentation on biodiversity	2085	2003
7	Borcard, D	Partialling out the spatial component of ecological variation	1934	1992
8	Guisan, A	Predicting species distribution; offering more than simple habitat models	1889	2005
9	Chesson, P	Mechanisms of maintenance of species diversity	1637	2000
10	Andren, H	Effects of Habitat Fragmentation on Birds and Mammals in Landscapes with Different Proportions of Suitable Habitat; A Review	1435	1994
11	Tilman, D	Competition and biodiversity in spatially structured habitats	1223	1994
12	Murcia, C	Edge effects in fragmented forests implications for conservation	1203	1995
13	Sitch, S	Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model	1157	2003
.....				
49	Berkes, F	Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management	752	2000
50	Macarthur, RH	Population ecology of some warblers of northeastern coniferous forests	751	1958

由于篇幅所限,以上仅列出其中部分文献

(2)20 世纪 90 年代开始,相关研究开始关注生态系统过程、森林生态系统的物质循环与能量流动、生境碎片化及其生态效应等更宏观的问题。相应的代表性工作如 PeterJohn 等通过对农田与河岸带之间养分动态的研究,分析河岸森林的角色^[17];Vitousek 等则详细研究了潮湿热带森林的养分循环^[18];Running 等针对森林生态系统水平衡、冠层气候交换和初级生物量过程提出了一种生态系统过程模型^[19],为这一方向的深入探索打下了基础。在能量流动研究方面,Currie 开始开展针对能量与动物和植物丰富度之间关系的研究^[20]。生境碎片化则成为 20 世纪末期最重要的研究热点之一。此外,森林生态系统物质循环相关研究也日趋活跃。

(3)2000 年前后,人们关注到全球气候变化产生的各种生态效应和影响,加强了气候变化对全球森林生态系统及其物质循环、生物生态学响应等方面的研究。如 CO₂ 浓度升高对木本植物生物量、形态和生理的影响^[21];陆地生态系统功能对 CO₂ 和气候变化的全球响应,生态系统变暖与土壤呼吸、净氮矿化研究,土壤碳储量等相关研究均得到了极大关注^[22-23]。此外,针对气候变化的相关研究方法和生态模型理论在该时期也得到了很好的发展。例如,Berkes 提出了一种非参数多因素方差分析方法^[24];Anderson 指出了量化生物多样性的方法,提出了若干测量和比较物种丰富度中的实验步骤以及常见的错误做法^[25]。

2.3.2 各阶段被引次数 Top 20 论文的研究主题分析

某一关键词或主题词在其所在领域的文献中反复出现,则可反映出该关键词或主题词所表征的研究主题是该领域的研究热点^[26]。为更准确地观测在森林生态学研究不同阶段备受重视的论文主题及其研究内容,本文结合各阶段高频词时序变化与高被引论文,对研究主题做分析与解读。各阶段高频词及其时序分布特点如表 5 所示。由于篇幅所限,高频词时序变化图谱仅展示 2000—2014 年爆发期阶段(图 6)。其中图 6 横轴为时间,纵轴为关键词,不同关键词显示为不同颜色气泡,气泡大小代表关键词词频的高低。

表 5 各阶段高频词及其时序分布特点

Table 5 High frequency words of different stages and characteristics of distribution

阶段划分 Stage	高频词(部分) High frequency words (partial)	特点 Characteristics of distribution
孵化期 Incubation period (1905—1964 年)	Tropical rain-forest(热带雨林)、environmental factors(环境因子)、forest type(林型)、forest succession(森林演替)、ecological observations(生态观察)、ecological relationships(生态关系)、beech forest(山毛榉林)、forest trees(森林树种)、ponderosa pine forests(黄松林)、upland forests(山地森林)……	①高频热点主题词较为分散,未形成明显规律;②热带雨林、森林演替、森林树种、森林植被等均发展较早;③林型、森林群落、林火等研究持续性较强。
培育期 Cultivation period (1965—1976 年)	Tropical forest(热带森林)、deciduous forest(落叶阔叶林)、forest canopy(森林植被)、forest succession(森林演替)、forest fires(林火)、carbon dioxide evolution(二氧化碳演化)、chronic gamma irradiation(慢性辐照)、ecological problems(生态问题)、litter production(凋落物)、Mixed oak forest(混合橡树林)……	①研究主题同上一时期相比,既有延续(如森林植被、森林演替),也有新的增长(如二氧化碳演化、慢性辐照);②热带森林研究在 1967 年达高度关注后热度降低;③阶段性研究热点减少。
发展期 Acceleration period (1977—1989 年)	Tropical forest/rain-forest(热带森林/雨林)、forest ecosystem(森林生态系统)、deciduous forest(落叶阔叶林)、boreal forest(北方针叶林)、pine forest(松林)、landscape ecology(景观生态学)、small mammals(小型哺乳动物)、biogeochemical cycles(生物地球化学循环)、nutrient cycling(养分循环)、nutrient dynamics(养分动态)……	①高频热点主题词相对集中,热度增长变化和延续性更为显著;②景观生态学、生物地球化学循环在该阶段末期突变为新的热点;③北方针叶林受到关注。
加速期 Evolution period (1990—1999 年)	Tropical forest(热带森林)、tree species(树种)、species richness(物种丰富度)、boreal forest(北方针叶林)、Habitat fragmentation(生境碎片化)、species composition(物种组成)、climate change(气候变化)、forest ecosystem(森林生态系统)、forest management(森林管理)、land use(土地使用)……	①高频热点主题开始形成热度稳定与增长规律;②树种、物种丰富度的研究热度仅次于热带森林,并均持续增长;③生境碎片化、物种组成、气候变化等研究主题保持较高关注度。
爆发期 Outbreak period (2000—2014 年)	Species richness(物种丰富度)、tropical forest(热带森林)、tree species(树种)、climate change(气候变化)、habitat fragmentation(生境碎片化)、boreal forest(北方针叶林)、species composition(物种组成)、community structure(群落结构)、land use(土地使用)、biodiversity conservation(生物多样性保护)……	①研究热点更加丰富,不同高频主题研究更加深入、持久和稳定;②气候变化、物种丰富度、树种以及热带森林作为研究热点整体热度持续上升;③北方针叶林、群落结构、生境碎片化、生物多样性保护、种子扩散等主题保持稳中有升。

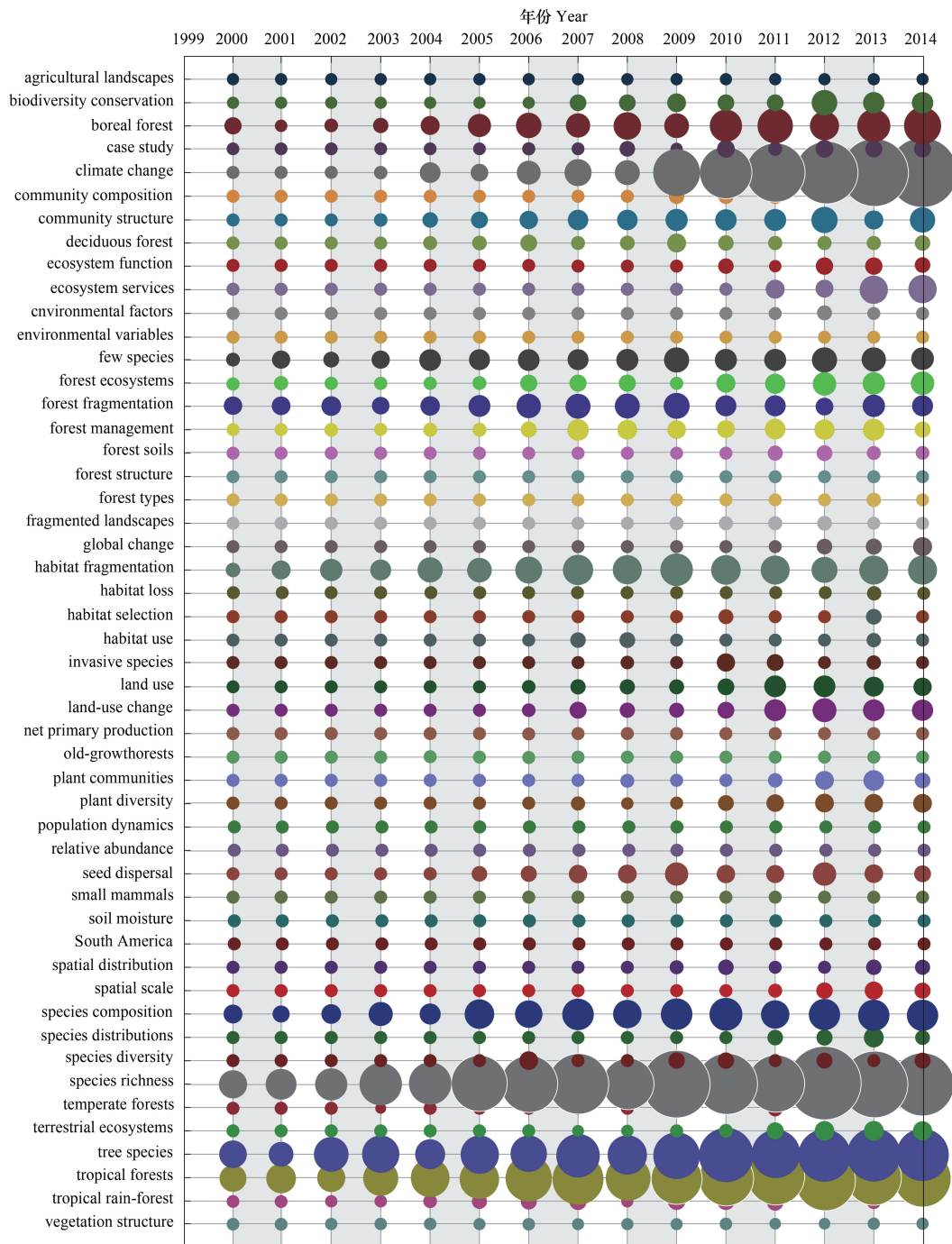


图6 2000—2014 森林生态高频词时序变化 (Top 50)

Fig.6 Time sequence of the Top 50 high frequency words of forest ecology

agricultural landscapes: 农业景观; Biodiversity conservation: 生物多样性保护; boreal forest: 北方森林; case study: 案例研究; climate change: 气候变化; community composition: 群落组成; community structure: 群落结构; deciduous forest: 落叶林; ecosystem function: 生态系统功能; ecosystem services: 生态系统服务; environmental factors: 环境因素; environmental variables: 环境变量; few species: 少数物种; forest ecosystems: 森林生态系统; forest fragmentation: 森林碎片; forest management: 森林管理; forest soils: 森林土壤; forest structure: 森林结构; forest types: 森林类型; fragmented landscapes: 景观碎片化; global change: 全球变化; habitat fragmentation: 生境碎片化; habitat loss: 生境丧失; habitat selection: 生境选择; habitat use: 栖息地使用; invasive species: 外来入侵物种; land use: 土地使用; land-use change: 土地使用变化; net primary production: 净初级生产; old-growth forests: 过熟森林; plant communities: 植物群落; plant diversity: 植物多样性; population dynamics: 种群动态; relative abundance: 相对丰富度; seed dispersal: 传播种子; small mammals: 小型哺乳动物; soil moisture: 土壤水分; South America: 南美洲; spatial distribution: 空间分布; spatial scale: 空间尺度; species composition: 物种组成; species distributions: 物种分布; species diversity: 物种多样性; species richness: 物种丰富度; temperate forests: 温带森林; terrestrial ecosystems: 陆地生态系统; tree species: 树种; tropical forests: 热带森林; tropical rain-forest: 热带雨林; vegetation structure: 植被结构

根据对各阶段被引次数 Top20 的代表性论文研究主题与研究内容分析发现,(1)孵化期(1905—1964 年)研究主题呈现两个特点:其一,主要是针对森林生态系统中的个体、森林生境、森林植被类型进行研究;其二,研究工作集中于英、美等国的少数热点区域,以局部研究为主。(2)培育期(1965—1976 年)研究主题集中为三个方面:其一,有关个体的生物生态学研究;其二,有关森林生态系统中物质循环和能量流动的研究;其三,有关森林生态系统内部结构与演化的研究。(3)发展期(1977—1989 年)研究主题主要包括六个方面:其一,森林生态系统和生物成分,包括种群、生态对策、种间关系等研究;其二,森林生态系统的自然环境及生态因子等研究;其三,森林生态系统的功能过程,主要是养分和物质循环研究;其四,森林生态系统的演替研究;其五,气候变化产生的生态学效应研究,相关研究为下一时期气候变化带来的森林生态学研究热点揭开了序幕;其六,生态学理论研究,如热带干旱森林生态学^[27]、热带雨林生态种群相关理论^[28]。(4)加速期(1990—1999 年)研究主题重点集中在四个方面:其一是关于森林生态系统变化过程的研究;其二是关于森林生态系统的生物成分的研究;其三是有关森林生态系统能量流动与物质循环的研究;其四是对森林生态系统应用的研究,如基于生物优势、土壤性质和气候构建全球生物群落模型^[29]、碎片化森林的边际效应以及对保护的启示^[30]。该阶段森林生态系统服务、系统内部物质循环和全球气候变化等研究主题进一步演绎,出现一批针对森林生态系统的、新型的研究主题。该时期,Lindenmayer 及其团队在维多利亚山地白灰森林开始了为期 25 年的研究,并从森林覆盖、森林结构、动物发生、干扰机制、森林管理与多样性保护等方面,围绕生物多样性保护、野火、伐木、管理和气候变化等主题为森林格局与生态系统的运作提供了深刻见解^[31]。(5)爆发期(2000—2014 年)研究主题重点分布在三个方面:其一是不同视角下的多样性研究,如物种多样性测度,群落生态中物种的相互关系,多样性维持机制,碎片化、土壤微生物、生物入侵、城市化、农业用地以及授粉服务、生物防治、河口与海岸保护等生态系统服务对生物多样性的影响;其二是从土壤碳储量、碳分布研究全球气候问题;其三是计算机科学与森林生态学在统计分类、解释与预测应用中的交叉融合。

3 讨论与展望

3.1 讨论

本文聚焦全球森林生态学学科发展态势,基于 1905—2014 年论文文献数据,从总体发展态势(论文产出、合作关系、主题相似度)以及不同阶段各研究主体的论文产出分布,高频词时序分布与高被引论文研究主题分析 3 个角度,全面地揭示了该学科领域 110 年以来的发展态势、研究力量分布和主题演变历程。

(1)从整体发展态势来看,全球森林生态学研究从 20 世纪初至今均处于十分活跃的研究状态。从时间维度与文献量增长角度,可将 110 年时间窗划分为孵化期、培育期、发展期、加速期以及爆发期等 5 个阶段。从国际科研合作角度,不同国家/地区之间形成了大、中、小规模合作网络,其中美国在科研合作网络中占据主导地位,与众多国家/地区建立密切合作关系。从主题相似度角度,不同国家/地区之间由于科研合作、地理地貌等因素在主题研究上既存在共性,也不乏差异与特色。

(2)从研究主体力量来看,美国在各个时期的论文产出均位居首位,并以美国森林服务局、中国科学院、俄勒冈州立大学等机构形成领跑及推动森林生态学研究的主要力量。此外,不同国家/地区或机构在不同阶段存在“交替上升”、“爆发上升”、“持续下滑”现象。这可能受社会、经济、科技政策等因素的影响,如美国森林服务局在 2006—2008 年发文量由遥遥领先后出现明显下滑;而中国科学院从 2002 年开始逐渐追赶,直至 2007 年与美国森林服务局并驾齐驱,并在 2012 年后实现超越。从美国角度,已有研究分析“美国悖论”现象指出:21 世纪初的 10 年间,美国投资的增加并没有带来文献产出的增加;相反,中国、韩国和新加坡等亚洲国家(地区)的研发投资迅速增加,导致美国和欧盟投资在总份额中不可避免地下降^[32]。而从中国的角度,2002 年正是中国科学院开始实施第一期“知识创新工程”之年;四年后,即 2006 年第二期“知识创新工程”开始实施,科研成果迅速增长,一定程度上体现为我国大力加强科研经费投入和促进学科发展的结果。正如研究表明:科研经费投入、基金资助、人才培养等均对我国科研产出的数量与质量的增长与提高具有积极推动作用^[33—34]。

(3)从高频词与高被引论文主题演变来看,总体而言,森林生态学研究主题表现出较强的阶段性和生态发展依附性。相关研究从早期围绕森林物种、种群生态学等中观问题开展研究,逐步转向侧重对生态系统过程、森林生态系统的物质循环与能量流动、生境碎片化及其生态效应等宏观问题的探讨;并在 21 世纪重点关注全球气候变化、生物多样性等问题。近年的相关国际会议议题也能够看出其中的变化,如第十届国际森林土壤学大会以“全球变化下的森林土壤:过程、生物多样性和生态服务功能”为主题,设置有“提出创新技术和新方法模拟和监测森林生态系统管理和人为干扰的影响”议题^[35];《生物多样性公约》自 1992 年签署以来,缔约方会议(COP)关注重点从海洋、海岸生物多样性,农业生物多样性,到内陆水域生态系统,草原生态系统,于 2002 年开始深入讨论森林生态系统以及外来物种等议题,而 2020 年第十五次会议(COP15)则是以“生态文明:共建地球生命共同体”为主题,呼吁各方响应共建地球生命共同体号召^[36]。其次,随着科学发展,不同阶段研究主题表现出更强的学科交叉性,包括近源学科的交叉与远源学科的交叉。前者如森林生态学与环境科学、植物科学等的交叉,后者如森林生态学与地理学、化学、计算机科学等学科的交叉。这些充分反映出在社会、生态、科技发展与人类命运共同体背景下,森林生态学的科学问题趋向深入、复杂,科学研究趋于深化、融合。

3.2 展望

从百年发展历程来看,森林生态学科每个发展阶段的研究热点(高频词)和主题总是与阶段性的经济、社会和环境等问题密切相关,正如 Kirby 和 Watkins^[37]在对欧洲森林的研究中指出:“不能脱离全球问题孤立地理解森林的过去和未来,除了树木疾病全球化的重要影响之外,还必须考虑到气候变化带来的广泛问题以及种植农作物对碳汇贡献的潜在价值。”此外,研究深度和广度又与相关学科与技术进步密切相关,学科交叉呈现出越来越明显的趋势。20 世纪末期以来,森林生态学重点关注的研究领域包括:森林生物多样性与生态系统服务功能、森林的生物多样性保育、森林与全球碳循环、极端气象事件对森林结构和功能的影响、森林生态系统对相邻生态系统的生物地球化学联系等。可以预见,当人类社会进入生态文明阶段后,随着人类命运共同体理念不断深入人心,森林生态国际合作研究将进一步深入。而基于“碳中和”理念的深入以及世界各国“碳中和”目标的设定,森林生态系统作为区域与全球碳循环的“主力军”,森林生态系统中的“碳中和”研究将为相关政策制定和实施提供数据基础和科学方法^[38]。

本文重点从总体发展趋势、不同阶段研究主体力量与研究主题 3 个方面研究了森林生态学百年发展历程及其演变,针对森林生态学相关研究问题,仍有许多值得进一步深入探索,包括:森林生态学发展历程与全球经济社会发展(例如,木材需求变化趋势、不同国家和地区的国内生产总值(GDP)变化趋势、人口变化趋势、城市化趋势)的量化关系,不同国家和地区的森林面积、森林类型、森林经营管理水平和经济发达程度与森林生态学发展的量化关系,森林生态学主要研究领域的演变趋势与阶段性的生态环境问题(例如,全球变暖趋势、淡水资源状况、极端气象事件)的耦合关系,以及森林生态学研究从深度与广度与相关科学技术发展(例如,3S 技术(遥感(Remote Sensing)、全球定位系统 GPS(Global Position System)和地理信息系统(Geographic Information System)的简称)、分子生物学技术、大数据)的耦合关系等。

致谢:感谢台州学院生命科学学院杨万勤教授对本研究提供的帮助。

参考文献(References):

- [1] 李景文. 森林生态学(第 2 版).北京:中国林业出版社,2002.
- [2] 蒋有绪. 森林生态学及其长期研究进展. 林业科技管理, 2003(2): 22-24.
- [3] 李文华, 赵景柱. 生态学研究回顾与展望. 北京:气象出版社, 2004.
- [4] 中国科学技术协会. 2008—2009 林业科学学科发展报告.北京:中国科学技术出版社,2009.
- [5] Song Y J, Zhao T Z. A bibliometric analysis of global forest ecology research during 2002-2011. SpringerPlus, 2013, 2(1): 204.
- [6] 黄东晓, 毛萍, 周华, 王海燕, 王芋华. 森林生态学研究态势计量分析. 世界科技研究与发展, 2015, 37(4): 450-456.
- [7] 杨敏, 鲁小珍, 张晓利. 近 20 年国内森林生态学热点问题综述. 中国城市林业, 2015, 13(4): 14-19, 28.

- [8] Clarivate analytics. Derwent Data Analyzer[EB/OL]. [2022-01-28]. <https://clarivate.com/derwent/solutions/derwent-data-analyzer-automated-ip-intelligence/>.
- [9] Sci2Team. Science of Science (Sci2) Tool[EB/OL]. [2022-01-28]. <https://sci2.cns.iu.edu>.
- [10] 廖胜姣, 肖仙桃. 科学知识图谱应用研究概述. 情报理论与实践, 2009, 32(1): 122-125.
- [11] 邱小花, 李国俊, 肖明. Sci2——一款新的知识图谱分析软件介绍与评价. 图书馆杂志, 2013, 32(9): 79-87.
- [12] 王曰芬, 李冬琼, 余厚强. 生命周期阶段中的科学合作网络演化及高影响力学者成长特征研究. 情报学报, 2018, 37(2): 121-131.
- [13] 曾红玲, 季劲钧, 吴国雄. 全球植被分布对气候影响的数值试验. 大气科学, 2010, 34(1): 1-11.
- [14] MacArthur R H. Population ecology of some warblers of northeastern coniferous forests. Ecology, 1958, 39(4): 599-619.
- [15] Janzen D H. Herbivores and the number of tree species in tropical forests. The American Naturalist, 1970, 104(940): 501-528.
- [16] Coley P D. Herbivory and defensive characteristics of tree species in a lowland tropical forest. Ecological Monographs, 1983, 53(2): 209-234.
- [17] Peterjohn W T, Correll D L. Nutrient dynamics in an agricultural watershed; observations on the role of a riparian forest. Ecology, 1984, 65(5): 1466-1475.
- [18] Vitousek P M, Sanford R L Jr. Nutrient cycling in moist tropical forest. Annual Review of Ecology and Systematics, 1986, 17(1): 137-167.
- [19] Running S W, Coughlan J C. A general model of forest ecosystem processes for regional applications I. Hydrologic balance, canopy gas exchange and primary production processes. Ecological Modelling, 1988, 42(2): 125-154.
- [20] Currie D J. Energy and large-scale patterns of animal- and plant-species richness. The American Naturalist, 1991, 137(1): 27-49.
- [21] Davidson E A, Belk E, Boone R D. Soil water content and temperature as independent or confounded factors controlling soil respiration in a temperate mixed hardwood forest. Global Change Biology, 1998, 4(2): 217-227.
- [22] Gotelli N J, Colwell R K. Quantifying biodiversity: procedures and pitfalls in the measurement and comparison of species richness. Ecology Letters, 2001, 4(4): 379-391.
- [23] Cramer W, Bondeau A, Woodward F I, Prentice I C, Betts R A, Brovkin V, Cox P M, Fisher V, Foley J A, Friend A D, Kucharik C, Lomas M R, Ramankutty N, Sitch S, Smith B, White A, Young-Molling C. Global response of terrestrial ecosystem structure and function to CO₂ and climate change: results from six dynamic global vegetation models. Global Change Biology, 2001, 7(4): 357-373.
- [24] Berkes F, Colding J, Folke C. Rediscovery of traditional ecological knowledge as adaptive management. Ecological Applications, 2000, 10(5): 1251-1262.
- [25] Anderson M J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. Austral Ecology, 2001, 26(1): 32-46.
- [26] 马费成, 张勤. 国内外知识管理研究热点——基于词频的统计分析. 情报学报, 2006, 25(2): 163-171.
- [27] Murphy P G, Lugo A E. Ecology of tropical dry forest. Annual Review of Ecology and Systematics, 1986, 17(1): 67-88.
- [28] Swaine M D, Whitmore T C. On the definition of ecological species groups in tropical rain forests. Vegetatio, 1988, 75(1/2): 81-86.
- [29] Prentice I C, Cramer W, Harrison S P, Leemans R, Monserud R A, Solomon A M. Special paper: a global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate. Journal of Biogeography, 1992, 19(2): 117.
- [30] Murcia C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. Trends in Ecology & Evolution, 1995, 10(2): 58-62.
- [31] Lindenmayer D. Forest Pattern and Ecological Process. Clayton: CSIRO Publishing, 2009.
- [32] Shelton R D. Relations between national research investment and publication output: application to an American Paradox. Scientometrics, 2008, 74(2): 191-205.
- [33] Gao J P, Su C, Wang H Y, Zhai L H, Pan Y T. Research fund evaluation based on academic publication output analysis: the case of Chinese research fund evaluation. Scientometrics, 2019, 119(2): 959-972.
- [34] 孙玉涛, 张艺蕾. 海外人才引进计划提升了我国大学科研产出吗? ——以“211”工程大学化学学科为例. 科研管理, 2021, 42(10): 20-27.
- [35] 中国土壤学会. 第十届国际森林土壤学大会(第二轮通知)[EB/OL]. [2022-02-12]. http://www.csss.org.cn/data/attachment/file/20220118/20220118170443_78996.pdf.
- [36] Convention on Biological Diversity. [EB/OL]. [2002-02-12]. <https://www.cbd.int/cop/>.
- [37] Kirby K J, Watkins C. Europe's changing woods and forests; from wildwood to managed landscapes[M]. Wallingford: CABI, 2015.
- [38] 方精云. 中国森林生态系统碳收支研究. 北京: 科学出版社, 2021.