

基于 CiteSpace 的森林小气候研究态势与热点分析^①

陈文盛, 丁慧慧, 李江荣, 陈康, 汪汉驹

西藏农牧学院 高原生态研究所/西藏高原森林生态教育部重点实验室/西藏林芝高山森林生态系统国家野外科学观测研究站/
西藏自治区高寒植被生态安全重点实验室, 西藏 林芝 860000

摘要: 为更深入了解森林小气候领域的发展规律与前沿热点, 运用 CiteSpace 文献计量软件从文献基本特征(发文量、学科、期刊、作者、机构、国家)、学术版图、研究热点与前沿等角度对中国知网与 Web of Science 两个数据库中 2000—2021 年森林小气候领域的 2 778 篇中英文文献进行可视化分析. 结果表明: ①近 20 a 来, 国内外学者在森林小气候领域主要围绕研究对象(如冷杉林、次生林等)、研究指标(如树冠蒸腾、土壤呼吸等)、研究理论(如边缘效应、小气候效应)、研究方法(如逐步回归、旷场实验等)、气象因子(如太阳辐射、空气温湿度等)与生物因子(如树冠形态等)等 6 块学术版图进行研究; ②第 1 阶段(2000—2009 年)是森林小气候领域的快速发展与繁盛阶段, 重点围绕森林对气象因子的改善作用等基础研究展开, 第 2 阶段(2010—2021 年)是对该领域的补充发展阶段, 重点围绕森林与人的关系等应用研究展开, 并与城市发展、人体健康等话题相结合; ③该领域文献半衰期短(0.77—2.31 a), 老化速度快, 发展迅速. 我国在该领域的发展处于上升阶段, 发文量不少, 但同时存在文献影响力较低等问题. 未来几年的发展趋势仍会围绕城市的发展以及与人的关系进行展开, 森林康养、人体舒适度的提高、生态系统服务、森林小气候特征对“碳源”“碳汇”的影响机制以及高山林线的气候变化等研究方向可能成为热点主题.

关键词: 森林小气候; CiteSpace; 研究现状; 文献计量学; Web of Science(WOS); 中国知网(CNKI)

中图分类号: S716.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-5471(2023)02-0051-14

Research Situation and Hotspot Analysis of Forest Microclimate Research Based on CiteSpace

CHEN Wensheng, DING Huihui,
LI Jiangrong, CHEN Kang, WANG Hanju

Research Institute of Tibet Plateau Ecology, Tibet Agriculture and Animal Husbandry University/

Key Laboratory of Forest Ecology in Tibet Plateau, Ministry of Education/ National Key Station of Field Scientific Observation and Experiment/

Key Laboratory of Alpine Vegetation Ecological Security in Tibet, Nyingchi Tibet 860000, China

Abstract: To have a deeper understanding of the development laws and frontier hotspots in the field of forest microclimate, the CiteSpace bibliometric software was used to visually analyze the basic characteristics

① 收稿日期: 2022-06-08

基金项目: 西藏自治区自然科学基金项目(XZ2018ZR G-16); 西藏自治区教育厅西藏林芝森林生态站辐射基准站与冻土自动监测系统建设项目(502219001); 西藏高原森林生态教育部重点实验室开放课题(XZA-JYBSYS-2021-Y10).

作者简介: 陈文盛, 硕士研究生, 主要从事森林生态学和森林气象研究.

通信作者: 李江荣, 副教授, 博士.

of the literature (number of publications, disciplines, journals, authors, institutions, countries), academic layout, research hotspots, research frontiers, and other perspectives of 2778 Chinese and English documents in the forest microclimate field from 2000 to 2021 in the two databases of China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science (WOS). The results showed that: ① Scholars at home and abroad in the field of forest microclimate in the past 20 years have mainly focused on 6 academic layouts for research, namely research objects (such as fir forests, secondary forests, etc.), research methods (such as stepwise regression, open field experiments, etc.), meteorological factors (such as solar radiation, air temperature and humidity, etc.) and biological factors (such as canopy shape, etc.); ② The first stage (2000—2009) was a stage of rapid development and prosperity in the field of forest microclimate, focusing on basic research on the improvement of meteorological factors through forests. The second stage (2010—2021) was a supplementary development stage for the neighborhood. It focuses on applied basic research on the relationship between forests and “humanity” and combines them with topics such as urban development and human health; ③ The literature in this field had a short half-life (0.77—2.31 years), rapid aging, and rapid development. At present, China’s development in this field is in an ascending stage, with a lot of publications, but at the same time, there are problems, such as low literature influence. And the development trend in the next few years will continue to focus on the development of cities and the relationship with “humanity.” The research directions of forest health and maintenance, improvement of human comfort, ecosystem services, forest microclimate characteristics on “carbon sources” and “carbon sinks” and the climate change of alpine timberline may become hot topics.

Key words: forest microclimate; CiteSpace; research status; bibliometrics; Web of Science(WOS); China National Knowledge Infrastructure(CNKI)

森林小气候是指在森林内乔木层、灌木层与草本层共同作用下所形成的不同于大环境下的局部地区的气候^[1], 主要是通过不同的林型、树木生长情况、地形地势等(统称下垫面)影响林内光、热、水、汽等气象要素综合作用的结果. 森林小气候的研究能够体现森林与气象因子之间的关系与时空变化规律^[2], 对地表植被的组成及其分解过程具有中介性^[3], 且能够评估森林生态系统的服务功能^[4]. 目前, 国内外对森林小气候的研究工作主要围绕 4 个方面展开: 一是对不同冠层结构的小气候研究. 如 Zellweger 等^[5]与 Jucker 等^[6]认为不同的冠层结构具有不同的小气候特征, Kovács 等^[7]认为不同的林业处理(改变冠层结构)会造成不同的微气候特征, 杨钙仁等^[8]研究了不同冠层结构针阔混交林与纯桉树林之间森林小气候的差异. 二是对林内垂直梯度上小气候研究. 如 Takemoto^[9]认为影响森林小气候的主要因素是森林的垂直结构, 程璨^[10]研究了空青山次生栎林温度垂直梯度变化, 并认为太阳辐射是其主要影响因素; 王霞等^[11]对比黄河三角洲白蜡人工林冠层上与冠层内的小气候特征, 认为冠层具有保温增湿、降低风速的作用. 三是对林内与林外的小气候研究. 如 Georg 等^[12]研究了疏密林冠下小气候与邻近开阔区小气候的关系; Spittlehouse 等^[13]通过对比林内、林外、林缘 3 种不同生境的温度、湿度和辐射等, 阐述了森林的小气候效应; 孙金伟等^[4]和李洁等^[2]分别对长白山阔叶红松林、昆明树木园林内与林外的小气候特征展开了对比研究. 四是对林线过渡带区域的小气候研究. 如何吉成等^[14]、Liu 等^[15]、殷文杰等^[16]和王媛韬等^[17]对藏东南色季拉山林线过渡带的生态气候进行了研究; 王晓东等^[18]和薛峰等^[19]也分别对长白山北坡岳桦林线与芦芽山针叶林林线展开了小气候的研究.

文献计量学是通过数学与统计的方法对文献进行处理并提取可量化的数据用来评价某个学科或领域的发展水平及现状^[20]. CiteSpace 是一种进行文献计量分析的软件工具, 在众多研究领域得到了广泛运用, 弥补了传统文献综述定量的不足, 可直观地表达研究前沿与热点^[21-22]. 国内外对森林小气候进行了相对系统的研究, 但很少采用文献计量学的方法对其进行研究, 本研究基于中国知网(CNKI)与 Web of Science (WOS)文献数据库, 利用 CiteSpace 对近 20 年有关森林小气候的研究成果进行可视化分析, 旨在揭示该

领域国内外的研究现状与热点, 以期为森林小气候相关研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 数据来源

本研究的数据来源于 CNKI 与 WOS 文献数据库, 其中中文文献检索采用 CNKI, 主题词为“森林小气候”“森林气象学”“森林微气候”“森林生态气候”, 时间跨度为 2000—2021 年, 去除英文文献、科技成果及不相关文献, 最终获得的文献数量为 167 篇; 英文文献检索主要采用 WOS 数据库, 高级检索下 Booleans 检索式: (TS=(forest meteorology * OR ecoclimate * OR forest microclimate)), 语种为 English, 文献类型为 Article 与 Review, 时间跨度为 2000—2021 年, 去重后最终获得的文献数量为 2 611 篇(其中研究报告 2 531 篇, 研究综述 80 篇)。检索时间均为 2021 年 10 月 5 日。

1.2 研究方法

采用 CiteSpace(5.7.R5W)文献计量软件结合数据库的可视化对检索文献进行分析。在图谱中, 节点大小代表频次的高低, 反映该时段关注的焦点, 而连线粗细代表共现频次的多少^[23]; 中心性代表其在知识网络中的作用, 中心性越高说明关键性越强^[24]; 爆发值与突现值相关, 是评判文献或关键词活跃度大小的指标^[20]; H 指数则是用来衡量期刊的学术影响力, H 指数越大, 说明其学术影响力越大^[25]; 并用论文专业度、期刊自引率、核心作者的最少发文量和文献半衰期等指标进行讨论^[26-30]。

1) 论文专业度为:

$$S_p = \frac{\sum_i m_i^2}{(\sum_i m_i)^2} \quad (1)$$

式中: S_p 为论文专业度, m_i 为学科类别中的文献数。

2) 期刊自引率为:

$$R_{\text{RSC-ing}} = \frac{a}{a+b} \quad (2)$$

式中: $R_{\text{RSC-ing}}$ 为期刊自引率, a 为期刊自引次数, b 为引用其他期刊次数。

3) 根据普赖斯定律, 核心作者的最少发文量为:

$$M \approx 0.749 \times \sqrt{N_{\max}} \quad (3)$$

式中: M 为核心作者的最少发文量, $N_{\max}$ 为作者最多发文量。

4) 文献半衰期为:

$$y = 1 - (ae^{-x} + be^{-2x}) \quad (4)$$

$$a + b = 1 \quad (5)$$

$$T_{1/2} = 10 \ln[a + \sqrt{(a^2 - 2a + 2)}] \quad (6)$$

式中: x 为时间(以 10 a 为计量单位), y 是经过 x 时间时总的引文比率, a 和 b 均是系数, $T_{1/2}$ 是文献半衰期, (6) 式运用 B-K 方程计算方法。

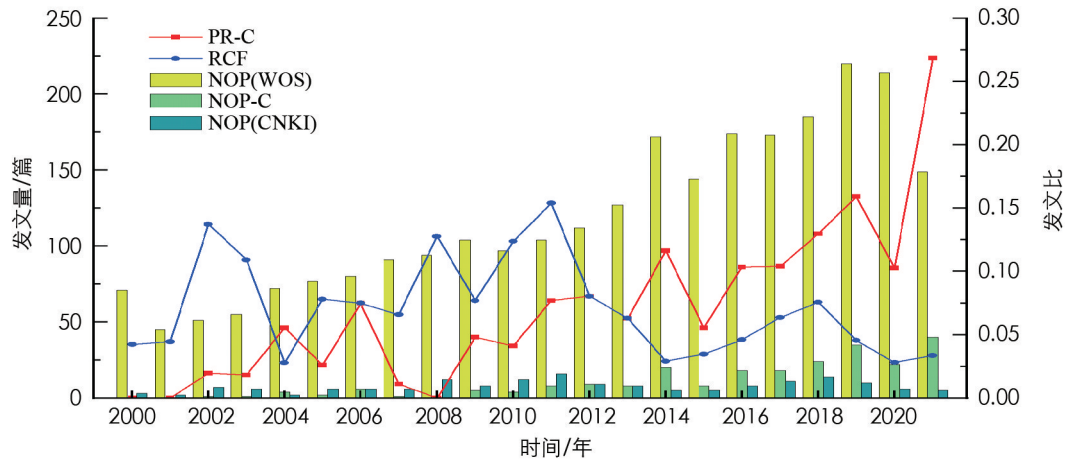
2 结果与讨论

2.1 森林小气候文献基本特征分析

2.1.1 发文年变化趋势

单位时间内发文量的变化程度代表着该学科或领域的研究趋势与学术活跃度^[31-32]。分析 CNKI(167 篇)与 WOS(2 611 篇)两个数据库的 2 778 篇检索文献发现(图 1), 2000—2021 年, 英文文献的年均发表量为 118.68 篇, 且增长显著, 以平均 5.91 篇/a 的速率逐年增加, 近 10 a 发文量占总数的 68.90%; 中国作者在 WOS 的发文量为 234 篇, 占总发文量的 8.96%, 以平均 1.82 篇/a 的速率逐年增加; 而中文文献的年

均发表量为 7.59 篇,以平均 0.09 篇/a 的速率逐年增加,且中文文献每年的发表总量始终低于英文文献,两者的平均发文比为 0.07,总体发文趋势为前 10 a 发文比波动较大,后 10 a 波动较小且呈下降趋势.总而言之,森林小气候研究在中外都取得了一定的成果,但中英文文献的数量之间相差较大,也说明近 20 a 该领域得到了国外学者较大的重视,而并没有得到国内学者足够的关注,国内发展较为缓慢;同时国内学者的英文发文量(234 篇)要多于中文发文量(167 篇),也说明在该领域内国内学者更趋向于外文期刊.



PR-C: 中国作者在 WOS 的发文量; RCF: 中英文文献发文比; NOP(WOS): WOS 发文量;
NOP-C: 中国作者在 WOS 的发文量; NOP(CNKI): CNKI 发文量.

图 1 2000—2021 年森林小气候研究文献年发表量

2.1.2 学科分布与期刊分析

多学科的交叉与融合已成为一种趋势,了解学科间的内容交汇与知识演化,可以为学科发展提供进一步的参考^[33]. 森林小气候领域也出现了多学科内容交汇的情况,探明其学科分布与知识演化,对研究其发展趋势具有重大意义. 因 CNKI 数据库文献数量较少,所以只对 WOS 数据库的学科分布与期刊展开讨论, CNKI 的数据仅作为对比分析. 近 20 a 与森林小气候领域相近的各个学科发文量逐年增多,且 2016—2021 年的发文量平均为 2000—2005 年的 3 倍(表 1). 论文专业度(S_p)指的是文献所属学科类别的集中化程度, S_p 越小,说明该领域的学科分布越广^[33]; WOS 数据库中森林小气候领域的 S_p 维持在 0.15~0.18(表 2), 低于图书情报领域的 0.32~0.39^[33]、生物传感器领域的 0.23 及 Enso 循环领域的 0.45^[34], 说明森林小气候领域的学科分布比其他领域广; 而 CNKI 的 S_p 为 0.34~0.60, 整体呈递减趋势, 说明随着时间推移该领域的学科分布在国内趋于变广, 且在 S_p 上, CNKI 大于 WOS. 总而言之,从专业度上分析,森林小气候领域呈现出了多学科交叉与融合的趋势.

表 1 森林小气候研究领域学科分布前 10 及其发文量(WOS)

排名	学科	发文量/篇				总计(占比/%)
		2000—2005 年	2006—2010 年	2011—2015 年	2016—2021 年	
1	生态学	158	157	225	385	925 (35.43)
2	林学	103	134	173	301	711 (27.23)
3	环境科学	52	75	104	217	448 (17.16)
4	植物学	51	66	86	128	331 (12.68)
5	生物多样性保护	46	49	69	105	269 (10.30)
6	气象学与大气科学	21	25	33	93	172 (6.59)
7	农学	16	31	29	75	151 (5.78)
8	土壤学	21	29	29	55	134 (5.13)
9	动物学	20	28	29	49	126 (4.83)
10	地学	17	20	33	53	123 (4.71)

表 2 WOS 与 CNKI 论文专业度比较

时间段/年	WOS 专业度	CNKI 专业度
2000—2005	0.18	0.60
2006—2010	0.15	0.42
2011—2015	0.16	0.34
2016—2021	0.16	0.37

注: WOS 与 CNKI 数据库分别采用学科分布前 10 名、前 6 名进行计算。

对期刊进行可视化分析能够了解相关领域文献流入的情况,也能够为科研工作者文献阅读与发表提供便利^[31,33];引入期刊自引率来评价期刊是否为健康状态,大于 20%均可认定为过度自引(高危期刊)^[35].近 20 a 森林小气候领域发文量排名前 10 的期刊(表 3),《Forest Ecology and Management》在该领域的发文量高达 213 篇(占比 8.16%),远远高于排名第 2 的《Agricultural and Forest Meteorology》(87 篇,占比 3.33%),同时《Forest Ecology and Management》的被引频次与 H 指数均为最高,也说明了在该领域中该期刊一直处于领先地位;从影响因子分析,《Global Change Biology》最高(10.863),《Plant Ecology》最低(1.854);此外,这 10 种期刊的 $R_{RSC-ing}$ 范围均小于 5%,低于我国期刊的平均 $R_{RSC-ing}$ 的水平(5%~20%)^[36],其中《ECOSPHERE》的 $R_{RSC-ing}$ 为 0,均说明该领域的期刊较为健康。

表 3 森林小气候领域发文量排名前 10 的期刊(WOS)

排名	期刊	发文量 /篇	占比 /%	被引频 次/次	篇均被引 频次/次	自引率 /%	H 指数	影响 因子	JCR 分区
1	Forest Ecology and Management	213	8.16	6 277	29.47	2.41	43	3.558	Q2
2	Agricultural and Forest Meteorology	87	3.33	2 364	27.17	3.34	29	5.734	Q1
3	Plos One	49	1.88	903	18.43	0.22	16	3.24	Q3
4	Biological Conservation	40	1.53	2 867	71.68	0.59	25	5.99	Q2
5	Forests	39	1.49	180	4.62	0.56	9	2.633	Q2
6	Global Change Biology	38	1.46	2 134	56.16	0.66	24	10.863	Q1
7	Canadian Journal of Forest Research	36	1.38	745	20.69	4.30	17	1.991	Q3
8	Biotropica	33	1.26	883	26.76	1.13	17	2.508	Q3
9	Plant Ecology	32	1.23	1 108	34.63	0.45	17	1.854	Q4
10	Ecosphere	31	1.19	288	9.29	0.00	9	3.171	Q3

注: 影响因子、JCR 分区来源于 Journal Citation Reports™ 2020.

2.1.3 文献作者

“小同行”概念的提出促进了对同一领域内作者发文情况的分析研究,也能为文献阅读者提供检索便利^[37].近 20 a 发表中文文献(CNKI)的作者共有 407 位,发表英文文献(WOS)的作者共有 768 位,因 CNKI 数据库文献数量较少,所以也只对 WOS 数据库的发文作者(表 4)展开详细讨论. WOS 数据库发文量最多与 H 指数最高的是来自 Ghent University 的 Verheyen(25 篇,12),被引频次、篇均被引频次与 H 指数最高的是中国地质大学的 Chen(1 366 次,85.38 次,12),说明这两位作者在该领域具有较大的影响力.探讨核心作者群对分辨该领域内的专家以及分析研究前沿具有重大的意义^[31].本研究根据普赖斯定律来衡量作者的学术产出,从而分析其是否为该领域的核心作者^[38].由表 4 可知 WOS 的作者最多发文量为 25 篇(Verheyen K),因此由(3)式可以得知发文量分别不少于 4 篇就可认为其是森林小气候研究领域的核心作者,其中,英文文献的核心作者共 72 位,占总发文作者数的 9.39%,而核心作者发文量 688 篇,占总发文量的 26.35%;根据核心作者发文量占比超过总发文量的 50%即可认定其是稳固的核心作者群^[31],从而得知并未形成稳固的核心作者群。

表 4 森林小气候研究领域作者发文量前 10 名(WOS)

排名	作者	发文量 /篇	被引频次 /次	篇均被引频次 /次	H 指数
1	Verheyen K	25	1 011	40.44	12
2	de Frenne P	19	841	44.26	10
3	Lenoir J	19	515	27.11	10
4	Chen J Q	16	1 366	85.38	12
5	Hylander K	16	498	31.13	10
6	Brunet J	15	659	43.93	8
7	Turner E C	13	456	35.08	9
8	Zotz G	13	318	24.46	10
9	Odor P	13	291	22.38	7
10	Lencinas M V	13	132	10.15	7

2.1.4 文献发表机构

对 WOS 数据库进行分析,共有 566 个机构对森林小气候领域展开了研究,其中美国农业部的发文量(173 篇,占比 6.63%)、被引频次(5 566)与 H 指数(43)最高,而篇均被引频数最高的是加州大学(42.19);在发文量前 10 名机构中,来自美国的研究机构 5 个,占比 50%,发文量占前 10 发文量的 61.56%,且发文量前 3 也均来自美国,可看出美国研究机构在该领域具有较大的影响力.而在前 10 当中有一个中国机构(中国科学院),其发文量位列第 4,但被引频次(1 791)、篇均被引频次(17.39)与 H 指数(22)均处于较低水平(表 5).对 CNKI 数据库进行分析,国内共有 119 个研究机构对森林小气候邻域展开研究(表 6),其中发文量最多的是南京林业大学(10 篇,占比 5.99%),说明该机构对该领域研究较为关注;被引频次与篇均被引频次最多的是北京林业大学(146 次,16.22 次),说明该机构的产出质量较高;下载量与篇均下载量最多的是来自中国林业科学研究院(4 944 次,824 次),且均为硕博论文,说明该机构所产出论文的传播性较高.

2.1.5 文献发表国家

全球共有 111 个国家对森林小气候领域展开了研究,其中美国发文量(875 篇,占比 33.51%)、被引频次(28 227)、 H 指数(78)最高,英国篇均被引频次(39.5 次)最高;而中国文献被引频次(3 816 次)、篇均被引频次(16.45 次)与 H 指数(29)最低,中心性最低的则是瑞典与瑞士(0.04)(表 7).整体来看,欧美国家在该领域的研究具有一定的领先地位,而中国在该领域的产出质量不高,有待加强.

表 5 森林小气候研究领域机构发文量前 10 名(WOS)

排名	机构	国家	发文量 /篇	发文量占 比/%	被引频次 /次	篇均被 引频次/次	H 指数
1	美国农业部	USA	173	6.63	5 566	32.17	43
2	美国林业局	USA	157	6.01	5 303	33.78	42
3	加州大学	USA	106	4.06	4 472	42.19	35
4	中国科学院	China	103	3.94	1 791	17.39	22
5	哥廷根大学	Germany	75	2.87	2 233	29.77	29
6	瑞典农业科学大学	Sweden	59	2.26	1 983	33.61	22
7	佛罗里达州立大学	USA	57	2.18	1 962	34.42	23
8	法国国家科学研究中心	France	51	1.95	1 395	27.35	20
9	联邦森林、雪与景观研究所	Switzerland	51	1.95	1 588	31.14	22
10	史密森学会	USA	50	1.91	2 329	46.58	23

表 6 森林小气候研究领域机构发文量前 10 名(CNKI)

排名	机构	发文量 /篇	发文量 占比/%	被引频次 /次	篇均被引 频次/次	下载量 /次	篇均 下载量/次
1	南京林业大学	10	5.99	140	14.00	3 656	365.60
2	北京林业大学	9	5.39	146	16.22	4 736	526.22
3	广西大学	8	4.79	121	15.13	1 098	137.25
4	中南林业科技大学	7	4.19	140	20.00	3 388	484.00
5	东北林业大学	6	3.59	57	9.50	1 780	296.67
6	中国林业科学研究院	6	3.59	95	15.83	4 944	824.00
7	中国科学院沈阳应用生态研究所	4	2.40	124	31.00	2 042	510.50
8	中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所	4	2.40	53	13.25	585	146.25
9	中国科学院大学	4	2.40	47	11.75	1 490	372.50
10	河北农业大学	4	2.40	37	9.25	1 148	287.00

表 7 森林小气候研究领域国家发文量前 10 名

排名	国家	发文量 /篇	发文量 占比/%	被引频次 /次	篇均被 引频次/次	<i>H</i> 指数	中心性
1	美国	875	33.51	28 227	32.26	78	0.31
2	德国	303	11.60	9 385	30.97	50	0.25
3	加拿大	255	9.77	9 402	36.87	50	0.08
4	中国	232	8.89	3 816	16.45	29	0.10
5	巴西	209	8.00	4 868	23.29	35	0.05
6	英国	174	6.66	6 873	39.50	46	0.26
7	澳大利亚	172	6.59	6 725	39.10	41	0.11
8	法国	115	4.40	3 742	32.54	29	0.16
9	瑞典	106	4.06	4 077	38.46	30	0.04
10	瑞士	102	3.91	3 664	35.92	33	0.04

2.2 学术版图分析

关键词是作者对文献内容及其研究思想的凝结,代表着该研究领域的方向、版图与热点^[31, 39]. 运用关键词聚类分析来确定森林小气候研究领域的学术版图,设定 Time slicing 为 2000 年 1 月—2021 年 10 月, Years Per Slice 为 1 年, Node Types 为 Keywords, Pruning 选择 Pathfinder 与 Pruning Sliced networks, 计算方法选择“LLR”,其他均为默认. 分析结果为:英文文献显示了 662 个节点, 3 950 条连线,形成了 11 个聚类(图 2a),模块值 Q 为 $0.360\ 3>0.3$,聚类结构显著,轮廓均值 S 为 $0.665>0.5$,聚类结果可信;中文文献显示了 404 个节点, 880 条连线,形成了 14 个聚类(图 2b),模块值 Q 为 $0.791\ 6>0.3$,聚类结构显著,轮廓均值 S 为 $0.938\ 2>0.5$,聚类结果可信.

2.2.1 英文文献学术版图分析

＃0,＃4 和＃6 聚类分别是亚高山冷杉林、国家公园、俄勒冈州西部,这 3 项主要以研究对象或研究地点进行聚类,讨论某块区域的小气候特征^[40-42];＃1 和＃2 聚类分别是树冠蒸腾与土壤呼吸,这 2 项主要以研究指标进行聚类,讨论在不同环境(气候条件)下所造成对应结果的不同^[43-46];＃3 聚类是边缘效应,指的是在林缘地带表现出不同于林内中心地带的生态学特征,具有环境异质性^[47],主要以研究理论进行聚类,讨论的是边缘效应与小气候的关系^[48-49];＃9 聚类是太阳辐射,主要以气象因子进行聚类,讨论的是小气候各指标的时空变化特征^[50-51];＃10 聚类是景观生态系统,主要以宏观生态学进行聚类,讨论的是小气候特征与整个森林生态系统的关系^[52].

2.2.2 中文文献学术版图分析

＃0 和＃1 聚类是小气候与森林小气候,以研究主题进行聚类,主要讨论的是小区域内非生物因子的时空变化特征^[53];＃2,＃6 和＃13 聚类分别是城市森林、次生林、九华山,以研究地点或对象进行聚类,

讨论的是某个区域的森林小气候特征^[54-56]；#3 和 #4 聚类分别是森林气象学与小气候效应，以研究理论进行聚类，主要讨论的是森林对空气温湿度等气象要素的调节效应^[57]；#5, #7 和 #9 聚类分别是逐步回归、旷场实验与模糊综合分析，以研究方法进行聚类，利用以上方法来评价生态效益的大小^[58-60]；#8 聚类是树冠形态，以生物因子进行聚类，讨论的是生物因子与气候要素之间的关系^[61]。

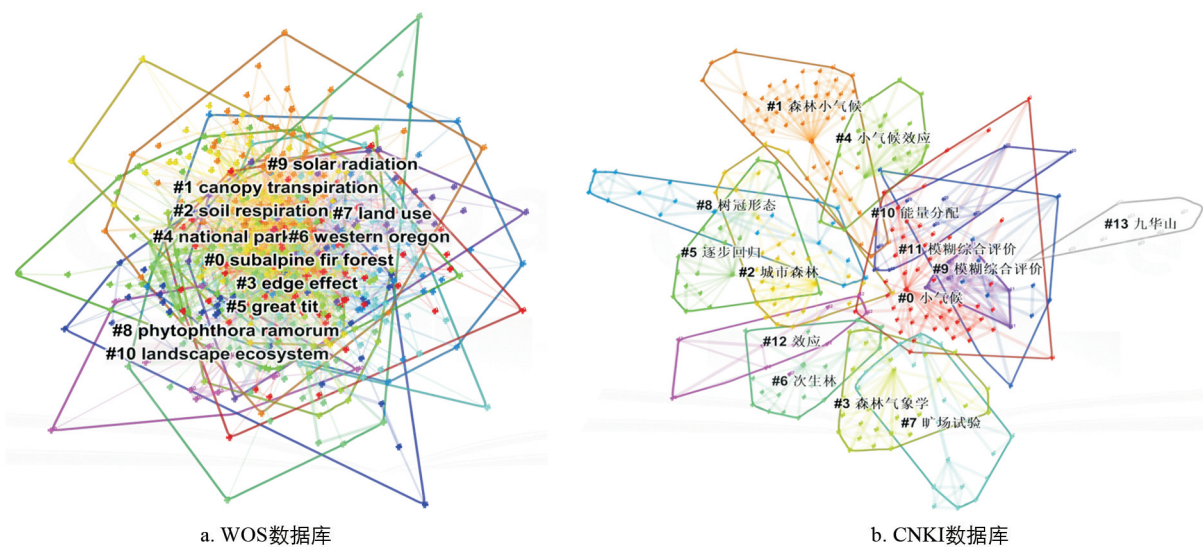


图 2 森林小气候领域关键词聚类网络图谱

2.3 研究热点与前沿分析

2.3.1 研究热点分析

为了更加直观地了解关键词在某个时间段的具体情况，采用 CiteSpace 的关键词时区图来进行分析。WOS 数据库在 2000—2004 年新出现的关键词较多，但随着年份的增加，新关键词的出现数量逐步减少，而 CNKI 数据库在近 20 a 间新出现的关键词次数表现为先增后减。与此同时，根据关键词时区图(图 3 和图 4)大致可将研究热点分为 2 个阶段。第 1 阶段(2000—2009 年)是森林小气候领域的快速发展与繁盛阶段，重点围绕森林对气象因子的改善作用等基础研究。在 WOS 数据库中出现频次最多的关键词主要有：micro-climate(小气候，950 次)、forest(森林，474 次)、climate change(气候变化，389 次)、vegetation(植被，341 次)、temperature(温度，281 次)等；在 CNKI 数据库出现次数最多的关键词是小气候(42 次)、森林小气候(24 次)、城市森林(18 次)、小气候特征(11 次)、森林(9 次)等，同时也出现了土壤、呼吸、昆虫、土壤养分、空间格局等向其他领域或学科渗透的关键词。第 2 阶段(2010—2021 年)是对该领域的补充发展阶段，重点围绕该领域的应用基础研究，并与城市发展、人体健康等话题相结合。在 WOS 数据库中出现次数最多的关键词主要有：ecosystem service(生态系统服务，34 次)、sap flow(液流，31 次)、 β -diversity(β 多样性，19 次)、heat island(热岛效应，15 次)、organic carbon(有机碳，15 次)；在 CNKI 数据库出现次数最多的关键词是人体舒适度(5 次)、森林康养(4 次)、气候舒适度(5 次)、人工林(3 次)、森林火险等级(2 次)等。

对中英文文献关键词时区图进行比较分析发现，英文文献对森林小气候的研究主要出现在 2000 年甚至更早，而中文文献中在 2000 年也提出了小气候效应、气象要素等与森林小气候领域有关的关键词，但对“森林小气候”与“小气候”的系统研究主要开始于 2002—2003 年，说明中文文献在该领域的研究具有一定的滞后性，处于被动状态；而随着时间的推移，中文文献的研究重点逐步向森林小气候特征与人之间的关系研究上倾斜(首次出现于 2005 年)，出现了生态效益、气候舒适度、空气负离子浓度、森林旅游、舒适有效温度、空气舒适度、空气清洁度等与人体健康相关的关键词，而英文文献对于该方面的研究起步却较晚，与人有关的关键词，如 heart(心脏)、feedback(反馈)、fire severity(火灾严重性)、Ecosystem service(生态系统服务)等首次出现的时间均在 2010 年之后，说明中文文献在该方面的研究具有一定的创新性与先进性。

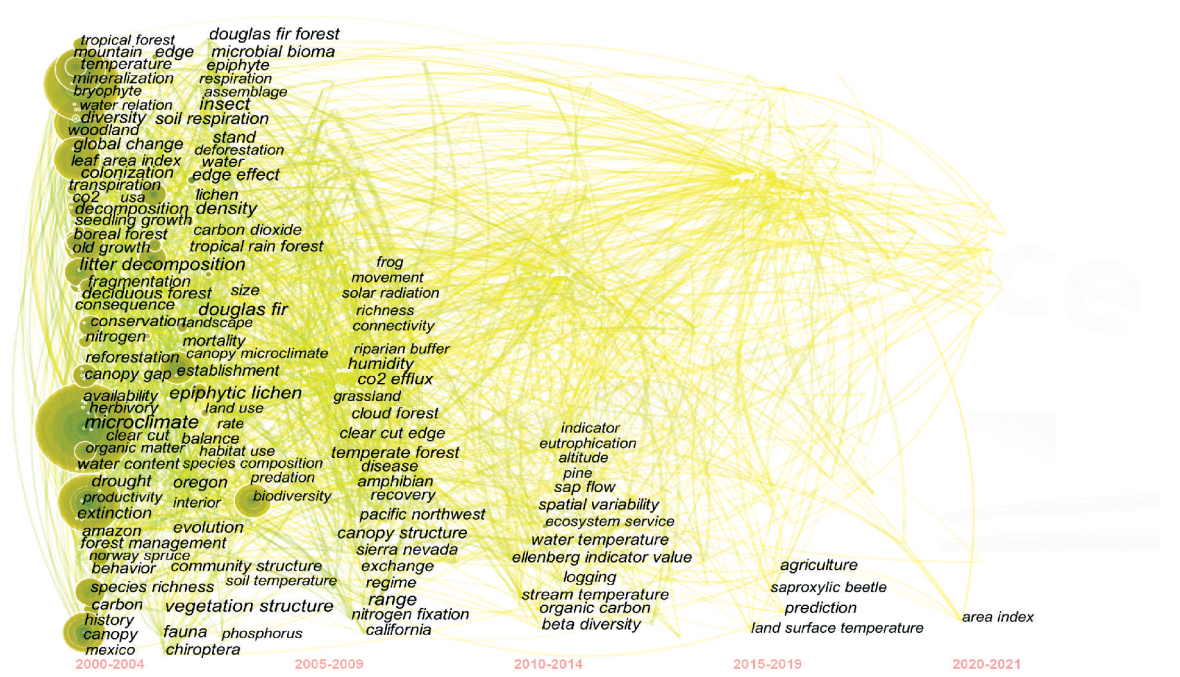


图 3 森林小气候领域关键词时区图(WOS)

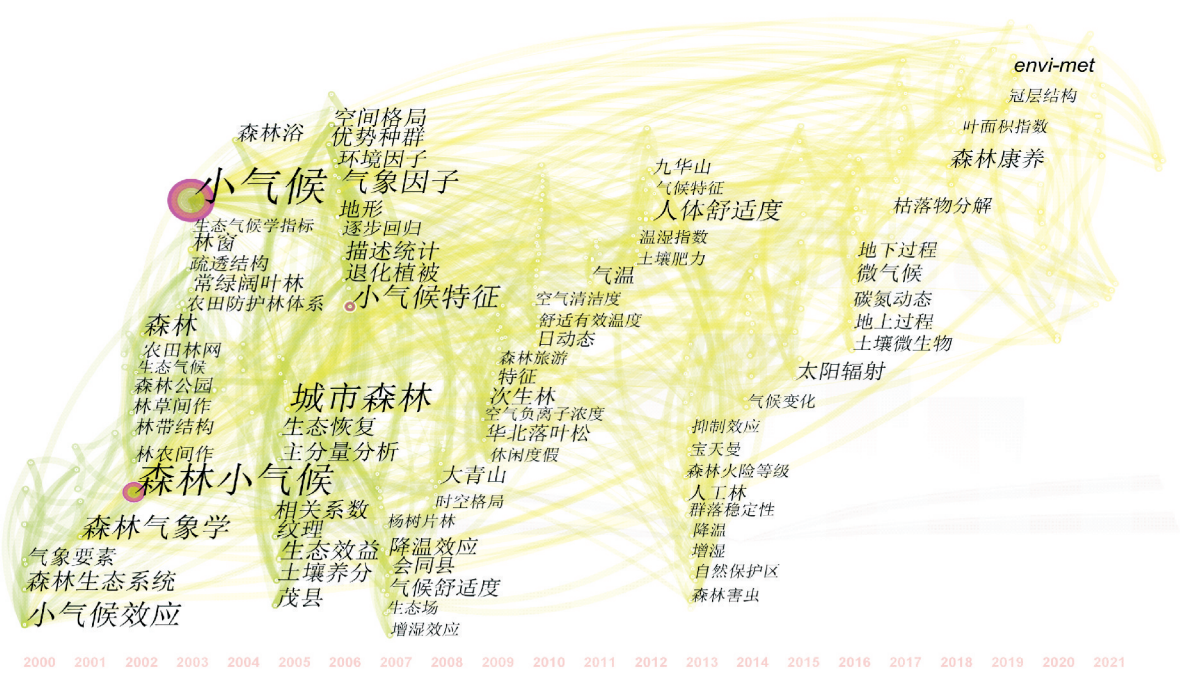


图 4 森林小气候领域关键词时区图(CNKI)

2.3.2 研究前沿分析

关键词的突变反映研究领域的发展趋势与前沿^[39]. 在英文文献中, douglas fir forest(道格拉斯冷杉森林)、edge effect(边缘效应)、vegetation structure(植被结构)、ecosystem service(生态系统服务)等关键词的突现强度高于其他关键词(图 5a), 表明了这些方向均为该时期内的关键主题, 而 douglas fir forest(道格拉斯冷杉森林)、gas exchange(气体交换)、light(光照)等关键词的持续时间较长, 且主要集中在 2000—2011 年, 说明了这些方向均为该领域的基础研究.

根据图谱可将其分为 2 个阶段, 第 1 阶段(2000—2009 年): 研究重点主要集中在森林与小气候之间的关系; 第 2 阶段(2010—2021 年): 研究重点主要集中在森林与人之间的关系, 以及更多的开展森林小气候

对地下层面(如土壤微生物等)与地表层面(如地表温度、凋落物分解等)的影响。如图 5b 所示,在中文文献中,小气候特征、森林小气候、森林康养这 3 个关键词的突现强度较高,表明这 3 个方向在近 20 a 来一直备受国内学者的关注,同时气温这个关键词是当中持续时间最长的,也就说明了该关键词在森林小气候研究领域中的基础性作用。

英文文献中的 plantation(人工林)、ecosystem service(生态系统服务)与中文文献中的森林康养、人体舒适度均是近几年来突现强度较高的关键词,代表着森林小气候领域近几年的研究前沿,同时也很有可能代表着未来近几年的发展趋势。Locosselli 等^[62]则认为森林内的气候因子与康养保健因子会影响树木的生长,从而影响其生态服务的功能;刘海轩等^[63]则对城市森林内的空气温度、空气湿度与风速进行了监测,认为冠层结构具有降温与增湿的效果,从而提高人体的舒适度;段文军^[64]则对城市森林内的气象因子、空气负氧离子和 PM_{2.5} 等康养保健因子进行监测,认为在夏季森林具有提高人体舒适度的效果,且能降低 PM_{2.5} 等。这些研究也让我们了解到了森林的生态价值。

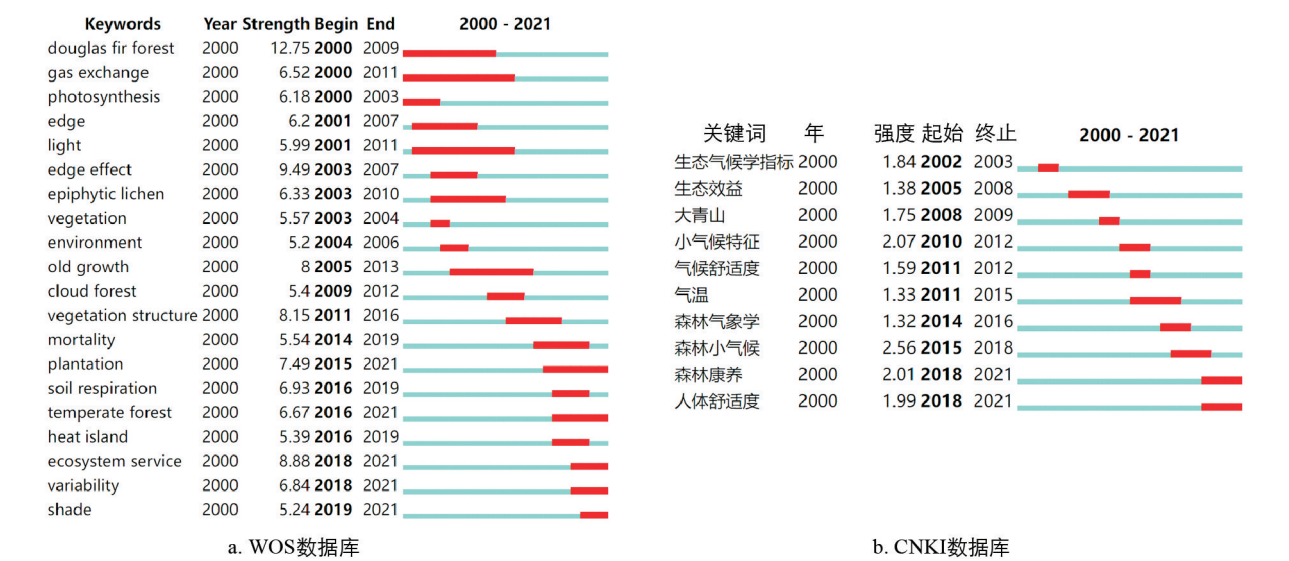


图 5 国内外森林小气候领域高突变关键词

2.3.3 高被引文献分析

研究被引文献的频次、爆发值与半衰期等指标能够在一定程度上反映文献的学术价值和对该领域做出贡献的大小。被引频次指的是一篇文献被引用次数的多少;文献的爆发值常用突现值来表示,越高的爆发值表明其在特定的时间内出现且活跃度更高^[65];文献的半衰期常用来指示文献老化程度的大小^[30],半衰期越长意味着文献的价值越大^[20]。被引频次最高的前 10 篇文献分别来自于奥地利、美国、英国、法国和比利时的学者或团队,而国内学者对该领域的研究并无高质量的文章产出,说明国内在该领域的研究较为薄弱(表 8);R Core Team 所发表的有关 R 语言的文献篇数占前 10 篇文献中的 5 篇,占比 50%,平均爆发值为 15.638,普遍高于其他文献,说明 R 语言的运用在森林小气候领域的研究保持着较高的活跃度与热度;《R: A Language and Environment for Statistical Computing. (2017)》的被引频次与爆发值最高,半衰期仅次于 2014 年与 2015 年版本,该篇文献周围连线较为密集且连线较粗,说明了其在森林小气候的研究中发挥着关键的枢纽作用(图 6);前 10 名文献发表的时间分布在 2011—2019 年,说明了这 10 年间是森林小气候研究领域高质量产出的阶段;其中《The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate》是该领域中影响力较大的文献。总体来看,这 10 篇文献的半衰期均不高(0.77~2.31a),说明其文献的老化程度与速度较快,也说明该研究领域发展较快。

表 8 森林小气候领域文献被引频次前 10 名

排名	文献	国家	第一作者	期刊来源	发表时间/年	被引频次/次	爆发值	半衰期/a
1	R: A Language and Environment for Statistical Computing. (2017)	Austria	R Core Team	R: Foundation for Statistical Computing	2017	85	25.19	2.15
2	Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4	USA	Bates D	Journal of Statistical Software	2015	63	18.49	1.99
3	The relationship between leaf area index and microclimate in tropical forest and oil palm plantation: Forest disturbance drives changes in microclimate	England	Hardwick SR	Agriculture and Forest Meteorology	2015	48	14.69	1.91
4	R: A Language and Environment for Statistical Computing. (2015)	Austria	R Core Team	R: Foundation for Statistical Computing	2015	41	12.52	2.31
5	Spatial models reveal the microclimatic buffering capacity of old-growth forests	USA	Frey SJK	Science Advances	2016	39	11.07	1.74
6	R: A Language and Environment for Statistical Computing. (2013)	Austria	R Core Team	R: Foundation for Statistical Computing	2013	32	15.19	1.15
7	Climatic microrefugia under anthropogenic climate change: implications for species redistribution	France	Lenoir J	Ecography	2017	32	11.25	0.77
8	Global buffering of temperatures under forest canopies	Belgium	De Frenne P	Nature Ecology & Evolution	2019	31	0.05	2.15
9	R: A Language and Environment for Statistical Computing. (2011)	Austria	R Core Team	R: Foundation for Statistical Computing	2011	29	13.49	1.52
10	R: A Language and Environment for Statistical Computing. (2014)	Austria	R Core Team	R: Foundation for Statistical Computing	2014	29	11.8	2.31

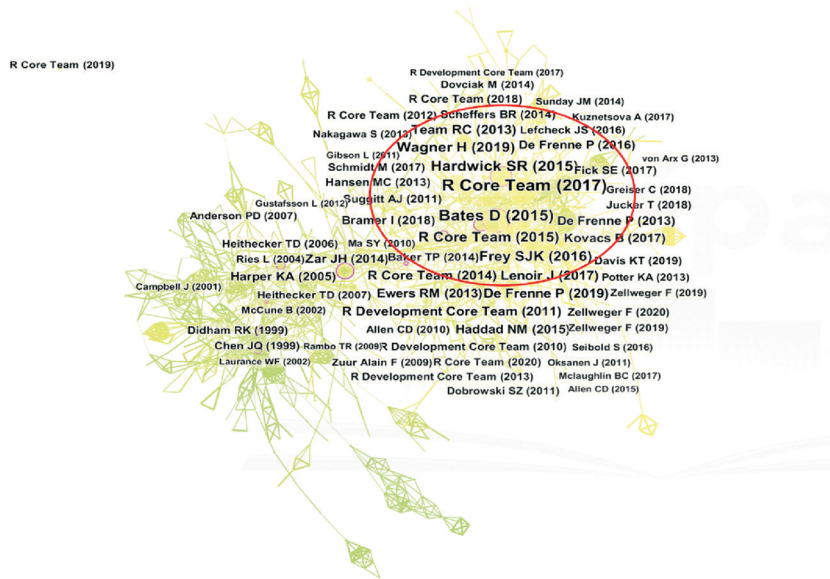


图 6 森林小气候领域共被引文献网络图谱

3 结论与展望

近年来对于森林小气候的研究主要由北美、欧洲和中国的生态学家完成,并有增加的趋势.前期主要围绕该领域的基础研究进行,重点围绕森林对气象因子的改善作用等方面展开;后期主要是围绕该领域的应用研究进行,与人相结合,以及更多地开展森林小气候对地下层面(如土壤微生物等)与地表层面(如地表温度、凋落物分解等)的影响研究.

森林小气候领域未来几年的发展趋势主要围绕城市的发展以及与人的关系进行展开,森林康养、人体舒适度的提高、生态系统服务以及森林小气候特征对“碳源”“碳汇”的影响机制等研究方向可能将会成为热点主题.研究区域上,城市森林与树线交错带的气候变化将会成为研究焦点;研究手段上,将会运用到更多高科技手段和模型,如遥感技术等;研究内容上,将会更多地往森林的生态效益与生态功能转移,特别是森林的“生物物理效应”,如森林对气象因子(空气温湿度等)、康养保健因子(负氧离子、PM_{2.5}等)等的影响.与此同时,在对其进行研究时,应综合各方面的因素去讨论,做到生态系统服务与社会发展相结合,实现可持续发展目标.最后,在环境日益恶化的今天,森林到底起到了什么作用?其作用有多大?能为人类的生存环境带来怎样的改变?这就是研究森林-气候相互作用机制的意义所在.

参考文献:

- [1] 严菊芳,刘淑明.农林气象学[M].北京:气象出版社,2018:5-7.
- [2] 李洁,刘芝芹,杨旭,等.滇中高原森林生态站冬春季森林小气候特征研究[J].西南林业大学学报(自然科学),2020,40(3):28-36.
- [3] BURNETT J D, ANDERSON P D. Using generalized additive models for interpolating microclimate in dry-site ponderosa pine forests[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2019, 279: 107668-1-107668-11.
- [4] 孙金伟,吴家兵,关德新,等.森林与空旷地空气温湿度及土壤温度的长期对比研究[J].生态学杂志,2011,30(12):2685-2691.
- [5] ZELLWEGER F, DE FRENNE P, LENOIR J, et al. Forest Microclimate Dynamics Drive Plant Responses to Warming[J]. Science, 2020, 368(6492): 772-775.
- [6] JUCKER T, HARDWICK S R, BOTH S, et al. Canopy Structure and Topography Jointly Constrain the Microclimate of Human-Modified Tropical Landscapes[J]. Global Change Biology, 2018, 24(11): 5243-5258.
- [7] KOVÁCS B, TINYA F, NÉMETH C, et al. Unfolding the Effects of Different Forestry Treatments on Microclimate in Oak Forests: Results of a 4-Yr Experiment[J]. Ecol Appl, 2020, 30(2): e02043-1-e02043-17.
- [8] 杨钙仁,苏晓琳,蔡德所,等.针阔混交林转为桉树林对森林小气候的影响[J].水土保持研究,2013,20(5):129-134.
- [9] TAKEMOTO H. Acquisition of Terrestrial Life by Human Ancestors Influenced by Forest Microclimate[J]. Scientific Reports, 2017, 7(1): 5741-1-5741-8.
- [10] 程璨.空青山次生栎林温度垂直梯度变化特征研究[D].南京:南京林业大学,2017.
- [11] 王霞,李永涛,魏海霞,等.黄河三角洲白蜡人工林小气候特征的时空动态变化[J].东北林业大学学报,2017,45(4):60-64,80.
- [12] GEORG Von A, ELISABETH G P, et al. Microclimate in Forests with Varying Leaf Area Index and Soil Moisture: Potential Implications for Seedling Establishment in a Changing Climate[J]. Journal of Ecology, 2013, 101(5): 1201-1213.
- [13] SPITTLEHOUSE D L, ADAMS R S, WINKLER R D. Forest, Edge, and Opening Microclimate at Sicomous Creek[M]. British Columbia: Forest Science Program, 2004.
- [14] 何吉成,罗天祥,徐雨晴.藏东南色季拉山急尖长苞冷杉(*Abies georgei* var. *smithii*)林线的生态气候特征[J].生态学报,2009,29(1):37-46.
- [15] LIU X S, LUO T X. Spatiotemporal Variability of Soil Temperature and Moisture across Two Contrasting Timberline Ecotones in the Sergyemla Mountains, Southeast Tibet[J]. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, 2011, 43(2): 229-238.
- [16] 殷文杰,李江荣,郭其强,等.西藏色季拉山急尖长苞冷杉林线小气候特征[J].西南师范大学学报(自然科学版),2016,41(4):69-75.

- [17] 王媛韬,张林,沈维,等. 藏东南色季拉山林线过渡带生长季低温事件的海拔分布特征 [J]. 山地学报, 2017, 35(3): 308-315.
- [18] 王晓东,刘惠清. 长白山北坡岳桦林线变动的水热条件分析 [J]. 地理科学进展, 2011, 30(3): 313-318.
- [19] 薛峰,江源,王明昌,等. 芦芽山针叶林分布上下限土壤温度及含水量的季节差异 [J]. 生态学报, 2020, 40(1): 141-150.
- [20] 李杰,陈超美. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化 [M]. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2016.
- [21] CHEN C M, SONG I Y, YUAN X, et al. The thematic and citation landscape of data and knowledge engineering (1985—2007) [J]. Data & Knowledge Engineering, 2008, 67(2): 234-259.
- [22] 耿一睿,苗红,安烁,等. 中国生态移民可视化研究分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2020(5): 151-161.
- [23] 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.
- [24] CHEN C M, IBEKWE-SANJUAN F, HOU J. The Structure and Dynamics of Cocitation Clusters: A Multiple-Perspective Cocitation Analysis [J]. Journal of the American Society for information Science and Technology, 2010, 61(7): 1386-1409.
- [25] HIRSCH J E. An Index to Quantify an Individual's Scientific Research Output [J]. PNAS, 2005, 102(46): 16569-16572.
- [26] PORTER A L, COHEN A S, DAVID R J, et al. Measuring Researcher Interdisciplinarity [J]. Scientometrics, 2007, 72(1): 117-147.
- [27] 郭佳,刘雪立,申小曼,等. 我国眼科学期刊自引率与自被引率的比较及演进趋势 [J]. 中国科技期刊研究, 2021, 32(5): 687-692.
- [28] PRICE D J S. Little Science, Big Science [M]. New York: Columbia University Press, 1963.
- [29] BURTON R E, KEBLER R W. The "Half-Life" of Some Scientific and Technical Literatures [J]. American documentation, 1960, 11(1): 18-22.
- [30] 陈京莲,胡玮. 文献半衰期与普赖斯指数之间的关系研究 [J]. 大学图书馆学报, 2010, 28(1): 3-5.
- [31] 杨鑫,唐庄生,鱼小军,等. 近二十年中外文草地遥感研究热点及前沿演进——基于 CiteSpace 的数据可视化分析 [J]. 草地学报, 2021, 29(6): 1136-1147.
- [32] 郑海朋,阎建忠,刘林山,等. 基于文献计量的草地遥感研究进展 [J]. 中国草地学报, 2017, 39(4): 101-110, 115.
- [33] 杨瑞仙,姜小函. 从学科和期刊的引证视角看交叉学科的知识结构和演化问题——以图书情报学科为例的实证研究 [J]. 图书情报工作, 2018, 62(5): 30-39.
- [34] 杨良斌,周秋菊,金碧辉. 基于文献计量的跨学科测度及实证研究 [J]. 图书情报工作, 2009, 53(10): 87-90, 115.
- [35] 李贺琼,邵晓明,杨玉英,等. 2006—2010 年我国 48 种外科学类期刊自引率及其与影响因子和总被引频次的关系 [J]. 中国科技期刊研究, 2013, 24(5): 876-884.
- [36] 刘昌来,吴祝华,田亚玲,等. 大数据下初步分析我国期刊自引情况 [J]. 科技与出版, 2017(3): 94-97.
- [37] 唐晓波,周禾深,李诗轩,等. 基于被引-逆文档权重的专家专长识别与分析——以图情领域为例 [J]. 图书情报工作, 2021, 65(15): 111-119.
- [38] 刘婧. 文献作者分布规律研究——对近十五年来国内洛特卡定律、普赖斯定律研究成果综述 [J]. 情报科学, 2004, 22(1): 123-128.
- [39] 蒋竹青,彭辉. 基于文献计量学分析土壤氮素矿化研究进展 [J]. 土壤通报, 2021, 52(4): 975-987.
- [40] COXSON D, STEVENSON S, CAMPBELL J. Short-Term Impacts of Partial Cutting on Lichen Retention and Canopy Microclimate in an Engelmann Spruce Subalpine fir Forest in North-Central British Columbia [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2003, 33(5): 830-841.
- [41] BONILLA-MATA R, ACOSTA-VARGAS L G. Dynamic and Growth of the Forests of the Isladel Coco National Park, Costa Rica [J]. Revista de Biología Tropical, 2020, 68(S1): S89-S102.
- [42] ANDERSON P D, LARSON D J, CHAN S S. Riparian Buffer and Density Management Influences on Microclimate of Young Headwater Forests of Western Oregon [J]. Forest Science, 2007, 53(2): 254-269.
- [43] JUNG E Y, OTIENO D, KWON H, et al. Influence of Elevation on Canopy Transpiration of Temperate Deciduous Forests in a Complex Mountainous Terrain of South Korea [J]. Plant and Soil, 2014, 378(1-2): 153-172.
- [44] HERBST M, ROBERTS J M, ROSIER P T, et al. Seasonal and Interannual Variability of Canopy Transpiration of a Hedgerow in Southern England [J]. Tree Physiology, 2007, 27(3): 321-333.

- [45] YU K, YAO X, DENG Y, et al. Effects of Stand Age on Soil Respiration in Pinus Massoniana Plantations in the Hilly Red Soil Region of Southern China [J]. *Catena*, 2019, 178: 313-321.
- [46] FAM JOSÉ, DP EUGENIO, O CARLOS, et al. Disentangling the Effects of Tree Species and Microclimate on Heterotrophic and Autotrophic Soil Respiration in a Mediterranean Ecotone Forest [J]. *Forest Ecology and Management*, 2018, 430: 533-544.
- [47] 宋思梦, 张丹桔, 张健, 等. 马尾松人工林林窗边缘效应对油樟化学计量特征的影响 [J]. *植物生态学报*, 2017, 41(10): 1081-1090.
- [48] HOFMEISTER J, HOŠEK J, BRABEC M, et al. Microclimate Edge Effect in Small Fragments of Temperate Forests in the Context of Climate Change [J]. *Forest Ecology and Management*, 2019, 448: 48-56.
- [49] BAKER T P, JORDAN G J, BAKER S C. Microclimatic Edge Effects in a Recently Harvested Forest: Do Remnant Forest Patches Create the Same Impact as Large Forest Areas? [J]. *Forest Ecology and Management*, 2016, 365: 128-136.
- [50] BOLIBOK L, BRACH M. Application of LiDAR Data for the Modeling of Solar Radiation in Forest Artificial Gaps——A Case Study [J]. *Forests*, 2020, 11(8): 821-1-821-19.
- [51] BROADBENT E N, ZAMBRANO A M A, ASNER G P, et al. Linking Rainforest Ecophysiology and Microclimate Through Fusion of Airborne LiDAR and Hyperspectral Imagery [J]. *Ecosphere*, 2014, 5(5): 1-37.
- [52] BLONDER B, KAPAS R E, DALTON R M, et al. Microenvironment and Functional-Trait Context Dependence Predict Alpine Plant Community Dynamics [J]. *Journal of Ecology*, 2018, 106(4): 1323-1337.
- [53] 王珮环, 陈智, 于贵瑞, 等. 长白山温带阔叶红松林对温湿环境的调节效应 [J]. *应用生态学报*, 2019, 30(5): 1521-1528.
- [54] 黄少卫, 康文星, 吴耀兴, 等. 城市森林对小气候的调节及其功能价值评估 [J]. *中南林业科技大学学报*, 2010, 30(1): 90-94.
- [55] 徐云蕾. 喀斯特峰丛洼地次生林小气候特征研究 [D]. 南宁: 广西大学, 2012.
- [56] 汪学军. 九华山山地雾形成的气象条件及地形影响 [J]. *山地学报*, 2013, 31(1): 39-45.
- [57] 段文军, 王金叶, 李海防. 华南退化生态系统三种典型生态恢复模式的小气候效应研究 [J]. *生态环境学报*, 2014, 23(6): 911-916.
- [58] 刘红霞. 气象因子对华北落叶松生长量影响研究 [D]. 保定: 河北农业大学, 2009.
- [59] 王艳英. 福州旗山典型森林群落保健功能研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2014.
- [60] 代海燕. 大青山主要森林类型生态效益的研究与评价 [D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- [61] 邵永昌, 庄家尧, 李二焕, 等. 城市森林冠层对小气候调节作用 [J]. *生态学杂志*, 2015, 34(6): 1532-1539.
- [62] LOCOSSELLI G M, CAMARGO E P, MOREIRA T C L, et al. The Role of Air Pollution and Climate on the Growth of Urban Trees [J]. *Sci Total Environ*, 2019, 666: 652-661.
- [63] 刘海轩, 卢泽洋, 金桂香, 等. 北京城市森林冠层结构对夏季舒适度及林内小气候的影响 [J]. *福建农林大学学报(自然科学版)*, 2018, 47(6): 736-742.
- [64] 段文军. 深圳园山三种典型城市森林康养环境保健因子动态变化 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2017.
- [65] 袁正蓉, 巨莉, 李富程. 基于 CiteSpace 方法的近 30 年耕作侵蚀学科动态可视化分析 [J]. *水土保持研究*, 2021, 28(5): 407-411.

责任编辑 潘春燕