

· 科学论坛 ·

基于文献计量学的中国生物固碳领域研发态势分析

江 娴¹ 王润发² 黄开耀^{2*} 魏 凤¹

(1. 中国科学院武汉文献情报中心, 武汉 430071; 2. 中国科学院水生生物研究所, 武汉 430072)

[摘 要] 生物固碳作为减排 CO₂ 最生态、环保的绿色技术, 受到全球的普遍关注和重视。为了揭示中国生物固碳技术的研发态势, 本文主要利用文献计量学方法, 对我国生物固碳领域的科技文献开展研究, 发现我国生物固碳的研究较早, 但是发展缓慢, 直到 2000 年以后才快速增长; 主要研究分布在农业、林业、土壤、环境等学科上; 从研发机构来看, 中国科学院具有较强优势, 研究领域非常广泛, 受关注程度较高; 我国生物固碳的合作研究者较多; 近年来研究方向主要集中在固碳机理、生物固碳模型定量化、微藻固碳及生物能源技术、生态系统服务功能评价等方面。

[关键词] 文献计量; 生物固碳; CO₂ 减排; 研发; 态势

DOI:10.16262/j.cnki.1000-8217.2015.06.015

气候变化问题已经成为影响世界经济秩序、政治格局和国际关系的一个重要因素, 同时也是决定世界能源前景的关键。在导致气候变化的各种温室气体中, CO₂ 的贡献率占 50% 以上^[1]。工业革命以来, 大量化石燃料的使用, 森林的过度砍伐以及草地开垦等造成了温室气体特别是 CO₂ 浓度明显增高, 导致了全球气候变暖、生态环境恶化严重^[2,3]; 我国正处于经济快速发展阶段, 人口众多、气候条件复杂、生态环境脆弱, 是受气候变化影响最严重的国家之一^[4]。因此迫切需要采取应对措施, 以减少温室气体 CO₂ 的排放。

生物固碳是指利用植物的光合作用和微生物的新陈代谢, 提高生态系统的碳吸收与存储能力, 从而降低大气中 CO₂ 的浓度^[5,6]。20 世纪以来, 科研人员逐渐认识到生物固碳具有固碳量大、成本低、风险小、用途广等优点, 它兼具社会效益和环境效益, 是可大面积推广的可持续碳减排技术^[7-9], 对其的研究也越来越多, 文献数量不断增长。

本文利用文献计量学方法对我国生物固碳领域的科技文献开展研究, 揭示国内生物固碳研究领域的发展现状和态势, 以期生物固碳领域的相关研究者提供信息参考。

1 数据来源、研究框架与方法

1.1 数据来源

研究对象为中国生物固碳技术领域的科技文献, 数据来源于中国学术期刊网络出版总库^[10], 其信息内容经过深度加工、编辑、整合, 有明确的来源、出处, 内容可信可靠, 可以作为学术研究、科学决策的依据^[11]。通过咨询相关领域专家, 确定检索主题(表 1), 分别检索“主题 1 AND 主题 2”、“主题 1 AND 主题 3 AND 主题 4”, 将检索结果合并去重。

1.2 研究框架与方法

本文构建了基于文献计量、社会网络、知识图谱技术的中国生物固碳技术领域态势分析框架(图 1)。

表 1 生物固碳研究检索主题

| 主题名 | 内容 |
|------|--------------------------------|
| 主题 1 | 生物、土壤、湿地、海洋、陆地植被、浮游植物、微藻、藻类、贝类 |
| 主题 2 | 固碳、储碳、碳汇 |
| 主题 3 | 二氧化碳、碳、CO ₂ |
| 主题 4 | 封存、固定、存储、转化、减排 |

收稿日期: 2015-07-01; 修回日期: 2015-08-03

* 通信作者, Email: huangky@ihb.ac.cn

首先,利用 EXCEL2007 对所检索出文献的年代、来源期刊、重要机构及作者等进行统计分析,了解中国生物固碳研究的基本情况。

其次,STAI 软件^[12]得到高频关键词共现矩阵,利用社会网络分析软件 Ucinet 绘制共词网络;同时,利用信息可视化工具 CiteSpaceIII 得到关键词聚类图谱以及突变词列表。

最后,结合社会网络、聚类图谱和突变词分析该领域的研究热点和研究前沿。

2 中国生物固碳科技发展情况分析

2.1 年代变化分析

按上述检索方法,共得到 5 936 篇相关科技文献,检索日期为 2015 年 3 月 9 日。如图 2 所示,所得文献分布于 1955—2015 年,论文数量总体呈逐年上升趋势,个别年份稍有波动。我国生物固碳技术的研究起步较早,但是发展缓慢,直到 2000 年后才快速增长。

我国生物固碳研究大致可分为 3 个阶段:

(1) 起步阶段(1955—1979 年),该阶段发文量极少,多数年份并没有相关论文发表,国内生物固碳研究刚刚萌芽。

(2) 过渡阶段(1980—1999 年),该阶段发文量少,但发文较连续,逐年增长幅度小,国内逐渐关注生物固碳研究。

(3) 稳步阶段(2000—2014 年),该阶段发文量大,且逐年增长,国内生物固碳研究快速增长。

2.2 来源期刊和学科领域分析

由前文的分析可知,我国生物固碳研究于 2000 年才开始快速发展,所以本文重点分析 2000 年及以后的科技文献(下同)。分析发现,发表生物固碳研究论文的期刊有着比较广泛的分布度,涉及的学科领域主要有:农业(2 025 篇)、林业(1 123 篇)、环境科学(1 114 篇)、生物科学(546 篇)等,其中,农业、林业、环境科学、生物科学学科论文占总论文数的 93%。发表 50 篇论文以上的期刊有 11 种(表 2),其

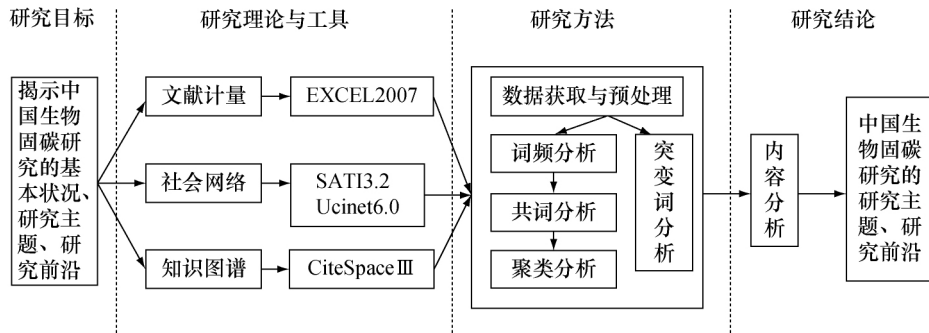


图 1 中国生物固碳技术领域态势分析框架

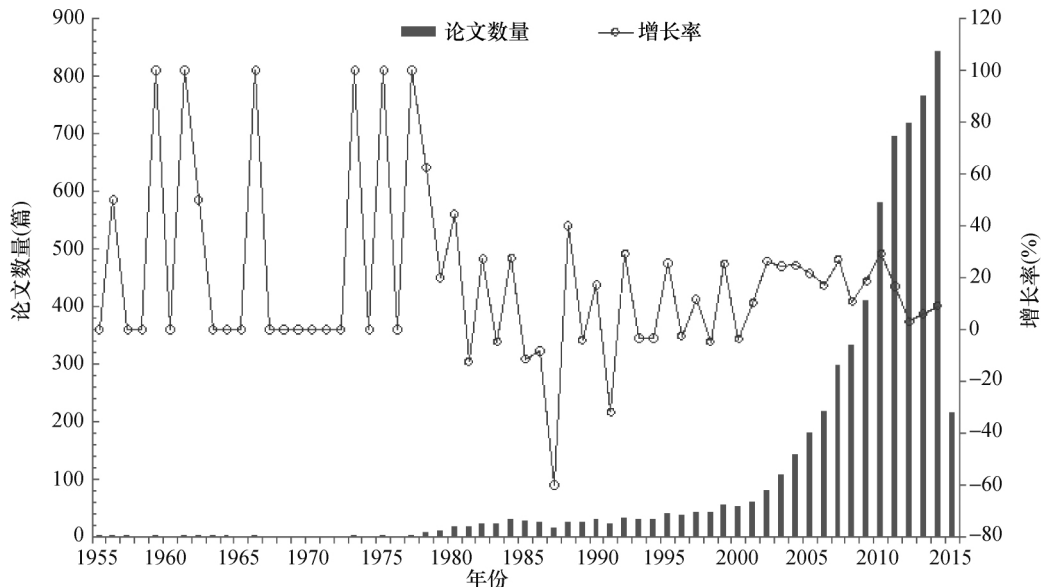


图 2 论文数量年份分布

表2 发表50篇以上有关生物固碳研究论文的期刊

| 学科 | 期刊 | 论文数 |
|------|-----------|-----|
| 生物科学 | 生态学报* | 249 |
| | 应用生态学报* | 141 |
| | 生态学杂志* | 78 |
| 环境科学 | 生态环境学报* | 94 |
| | 环境科学* | 80 |
| | 农业环境科学学报* | 73 |
| 农业 | 土壤学报* | 64 |
| | 水土保持学报* | 63 |
| | 土壤通报* | 63 |
| | 中国农学通报* | 56 |
| | 安徽农业科学 | 55 |

注:带*的为2011版核心期刊

发表相关论文数占论文总数的25%,是国内生物固碳研究的重要期刊。

以上数据说明:国内生物固碳研究的主要阵地是农业、林业、环境科学、生物科学领域;来源期刊相当广泛,各个不同学科领域中基本形成了较稳定的核心期刊群;具有广泛的学科交叉性或跨领域多元化研究,研究涉及到不同学科领域。

2.3 重要研究机构分析

论文作者机构分布分析可以帮助了解作者所在机构的学术氛围和科研实力,同时了解期刊的影响辐射范围,还可从侧面反映出机构对刊物的支持和认同性。按照全部作者统计,研究机构主要包括高等学校、职业院校、科研院所等,其中中国科学院是国内生物固碳研究的重要产出机构,其他分布在农林等高校(表3)。中国科学院的研究范围较广,涉及固碳机理、生态系统服务功能、生物多样性、微藻固碳等研究。其他单位如南京农业大学、中国农业大学等也有较多的研究成果发表,但更侧重土壤和农田的碳储量分布与评估、高固碳植物种植和品种的选育等研究。而林业类大学则以森林碳汇研究为主。从被引频次可以看出,中国科学院生态环境研究中心是生物固碳研究的重点单位,有着较强的科研影响力,其以53.19次的篇均被引频次排名第1位,遥遥领先于其他机构。

上述数据表明:中科院研究所、农林高校是目前国内生物固碳研究的主导性力量;各类相关企业事业单位研发机构非常少,明显缺乏国外科研机构;科研实力较强的机构较少,各个研究机构的学术水平存在较明显差异。

表3 产出论文最多的前10个机构

| 序号 | 机构名称 | 论文数 | 篇均被引频次 |
|----|---------------------|-----|--------|
| 1 | 中国科学院生态环境研究中心 | 54 | 53.19 |
| 2 | 南京农业大学 | 118 | 33.45 |
| 3 | 中国科学院地理科学与资源研究所 | 122 | 27.09 |
| 4 | 中国林业科学院森林生态环境与保护研究所 | 41 | 26.27 |
| 5 | 中国科学院东北地理与农业生态研究所 | 68 | 23.82 |
| 6 | 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所 | 33 | 20.21 |
| 7 | 北京林业大学 | 139 | 19.91 |
| 8 | 中国科学院亚热带农业生态研究所 | 44 | 19.43 |
| 9 | 中国科学院南京土壤研究所 | 116 | 19.41 |
| 10 | 中国农业大学 | 92 | 19.07 |

注:篇均被引频次=某机构文章总被引频次/该机构文章总数

表4 作者合作情况统计

| 作者数量(人) | 1 | 2 | 3及以上 | 总数 |
|---------|-------|-------|-------|------|
| 发文量(篇) | 607 | 666 | 3817 | 5090 |
| 所占比例(%) | 11.93 | 13.08 | 74.99 | 100 |

2.4 作者及合作性分析

合作度是指某一确定时间内针对某一特定主题作者合著的情况,此指标值越高表明合作越充分。以全部作者为准,对这些论文进行著者合作度统计(表4),发现其中3人及以上合著的文章占论文总数的74.99%,比例较大。这说明了我国生物固碳领域的研究合作较充分。

对发文量最高的前10位作者进行统计(表5),发现发文量前三的为:潘根兴、吴金水、李恋卿,其中潘根兴和李恋卿均来自南京农业大学,两人合作发表的论文较多,主要从事土壤环境、土壤微生物方面的研究,吴金水来自中国科学院亚热带农业生态研究所,主要从事土壤生态与农业环境方面的研究。结合篇均被引频次可知,李恋卿、欧阳志云篇均被引次数靠前,这与重要机构被引情况吻合,同时表明他们在生物固碳领域具有一定的影响力。王兵近6年发文量占全部论文的85.71%,可以看出他是生物固碳领域的后起之秀,值得关注,其研究主要涉及生态系统功能和价值评估方面。

2.5 研究热点分析

关键词是制作使用索引时所用到的词汇,是文献必备的要素,也是文章主题的高度凝练,通过对某一研究领域高频关键词进行分析,可以从侧面揭示该领域的总体特征、发展趋势及学科热点等。应用 SATI 软件对文献关键词进行统计,共有 12 677 个关键词,为避免同义关键词和不规范关键词影响分析结果,本文对关键词进行了一定程度的人工干预:如合并意义相近的关键词,如碳储量和碳贮量,二氧化碳和 CO₂ 等。从中提取出现次数在 40 次以上的关键词,如表 6 所示。

词共现分析统计一组文献的关键词两两之间在同一篇文献中出现的频率,形成一个由这些词对关

表 5 发文量前 10 位的作者

| 作者 | 论文数 | 篇均被引频次 | 2009—2014 年发表论文数占其发表论文总数的比率(%) |
|------|-----|--------|--------------------------------|
| 潘根兴 | 42 | 60.93 | 45.24 |
| 吴金水 | 27 | 13.19 | 62.96 |
| 李恋卿 | 22 | 97.64 | 45.45 |
| 欧阳志云 | 21 | 84.90 | 52.38 |
| 王兵 | 21 | 19.81 | 85.71 |
| 张旭辉 | 20 | 71.50 | 45.00 |
| 董成立 | 19 | 19.42 | 52.63 |
| 韩晓增 | 19 | 30.63 | 57.89 |
| 于贵瑞 | 18 | 20.50 | 0.00 |
| 朱建国 | 18 | 20.78 | 27.78 |

注:篇均被引次数=某作者文章总被引频次/该作者文章总数

联所组成的共词网络,网络内节点之间的远近便可以反映主题内容的亲疏关系,进而分析这些词所代表的学科和主题的结构变化。为了客观地分析国内生物固碳研究的热点,分别运用社会网络分析软件 Ucinet 和可视化软件 CitespaceIII 从两个不同角度构建科学知识图谱。

A. 高频词共现网络

将提取出的高频关键词构建 39×39 的共词矩阵,利用 Ucinet 的绘图功能,关键词共现矩阵的数据可以转换为一个关键词网络图(图 3)。从图中可以看出:(1)形成了以气候变化、碳汇、碳储量为中心的众多节点组成的网络图谱,其中与碳汇、碳储量联系较紧密的有生物量、土壤、森林、湿地等,这表明生物固碳的过程与土壤、森林、湿地、陆地生态系统等密切相关,这是生物固碳研究的主要内容;(2)网络中存在一些小聚类,左侧是以生态系统、生态效益、生态服务功能、价值评估等为主要节点的聚类,表明关于不同生态系统服务功能及价值评估的研究已初具规模;右侧聚类包括土壤呼吸、土壤、土壤酶活性等关键词,这体现了土壤固碳相关研究的重要地位。上侧是以微藻、生物柴油、节能减排、生物能源等为主要节点的聚类,这表明生物固碳研究中利用微藻固定 CO₂ 的研究已经开展,并形成相对稳定的研究内容,而下侧聚类包括固碳潜力、影响因素、森林碳汇、人工林、陆地生态系统等关键节点,表明不同生态系统管理措施及固碳能力是生物固碳研究的重点领域。

表 6 频次大于 40 的高频关键词

| 关键词 | 频次 | 关键词 | 频次 | 关键词 | 频次 |
|-----------------|-----|----------|----|--------|----|
| 碳储量 | 302 | 土壤呼吸 | 93 | 土壤酶活性 | 57 |
| 碳汇 | 261 | 生态系统服务功能 | 85 | 固碳潜力 | 56 |
| 土壤有机碳 | 242 | 价值评估 | 84 | 节能减排 | 55 |
| 生物量 | 179 | 温室气体 | 80 | 碳排放 | 51 |
| 气候变化 | 147 | 微藻 | 79 | 影响因素 | 49 |
| CO ₂ | 140 | 生物燃料 | 76 | 土地利用 | 48 |
| 森林生态系统 | 135 | 生物柴油 | 66 | 生物反应堆 | 48 |
| 有机碳 | 134 | 湿地 | 62 | 评估 | 43 |
| 固碳 | 130 | 碳纳米管 | 51 | 服务功能 | 43 |
| 碳循环 | 117 | 生态效益 | 61 | 森林碳汇 | 42 |
| 土壤 | 112 | 人工林 | 61 | 碳源 | 42 |
| 生物传感器 | 110 | 森林 | 60 | 陆地生态系统 | 41 |
| 碳密度 | 107 | 生态系统 | 59 | 水稻土 | 41 |

B. 关键词聚类图谱

分别提取每年的高频词关键词作为网络节点，运行 CiteSpaceIII 软件进行聚类分析得到图 4。在共词网络图分析和文献内容分析的基础上，对关键词聚类图谱展开更加详细的研究，深入挖掘和分析国内生物固碳的主要研究热点。

由图 4 可知：

(1) 国内生物固碳研究的大背景——节能减排、低碳环保。自京都议定书到哥本哈根会议，减排已成为全人类公认的共同使命，我国也制定了 2020 年单位国内生产总值 CO₂ 排放量比 2005 年下降 40%—50% 的减排目标^[13]，明确将节能减排提上日程。在节能减排的压力下，生物固碳因具有成本低、风险小、监测和监管简单等优点而备受瞩目。聚类 1 主要包含低碳经济、低碳农业、有机碳、固碳潜力、气候变化、哥本哈根协议、环境经济等关键词，且与

聚类 2、4 联系紧密，这更加印证了在节能减排、低碳环保背景下，国内科研人员开始重视生物固碳相关研究。

(2) 不同生态系统的固碳过程和固碳机理。聚类 2 以气候变化为中心，积聚了众多的节点，既有湿地、土壤、陆地生态系统这些代表不同生态系统的关键词，又有涉及固碳过程的碳循环、土壤腐殖质碳、团聚体、有机化合物、颗粒有机质等专业词汇集。这表明不同生态系统(陆地森林、草原、农田及土壤)的固碳过程和机理研究是学者讨论最多的热点主题之一。如许炼烽等人^[14]指出森林土壤的固碳机理包括：稳定性有机物——矿物复合体的形成、持久性封存的深层碳的增加、耐分解有机物成份的积累以及土壤团聚体结构中碳的物理性保护。邱广龙等人^[15]指出海洋生态系统的固碳机理是：海床草对碳的固定、海草草冠对水体有机悬浮颗粒物的高效捕

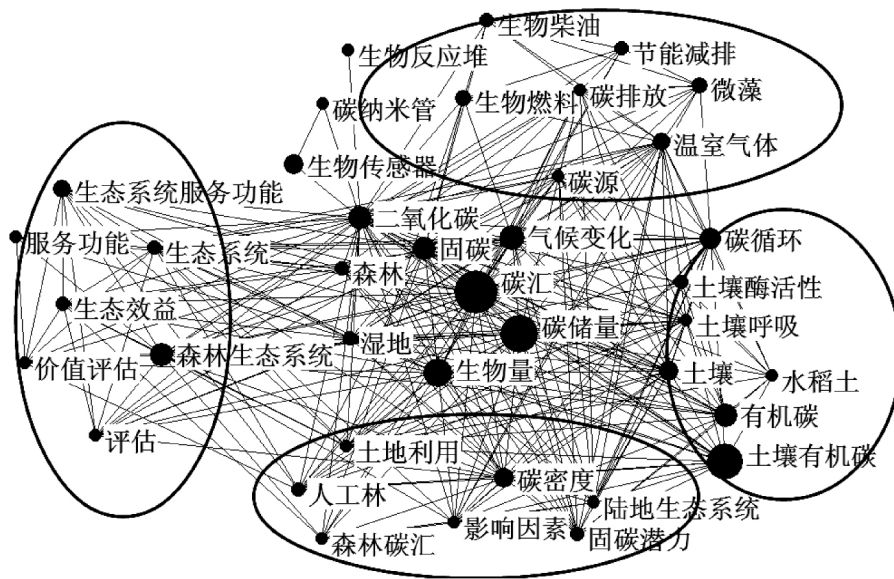


图 3 高频关键词共现网络

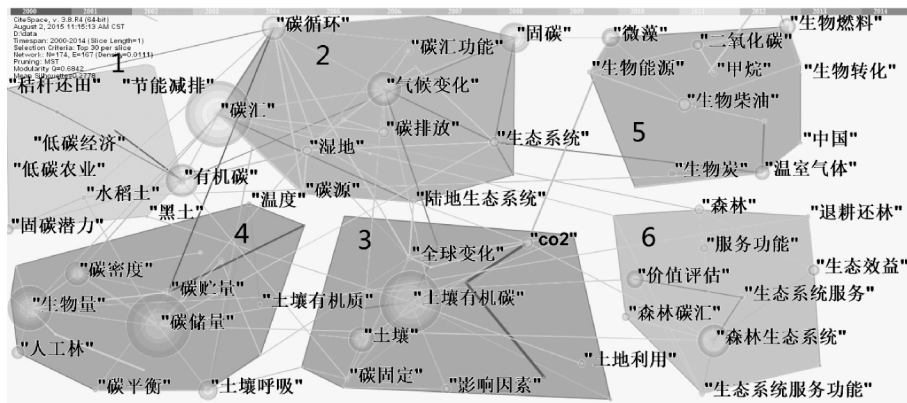


图 4 关键词聚类图

获、植物碎屑物在缺氧性海草床沉积物中的低分解率和相对稳定性。

(3) 区域生物固碳模型、固碳定量化以及区域碳储量分布与评估研究。聚类 3 以土壤有机碳为中心,同时包含土壤有机碳库、影响因子、显著性、温室效应等关键词,而聚类 4 主要包括碳储量、生物量、碳密度、碳通量、人工林、植物根系、土壤碳汇、有机碳密度等关键词。显然,聚类 3 主要是关于生物固碳模型模拟估算区域固碳潜力的,而聚类 4 则是关于区域碳储量的分布与评估定量化研究。研究人员在对生态系统固碳过程和机理科学认识的基础上,逐渐尝试建立固碳模型,通过模型模拟以评估区域的生物固碳潜力,把握区域碳储量的分布。如黄磊等人^[16]以沙坡头人工植被区两种典型的 BSC(苔藓结皮和藻类结皮)为研究对象,通过对土壤水分的连续测定,确定 BSC 光合和呼吸作用的有效湿润时间及其与土壤水分、温度和太阳辐射的关系,建立了土壤水分驱动下的固碳模型。刘迎春等人^[17]以黄土丘陵区的油松和刺槐为研究对象,建立 0—86 年生油松林和 0—56 年生刺槐纯林生态系统碳储量—林龄序列,并在此基础上分析造林对生态系统碳储量和固碳潜力的影响。生物固碳能力与气候、土壤、水资源等条件密切相关,定量化模拟不同土地资源、生态条件等来估算不同区域生物固碳潜力,或确定区域碳储量分布,这是相当必要的,可以指导大规模生物固碳工程的实施。

(4) 微藻固碳及生物能源技术。聚类 5 主要包含微藻、温室气体、生物柴油、生物能源、中国、甲烷、可再生能源、功能微生物、CO₂固定等关键词,显然,该聚类是关于微藻固碳及生物能源技术主题的。我国 2007 年 9 月发布的《可再生能源中长期规划》表示“2020 年生物柴油年利用量将达 200 万吨”^[18],在 CO₂减排、新兴能源生产双重压力下,微藻固碳及生物能源技术因能同时满足“固碳”和“产能”需求而受到研究人员的高度关注。目前,微藻固碳及生物能源技术研究主要集中在低成本藻种技术、养殖技术、采收与提油产业化技术等方面^[19]。

(5) 生态系统服务功能及价值评估。聚类 6 中的关键词有:森林生态系统、退耕还林、生态系统服务功能、生态效益、生态服务价值、价值评估、生物生产力、评价等,可见生态系统服务功能评价也是国内生物固碳领域的研究热点之一。固碳释氧功能是生

态系统的重要服务功能之一^[20],有众多学者对生态系统多种服务功能进行量化评估研究。如段晓男等人^[21]通过建立模型,得出红树林湿地和沿海盐沼的固碳速率最高,还计算出了退田还湖和退田还泽的固碳潜力,为湿地生态系统管理和服务功能评价提供了科学依据。在对生态系统固碳释氧功能的研究中,研究者格外重视土地变化利用等生态管理系统措施对生态系统的影响作用及其影响机理的研究。傅伯杰等^[22]指出土地利用格局变化对生态系统服务有着显著影响,土地利用强度不同对生态系统服务产生的影响也不同。李屹峰等^[23]以密云水库为例,探讨了土地利用变化对生态系统服务功能的影响。

2.6 研究前沿分析

CiteSpace III 软件有时区视图和突变词探测功能,它绘制出的图形可以形象展现研究热点随着时间变化而发生的演变,直观地展示研究前沿之间的交互关系和演进路径^[24]。突变词是指短时间内使用频率骤增的关键词,适合表征研究前沿的发展趋势,突变词的突变率则表现了该词短时间内使用频率骤增的强度^[25]。本文利用 CiteSpace III 绘制出 2000—2014 年基于高频关键词的研究前沿时区图(图 5),而表 7 给出了按突变率排列的突变词列表,清楚展示了突变词的年代和突变强度。图 5 和表 7 共同展示了 2000—2014 年中国生物固碳研究前沿的演进路径,显示了不同年份中主要研究主题的转移情况。

通过图 5 和表 7 可以看出:

(1) 国内学界关于生物固碳的研究在发展初期是以土壤有机碳、气候变化、碳汇为主要关键词,这些节点的中心度与频次都较高,与其后各年研究热点都有连接,是国内研究的起源。

(2) 2000 年至 2010 年是国内生物固碳研究的重要发展时期,碳循环、气候变化、生物转化、碳密度成为这一时期的突变词,并且突变率较高,与此同时,在 2000—2008 年间,CO₂、土壤、湿地、森林、生态系统、服务功能等关键词集中爆发,高频出现,表明学界的研究开始走向多角度多学科专业化交叉进程,最受关注的是不同生态系统的固碳能力。而在 2008—2010 年间,生物柴油、生物燃料、生物反应堆等关键词出现次数较多,表明这一时间段关于生物固碳的研究比较倾向于生物能源技术。

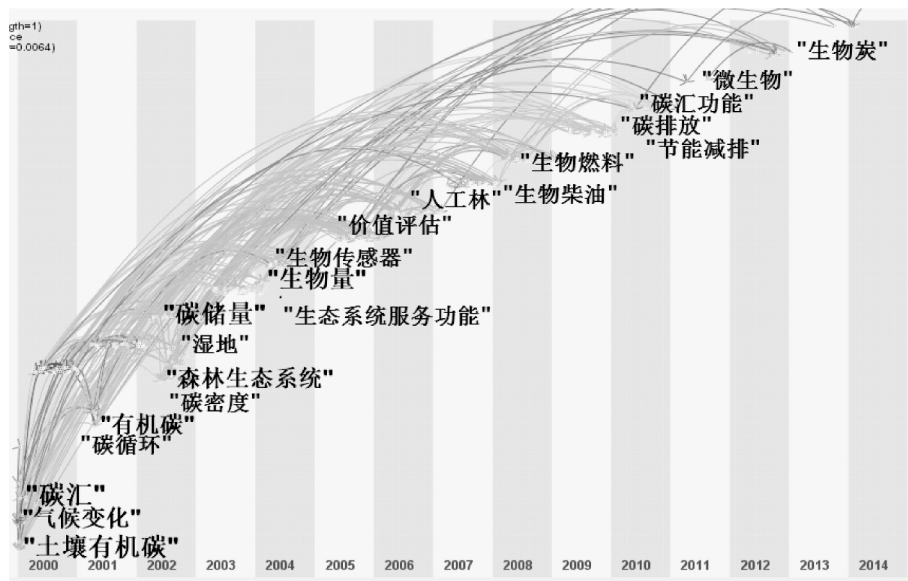


图 5 2000—2014 年研究前沿时区图

表 7 2000—2014 年突变词列表

| 突变词 | 突变率 | 起始年 | 结束年 | 突变词 | 突变率 | 起始年 | 结束年 |
|-------|---------|------|------|------|--------|------|------|
| 碳储量 | 13.4332 | 2010 | 2013 | 生物转化 | 3.7636 | 2002 | 2007 |
| 低碳农业 | 7.9248 | 2010 | 2013 | 生物碳质 | 3.6091 | 2012 | 2014 |
| 气候变化 | 6.7695 | 2009 | 2011 | 生物柴油 | 3.5461 | 2012 | 2014 |
| 生物传感器 | 5.7261 | 2005 | 2010 | 节能减排 | 3.4759 | 2010 | 2013 |
| 人工林 | 4.8814 | 2012 | 2014 | 碳密度 | 3.0997 | 2008 | 2014 |
| 碳循环 | 4.1556 | 2000 | 2012 | 生态系统 | 3.0318 | 2008 | 2010 |

(3) 2010 年至今,国内对于生物固碳的研究进一步深入,主要表现为:第一,低碳农业、节能减排再次成为热点,突变率分别为 7.9248 和 3.4759,在强调低碳、节能的大环境下,生物固碳相关研究必然增强;第二,后期研究中形成了新的研究前沿,如近年兴起的微藻固碳、生物质转化,其优点及发展前景有目共睹。

3 主要结论

通过上述分析,可以看出国内生物固碳领域的研究具有以下特点:

(1) 生物固碳研究是一个多学科交叉的领域,文献学科分布非常广泛。主要涉及农业、林业、土壤、环境等学科。其期刊分布也非常广泛,该研究领域相对高产的期刊是《生物学报》、《应用生态学报》。

(2) 从发文量看,中国科学院是生物固碳研究的重要产出机构,而中国科学院生态环境研究中心的论文综合影响力较强。从作者角度,我国的生物固碳研究合作化趋势比较明显。

(3) 国内学界关于生物固碳的研究是以碳汇、土壤有机碳为研究起源点的。该领域研究主要集中在固碳机理、生物固碳模型定量化、微藻固碳及生物能源技术、生态系统服务功能评价等方面,在未来一段时期内生物固碳领域的研究热点可能集中在低碳农业、微藻固碳、生物质转化等方向。

未来的生物固碳发展需要积极探索,在不同学科之间开辟生物固碳合作研究的新领地,鼓励农业、土壤、生物等领域的科研人员,积极参与生物固碳相关研究;还应加强生物固碳基础理论研究,重点关注生物固碳效率的方法、技术及评价等方面;同时积极部署生物固碳应用技术的研发示范项目,建立生物固碳领域的“政—研—产—学”的联动机制,有效促进科技成果向市场转化。

致谢 本文工作得到国家自然科学基金(71103178),中国科学院优秀人才择优支持项目(Y2KZ021001),中欧煤炭利用近零排放合作项目(2021102400007)的资助。

参 考 文 献

- [1] 陈泮勤. 地球系统循环. 北京: 科学出版社, 2004.
- [2] Dixon R K, Solomon A M, Brown S, et al. Carbon pools and flux of global forest ecosystems. *Science*, 1994, 263 (5144): 185—190.
- [3] 芮慧强. 浅谈温室效应. *食品与健康*, 2009, (2): 20.
- [4] 葛全胜, 方修琦, 郑景云. 中国历史时期气候变化影响及其应对的启示. *地球科学进展*, 2014, 29(1): 23—29.
- [5] Lar R. Carbon sequestration. *Philosophical transactions of the Royal Society B*, 2008, 363: 815—830.
- [6] Hopkin M. The carbon game. *Nature*, 2004, 432: 268—270.
- [7] Sydney EB, Sturm W, de Carvalho JC, et al. Potential carbon dioxide fixation by industrially important microalgae. *Bioresource Technology*, 2010, 101(15): 5892—5896.
- [8] Saini R, Majhi MC, Kapoor R, et al. CSD, a database of microbial strains for carbon fixation. *Environmental Modelling & Software*, 2009, 24(9): 1133—1134.
- [9] Bilanovic D, Andargatchew A, Kroeger T, et al. Freshwater and marine microalgae sequestering of CO₂ at different C and N concentrations—response surface methodology analysis. *Energy Conversion & Management*, 2009, 50(2): 262—267.
- [10] 中国学术期刊出版总库. [2015-01-20]. <http://epub.cnki.net/KNS/brief/result.aspx?dbprefix=CJFQ>
- [11] 张维英. 网络数据库资源利用与高校科研成果管理简约化人性化. *高校图书馆论坛*, 2010 (4): 49—51.
- [12] 刘启元, 叶鹰. 文献题录信息挖掘技术方法及其软件 SATI 的实现——以中外图书情报学为例. *信息资源管理学报*, 2012, 2(1): 50—58.
- [13] 国家应对气候变化规划(2014—2020). [2015-01-20]. http://www.scio.gov.cn/ztk/xwfb/2014/32144/xgzc32154/Document/1387114/1387114_1.htm.
- [14] 许炼烽, 徐谔为, 李志安. 森林土壤固碳机理研究进展. *生态环境学报*, 2013, (6): 1063—1067.
- [15] 邱广龙, 林幸助, 李宗善, 等. 海草生态系统的固碳机理及贡献. *应用生态学报*, 2014, (6): 1825—1832.
- [16] 黄磊, 张志山, 潘颜霞, 等. 荒漠人工植被区典型生物土壤结皮的固碳模型研究. *中国沙漠*, 2013, 33(6): 1796—1802.
- [17] 刘迎春, 王秋凤, 于贵瑞, 等. 黄土丘陵区两种主要退耕还林树种生态系统碳储量和固碳潜力. *生态学报*, 2011, 31 (15): 4277—4286.
- [18] 郭泽德. 2007年中国生物能源发展10大关键词(下). [2015-01-20]. <http://finance.gansudaily.com.cn/system/2007/12/21/010555372.shtml>.
- [19] 王琳, 朱振旗, 徐春保, 等. 微藻固碳与生物能源技术发展分析. *中国农业大学学报*, 2012, 17(6): 247—252.
- [20] 李国伟, 赵伟, 魏亚伟, 等. 天然林资源保护工程对长白山林区森林生态系统服务功能的影响评价. *生态学报*, 2015, 35 (4): 46—51.
- [21] 段晓男, 王效科, 逮非, 等. 中国湿地生态系统固碳现状和潜力. *生态学报*, 2008, 28(2): 116—123.
- [22] 傅伯杰, 张立伟. 土地利用变化与生态系统服务: 概念、方法与进展. *地理科学进展*, 2014, 33(4).
- [23] 李屹峰, 罗跃初, 刘纲, 等. 土地利用变化对生态系统服务功能的影响——以密云水库流域为例. *生态学报*, 2013, 33 (3): 726—736.
- [24] 邱均平, 马瑞敏, 程妮. 利用 SCI 进行科研工作者成果评价的新探索. *中国图书馆学报*, 2007, 33(4): 11—16.
- [25] Morris S, Chen C. Visualizing Evolving Networks: Minimum Spanning Trees Versus Path finder Networks. *IEEE Computer Society Press*, 2008: 67—74.

Analysis of Chinese CO₂ bio-sequestration R&D situation based on bibliometricsJang Xian¹ Wang Runfa² Huang Kaiyao² Wei Feng¹

(1. Wuhan Documentation and Information Centre, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071;

2. Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences, Wuhan, 430072)

Abstract As the most ecological and environmental means to reduce CO₂ emission, biological sequestration is getting global concern and attention. In order to reveal the development trend of Chinese bio-sequestration technology, we analyzed scientific literatures in the field of bio-sequestration in China through bibliometric methods, and found that: The research of bio-sequestration in China started early, but developed slowly, and it didn't significantly grow until 2000; the research mainly focused on the disciplines of agriculture, forestry, soil, environment; the Chinese Academy of Sciences has a definite advantage and high degree of attention, its research field is very wide; Bio-sequestration researchers in China tend to cooperation; In recent years, research has focused on the aspects of mechanism of carbon sequestration, quantitative models of bio-sequestration, micro-algae carbon sequestration and bioenergy microalgae technology, and valuation of ecosystem service function.

Key words bibliometrics; bio-sequestration; CO₂ emission; Research and Science; situation