

森林碳汇研究的知识图谱分析

张 哲¹, 沈月琴¹, 龙 飞¹, 朱 臻¹, 何祥荣²

(1. 浙江农林大学 经济管理学院, 浙江 临安 311300; 2. 浙江农林大学 天目学院, 浙江 临安 311300)

摘要: 分别以来自 Web of Science 数据库、中国知网(CNKI)数据库有关森林碳汇研究主题的 4 619 篇、403 篇文献为研究对象, 通过 CiteSpace II 软件对相关引文数据和主题词数据进行分析 and 处理, 以知识图谱的方式梳理了森林碳汇研究领域的国内外重要学术机构、学术文献及人物、研究热点等。主要分析结果表明: ①美国、加拿大、中国、德国等是国际上森林碳汇研究的主要国家, 美国处于该领域的核心地位; ②学者多从环境科学、生态学、林学角度对森林生态系统碳循环、土壤固碳机理、不同林种及树种的固碳潜力等方面展开研究, 有的也从森林管理、碳汇交易等管理学角度做出了有益的探索; ③国际森林碳汇研究热点层出不穷, 且随着时间发生变迁, 研究领域日益成熟; ④国内自然科学学者对森林碳汇研究起步较晚, 发文数呈快速上升趋势, 以中国科学院、北京大学等为核心的机构走在国际森林碳汇研究的前列, 研究热点与国际接轨, 在国际森林碳汇研究领域中的学术地位有待提升; ⑤基于清洁发展机制(clean development mechanism, CDM)的森林碳汇项目及森林碳汇可持续发展等是国内人文社科学者森林碳汇研究的热点。图 4 表 8 参 12

关键词: 森林碳汇; 知识图谱; 信息可视化; CiteSpace II; 研究热点

中图分类号: S718.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-0756(2013)04-0567-11

Knowledge mapping of research on forest carbon sinks

ZHANG Zhe¹, SHEN Yueqin¹, LONG Fei¹, ZHU Zhen¹, HE Xiangrong²

(1.School of Economics and Management, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China; 2. Tianmu College, Zhejiang A & F University, Lin'an 311300, Zhejiang, China)

Abstract: Taking the 4 619 and 403 literatures regarding research on forest carbon sink from *Web of Science* database and *China National Knowledge Infrastructure* (CNKI) database respectively as the objects, the paper analyzes and processes relevant cited data and topic key words with CiteSpace II, and combs significant academic institutions both home and abroad, academic literatures and figures as well as research focuses concerning study on forest carbon sink by means of knowledge mapping. The results show that: (1) America, Canada, China and Germany etc. are principle nations researching forest carbon sink in the international arena, and America is holding the dominating position; (2) Major scholars conduct research on carbon cycling of forest ecosystem, the mechanism of carbon sequestration in soils, the ability of carbon sequestration for various sorts of forests and trees etc. from the angle of environmental science, ecology and forestry, and there are some scholars who perform conducive exploration from the angles of forest management and carbon sink trading; (3) Research focuses emerge in endlessly, and research area becomes increasingly mature with each passing day; (4) Research on forest carbon sink enjoys a late start domestically, and the number of issued documents demonstrates a trend of increasing. Institutions centering on Chinese Academy of Sciences and Peking University etc. take an internationally leading position in studying forest carbon sink, and the research focus is acting on the international convention. China's international status in research field of forest

收稿日期: 2012-09-07; 修回日期: 2012-12-04

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(71203198); 浙江省自然科学基金资助项目(Y6110486, LY12G03006, LQ12G03007); 教育部人文社会科学规划基金项目(11YJAZH065)

作者简介: 张哲, 副教授, 博士, 从事信息管理、森林碳汇管理等研究。E-mail: zhezhang@zafu.edu.cn

carbon sink needs to be improved; (5) Low-carbon economy and carbon sink market etc. mark the research focus of forest carbon sink study in domestic management discipline. [Ch, 4 fig. 8 tab. 12 ref.]

Key words: forest carbon sink; knowledge mapping; information visualization; CiteSpace II; research focus

从20世纪90年代至今,森林碳汇一直是国际学术界研究的热点,相关研究文献与日俱增,客观上需要理清森林碳汇研究的发展脉络,以便学者继续深入研究。目前,有关森林碳汇研究领域的综述文献主要有:国内外普遍运用的碳汇计量方法^[1]、现有森林固碳研究方法^[2]、森林碳汇及其市场^[3]、碳汇估算方法^[4]等。这些文献均是从某个角度通过阅读一定量研究文献方式做研究综述,缺乏对国际国内森林碳汇研究的全面把握。科学知识图谱是随着现代信息技术发展而产生的新兴领域,人们借助它可以透视庞大的知识体系中各个领域的结构,理顺当代知识大爆炸形成的复杂知识网络,预测科学技术知识前沿发展的最新态势^[5]。本研究运用科学知识图谱对国内外有关森林碳汇研究进行定量考察,通过可视化分析形象地展示国内外有关森林碳汇研究的代表机构、代表人物、代表作品、研究热点等,旨在让广大学者能更直观地了解森林碳汇研究状况。

1 数据来源与研究方法

在国际森林碳汇研究分析方面,以国际权威的美国科学情报研究所(ISI)的科学引文索引扩展版(SCIE)为数据来源,数据库选择 SCI-EXPANDED(1899年至今),SSCI(1998年至今),A&HCI(1998年至今),CPCI-S(1998年至今),CPCI-SSH(1998年至今)。以主题词为检索入口,以“forest carbon sink*”“forest carbon sequestration”为检索词,检索词采用“or”组配,数据库时间跨度为所有年份,共检索到4 619篇研究文献,论文分布年份为1996–2012年,数据检索日期为2012年6月23日。

在国内人文社科学者森林碳汇研究分析方面,采用中国期刊网的CNKI数据库,数据库检索时间跨度为1994–2012年,以主题为检索入口,以“碳汇”为检索词,检索并提炼检索结果,并对数据进行清洗,得到403篇研究文献,数据检索日期为2012年8月10日。

本研究运用科学计量学方法,结合共引分析和词频分析,借助科学知识图谱展示森林碳汇研究成果,选择美国Drexel大学信息科学与技术学院陈超美博士用Java语言开发出的可视化分析软件CiteSpace II^[6]为知识图谱分析工具,通过该软件绘制聚类视图和时区视图,从代表机构、代表人物、代表文献、研究热点等对森林碳汇研究成果进行揭示。分析基本操作步骤为:确定国际森林碳汇研究为需要考察的知识领域、收集数据、提取研究前沿术语、时区分割、阈值选择、精简和合并知识图谱网络、显示知识图谱视图、可视检测、通过专家咨询或查阅文献验证森林碳汇研究关键点。

2 国际有关森林碳汇研究分析

2.1 国际森林碳汇研究机构分析

在CiteSpace II软件界面,选择“Country”与“Institution”为网络节点类型,主题词来源选择文献标题、摘要、关键词和标识符,选择路径搜索(pathfinder)算法,数据抽取对象为Top30,设置单个时间分区长度(time slicing)的值为1,整个时间跨度为1996–2012年,选取4 619篇论文为分析对象,运行CiteSpace II绘制有关森林碳汇研究的国家及机构的综合性分析图谱(图1)。图1显示了森林碳汇研究的主要机构,圆圈节点分别代表不同的机构(国家、高校等),节点越大,则该机构发表的文献越多,节点与节点之间的合作关系是通过连线表示出来的,连线的粗细与合作次数呈正比。部分节点因较小,未能在图中显示出来。

点的中心性是一个用以量化点在网络中地位重要性的图论概念,中间中心性值越大,节点位置越重要。如表1所示,从节点的中间中心性看,在整个网络中,美国的节点中心性最大,值为0.36,表现为从该节点引出的连线最多,表明共现网络中相当多的国家及机构都直接或间接地与它有合作关系,这样的国家包括加拿大、中国、德国、澳大利亚、英国、日本等,显示其在该研究中的重要学术地位,其次为澳大利亚、荷兰、巴西、加拿大等国家;中国的节点中心性较小,值仅为0.02,说明合作机构较少,在森林碳汇研究国际研究网络中的地位较弱。不过,数据统计显示,从发文的突增性来看,中国的

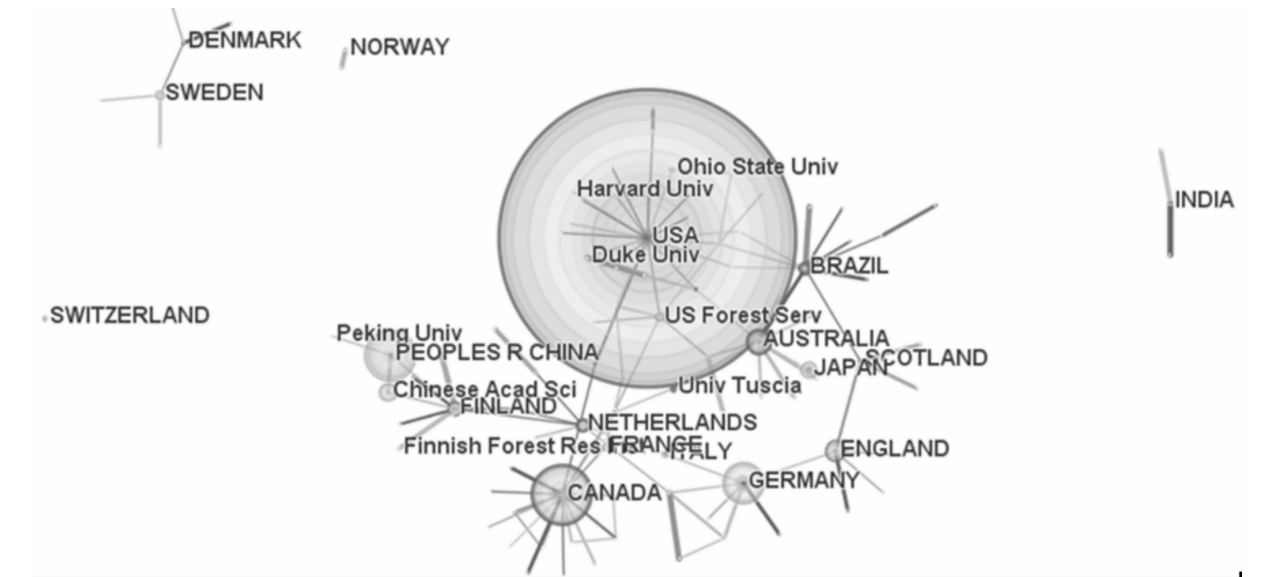


图 1 森林碳汇研究的国际机构图谱

Figure 1 Mapping on international organizations of forest carbon sink research

Burst 值为 23.78，是整个网络中发文突增性最大的一个节点，说明中国学者在该方面的研究已开始呈现出较强势头。

表 1 国际森林碳汇研究力量的相关信息统计（论文发文频次大≥50）

Table 1 Relevant information statistics of research competence of international forest carbon sink（posting frequency≥50）

国家或机构	发文频次	节点中心性	国家或机构	发文频次	节点中心性
美国	1 593	0.36	苏格兰	94	0.13
加拿大	355	0.21	意大利	94	0.02
中国	304	0.02	西班牙	85	0
德国	303	0.07	俄亥俄州立大学	81	0
澳大利亚	178	0.31	印度	74	0
英国	165	0.11	俄勒冈州立大学	71	0.02
中国林业科学院	155	0	比利时	69	0.01
日本	135	0	马克斯普朗克研究所	68	0
芬兰	132	0.14	杜克大学	67	0
法国	117	0	俄罗斯	62	0.04
瑞典	114	0	英属哥伦比亚大学	60	0
美国林业局	108	0.11	新西兰	57	0.08
荷兰	105	0.25	赫尔辛基大学	52	0
巴西	104	0.24	科罗拉多州立大学	52	0.09
瑞士	98	0			

美国作为森林碳汇研究学术论文产量最大的国家，其研究机构主要分布在大学里，如 Ohio State University(俄亥俄州立大学)，Oregon State University(俄勒冈州立大学)，Duke University(杜克大学)，Colorado State University(科罗拉多州立大学)，Harvard University(哈佛大学)，University of California, Berkeley(加州大学伯克利分校)等。此外，US Forest Service(美国林业局)也是主要的研究机构之一，排名前 3 位的分别为美国林业局、俄亥俄州立大学、俄勒冈州立大学；加拿大的主要研究机构有 Natural Resources Canada(加拿大自然资源部)，University of Alberta(阿尔伯塔大学)，University of Toronto (多伦

多大学), Canadian Forest Service(加拿大森林服务公司), Agriculture and Agri-Food Canada(加拿大农业与农产品在线)等。中国的主要研究机构有中国科学院、北京大学、中国林业科学院等,中国科学院排在第1位。

2.2 国际森林碳汇研究高被引文献分析

2.2.1 国际森林碳汇研究文献共引网络图谱 绘制共引网络图谱是引文分析的重要内容,可以明确该研究领域文献共同被引用的频次较高的文献情况。在此,同样以检索到的文献为数据源,在 CiteSpace II 界面中选中 Node Types 为“cited reference”,设置单个时间分区长度(time slicing)的值为2,整个时间跨度为1996–2012年,数据抽取对象为 Top30,选择网络精简(pathfinder),运行 CiteSpace II 生成时区视图,得到国际森林碳汇研究时间序列图谱(图2)。圆圈节点代表研究文献,具有较高引用频次的文献节点较大。国际上有关森林碳汇研究在1990年以前已有少量文献,但比较重要的、影响较大的文献主要集中在1990–2002年(图2中长方形选定区域),2002年后文献被引未出现过如1990–2002年间高被引的情况。

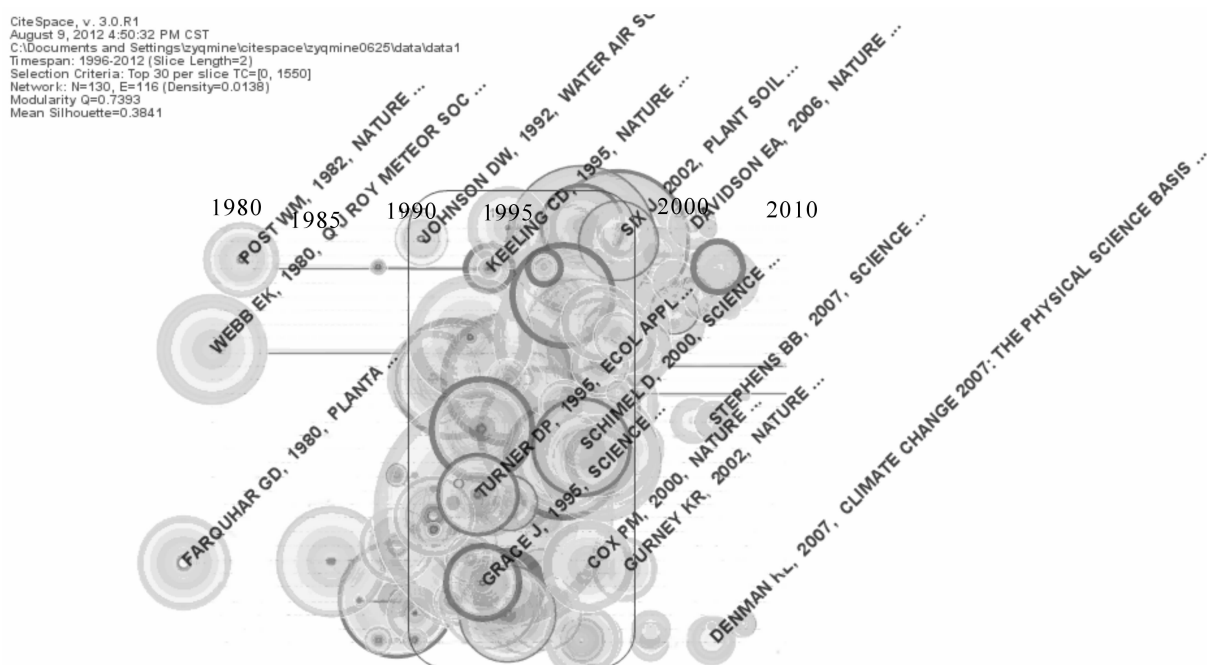


图2 国际森林碳汇研究文献共引网络图谱

Figure 2 Co-citation network mapping on research literature of international forest carbon sink

2.2.2 国际森林碳汇研究较具影响力的节点 图2形象地描绘出了国际森林碳汇研究的知识脉络,但由于篇幅有限,未能显示时间序列上重要节点的详细信息。对森林碳汇研究领域的知识图谱来说,具有影响力的学者发表的论文一定具有高被引用频次,或拥有较高的中间中心性值,或者两者同时具备。表2共列举了53篇文献,按被引频次排序,这些网络节点表现出的文献特征与图2相吻合。表2统计数据显示:①从被引频次看,排在第1位的是Dixon等^[7]于1994年在*Science*上发表的标题为*Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems*的论文,被引频次为306。该文认为,一些模拟推测结果表明森林将是未来的碳源/汇,降低采伐速度,增加造林面积及一些其他管理措施可以提高森林生态系统生产率、增加森林固碳率。第2位是Valentini等^[8]于2000年在*Nature*上发表的标题为*Respiration as the Main Determinant of Carbon Balance in European Forests*的论文,被引频次为225。该文列出了1996–1998年15个欧洲森林的生态系统净交换数据,认为大部分欧洲森林生态系统表现为碳汇,且存在巨大的差异性;生态系统呼吸决定了净生态系统碳交换量;对某一特定森林生态系统碳平衡的精确评估,应用遥感植被指数进行估算或者基于森林调查的评估可能并不够充分。第3位是Post等^[9]于2000年在*Global Change Biology*上发表的标题为*Soil Carbon Sequestration and Land-use Change: Processes and Po-*

tential 的论文，被引频次为 189。论文讨论当土地利用和管理方式发生变化时可以导致土壤碳汇增加的必要元素——土壤有机质，认为土壤碳积累持续时间及变化比率有相当大变动，恢复植被的生产力、土壤的自然和生物条件，土壤有机碳历史投入及物理干扰等因素与这种变化相关；在多年生植被生长初期，碳蓄积最大速率通常低于 $100\text{ g}\cdot\text{cm}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$ ；森林和草地的平均碳蓄积速率较接近；用观测到的土壤有机碳蓄积率结合相关土地面积来解释从前农业用地时碳蓄积造成的较明显的全球碳循环失踪碳汇是不充分的。②从节点的中心性看，排在第 1 位的是 Keeling 等^[10]于 1996 年在 *Nature* 上发表的标题为 *Global and Hemispheric CO₂ Sinks Deduced From Changes in Atmospheric O₂ Concentration* 的论文，被引频次为 75，中心度为 1.25。论文结果表明全球海洋系统和北半球陆地生态系统分别吸收了大约全球 30% 化石燃料排放的二氧化碳(CO₂)，而热带陆地生态系统整体来说并不是一个明显的碳汇或碳源。第 2 位是 Grace 等^[11]于 1995 年在 *Science* 上发表的标题为 *Carbon Dioxide Uptake by an Undisturbed Tropical Rain Forest in Southwest Amazonia, 1992 to 1993* 的论文，被引频次为 100，中心度为 0.55。在该研究中，作者经过 1992 到 1993 年间对巴西原始热带雨林干湿季 55 d 的 CO₂ 观测，发现巴西原始热带雨林为 CO₂ 净吸收体，排除季节因素，光合作用吸收的 CO₂ 超过了呼吸消耗的 CO₂。第 3 位是 Keeling 等^[12]于 1995 年在 *Nature* 上发表的标题为 *Interannual Extremes in the Rate of Rise of Atmospheric Carbon-Dioxide Since 1980* 的论文，被引频次为 68，中心度为 0.54。论文认为，过去 40 a 的 CO₂ 观测显示莫纳罗亚山、夏威夷及南极大气浓度的上升和工业 CO₂ 的排放成正比，但是在 20 世纪 80 年代这个比例被大气 CO₂ 浓度的高增长打破，1988 年这个增长比例有所下降。利用大气 CO₂ 中 ¹²C 和 ¹³C 的比例来区分生物圈和海洋的碳源/汇，发现最近 CO₂ 比例的非平衡增长主要是因为气温变化影响了陆地生物圈和海洋的源汇，还可能和雨量有关。除以上 6 篇文献外，表 2 列举了图 2 中所含有其他节点的被引频次、节点中间中心性值、作者及论文发表年份，由于篇幅有限，故各所代表文献的主要观点此略。

2.3 国际森林碳汇研究热点分析

研究热点是在某一时间段内有内在联系的、数量相对较多的一组论文所探讨的科学问题或专题。在此，同样以前文检索的文献为数据源，在 CiteSpace II 界面中选中 Node Types 为“key word”，设

表 2 国际森林碳汇研究共被引网络中较具影响力的作者

Table 2 Authors with great influence in co-citation network of international forest carbon sink

被引频次	节点中心性	作者	发表年份	被引频次	节点中心性	作者	发表年份
306	0.05	Dixon R K	1994	114	0.08	Schlesinger W	1997
225	0.03	Valentini R	2000	113	0	Goodale C L	2002
189	0.18	Post W M	2000	112	0.03	Myneni R B	1997
176	0.20	Guo L B	2002	111	0.25	Turner D P	1995
167	0	Lloyd J	1994	110	0.34	Schimel D	2000
166	0.49	Fan S	1998	110	0.03	Goulden M L	1998
163	0.44	Goulden M L	1996	106	0.13	Paul K I	2002
158	0.05	Pacala S W	2001	105	0.32	Jobbagy E G	2000
153	0.05	Parton W J	1987	104	0.03	Harmon M E	1990
153	0	Webb E K	1980	102	0	Phillips O L	1998
152	0.03	Schimel D S	2001	102	0	Barford C C	2001
151	0.23	Tans P P	1990	100	0.55	Grace J	1995
151	0.08	Oren R	2001	98	0.23	Schlesinger W H	2001
146	0.11	Aubinet M	2000	82	0.18	Townsend A R	1996
144	0.47	Houghton R A	1999	75	1.25	Keeling R F	1996
143	0.47	Wofsy S C	1993	68	0.54	Keeling C D	1995
140	0.08	Baldocchi D	2001	64	0.16	Reichstein M	2005
135	0.03	Schimel D S	1995	60	0.41	Jandl R	2007
130	0	Raich J W	1992	59	0.45	Holland E	1997
129	0.11	Goulden M L	1996	48	0.49	Cao M K	1998

表 2 (续)

发文频次	节点中心性	作者	发表年份	发文频次	节点中心性	作者	发表年份
128	0.46	Nadelhoffer K J	1999	42	0.41	De Vries W	2006
128	0.40	Falge E	2001	32	0.11	Bazzaz F A	1990
127	0.50	Ciais P	1995	30	0.27	Enting I G	1995
124	0.03	Cox P M	2000	24	0.13	Dewar R C	1991
123	0	Kurz W A	1999	21	0.13	Hudson R J M	1994
122	0.30	Caspersen J P	2000	17	0.16	Kolchugina T P	1993
114	0.08	Melillo J M	1993				

置单个时间分区长度(time slicing)的值为 2, 整个时间跨度为 1996–2012 年, 设置并调节阈值为 (15, 6, 20), (15, 8, 20), (10, 3, 20), 选择网络精简(pathfinder), 选择 Term Type 为 “noun phrases”, 运行CiteSpace II, 得到国际森林碳汇研究热点 (如表 3 与表 4)。具有影响力的关键词主要产生于 1996–2002 年发表的论文中, 研究热点较集中; 2002 年后, 这些热点的影响力逐渐减少, 并相继产生了新的研究热点。下文将对集中区域及后继区域的研究热点进行具体分析。

2.3.1 1996–2002 年研究热点 依各年份关键词出现的频次排序, 共列举了 1996–2002 年间热点关键词约 70 个, 其中 2002 年的关键词数占一半以上, 且呈现出一些重要的特征。①排在首位的是 carbon sequestration(碳汇), 该词在 1996 年出现了 810 次, 在 1998–2000 年又相继出现了 208 次和 540 次, 说明

表 3 国际森林碳汇研究 1996–2002 年热点关键词(各年按频次排序)

Table 3 Hot key words in international forest carbon sink research from 1996 to 2002 (order in frequency)

关键词	频次	关键词	频次	关键词	频次
1996 年		united-states	237	deciduous forest	154
carbon sequestration	810	land-use change	216	photosynthesis	148
biomass	375	soil	204	temperature	148
carbon	361	carbon sink	194	exchange	140
ecosystems	291	forest ecosystems	194	deforestation	133
carbon dioxide	251	elevated CO ₂	189	balance	131
dioxide	175	net primary roduction	187	net primary production	128
1998 年		land-use	186	tropical forests	128
forest	526	fluxes	182	forest soils	127
climate change	412	kyoto protocol	153	sinks	125
organic matter	397	sink	100	global warming	124
nitrogen	374	2002 年		forest floor	118
storage	291	soil C	367	cycle	115
atmospheric CO ₂	250	organic C	268	land-use change	115
model	240	management	265	global carbon cycle	114
carbon-dioxide	212	growth	236	turnover	111
C sequestration	208	vegetation	223	ecosystem	108
terrestrial ecosystems	202	general circulation model (GCM)	215	water-vapor	107
degrees C	98	climate	209	variability	105
2000 年		soil respiration	196	net ecosystem exchange	104
sequestration	540	respiration	183	rain-forest	103
organic carbon	435	decomposition	171	budget	96
dynamics	378	growing season	167	carbon cycle	96
forests	260	carbon stocks	165	carbon sink	85
organic-matter	258	eddy covariance	158	land	77
climate change	252	terrestrial ecosystems	158	kyoto protocol	66
carbon storage	239	boreal forest	154		

固碳的重要性，体现了森林碳汇研究的根本所在。②从 1998 年开始，研究文献中产生了 climate change (气候变化)，forest(森林)，forest ecosystems(森林生态系统)，land-use(土地利用)，land-use change (土地利用变化)，boreal forest(北方森林)，deciduous forest(落叶林)，deforestation(森林采伐)，tropical forests(热带森林)，forest soils(森林土壤)，forest floor(森林地被物)，rain-forest(热带雨林)等关键词(表3 粗体字部分关键词)，形成了一个知识链，体现了森林在减缓气候变化中的重要作用，对森林固碳的研究具有极其重要的意义。③值得一提的是，国际森林碳汇研究现有影响力的文献多是从自然科学的角度研究森林生态系统的固碳，然而，表 3 中 management (管理)关键词的出现充分说明了从管理角度探讨森林碳汇研究的重要性。此外，Kyoto protocol(京都议定书)的高频次关键词的出现，说明京都议定

表 4 国际森林碳汇研究 2003–2012 年热点关键词(各年按关键词排序)

Table 4 Hot key words in international forest carbon sink research from 2003 to 2012 (order in key words)

关键词	频次	关键词	频次	关键词	频次
2004 年		tree species	98	soil carbon sequestration	57
afforestation	132	2008 年		soil carbon stocks	37
carbon balance	129	aboveground biomass	49	soil profile	54
emissions	138	agricultural soils	59	soil properties	67
forest soils	140	boreal forest	61	soil samples	79
mineral soil	103	carbon budget	69	stocks	57
net ecosystem exchange	98	carbon cycle	69	temperate forest	67
soil organic matter	87	carbon dynamics	66	tree biomass	54
soil respiration	136	carbon emissions	83	tree growth	76
tropical forests	105	carbon fluxes	81	wood products	87
2006 年		carbon stock	61	2010 年	
aboveground biomass	96	clean development mechanism	55	carbon sequestration potential	52
agriculture	68	conservation	75	carbon source	51
biodiversity	112	disturbance	65	carbon-dioxide exchange	53
boreal forests	72	ecosystem services	52	dioxide exchange	49
carbon sinks	116	european forests	84	diversity	33
carbon storage	105	fertilization	76	ecosystem services	39
China	67	fine roots	62	forest biomass	71
ecosystem respiration	119	forest area	45	forest growth	60
forest ecosystem	70	forest carbon	44	net ecosystem production	80
forest management	139	forest cover	37	net primary productivity	61
heterotrophic respiration	77	forest soil	59	net sink	78
microbial biomass	99	forest types	41	significant differences	66
net ecosystem productivity	77	forestry	45	soil C sequestration	49
norway spruce	65	global climate change	67	soil organic-carbon	42
soil moisture	101	grassland	81	soil quality	36
soil organic carbon	98	management practices	59	species composition	45
soil organic-matter	83	net primary productivity	84	temperate forests	60
soils	109	pasture	58		
tillage	63	scots pine	72		

书的重要意义。

2.3.2 2002 年以后的研究热点 ①土壤与固碳 (表 4)。约 20%左右的关键词与该研究相关, 如 soil C sequestration(土壤固碳), soil organic-carbon(土壤有机碳), soil quality(土壤质量), agricultural soils(农田土壤), forest soil(森林土壤), soil carbon stocks(土壤碳储量), soil profile(土壤剖面), soil properties(土壤性质), soil samples(土样), soil moisture(土壤水分), soil organic carbon(土壤有机碳), mineral soil(矿质土壤), soil organic matter(土壤有机质), soil respiration(土壤呼吸), soil temperature(土壤温度)等, 其中 2004 和 2006 年研究最热, 多属于自然科学的研究。②对森林固碳的研究。2000 年开始有这方面的研究, 2003–2012 年间研究更加热烈、持续、深入, 出现了 forest biomass (森林生物群), forest degradation(森林退化), forest growth(森林生长), forest land(林地), species composition(物种组成), temperate forests(温带森林), boreal forest(北方森林), European forests(欧洲森林), forest area(林业区域), forest carbon(森林碳), forest cover(森林植被), forest soil(森林土壤), forest types(森林类型), forestry(造林术), temperate forest(温带森林), forest ecosystem(森林生态系统), forest management(森林管理)等关键词。③对不同树种固碳能力的研究。tree species(树种), norway spruce(挪威云杉), tree biomass(树木生物量), tree growth(林木生长), scots pine(欧洲赤松), fine roots(细根)等关键词。总之, 2002 年后, 国际森林碳汇研究既继承了已有的研究成果, 也发生很大的变化, 具体体现在关键词随时间的变化上。

3 国内有关森林碳汇研究分析

3.1 基于国际引文索引数据库来源数据的分析

国内学者在森林碳汇方面的研究文献总数所占的比例约 10%, 与美国、加拿大等国家相比, 中国的研究力量显得有些单薄。但统计发现, 国内研究文献增长较快, 也突现了一批有影响力的研究机构与学者, 对国内森林碳汇研究机构与学者的分析具有一定的意义。以主题词为检索入口, 以 “forest carbon sink” “forest carbon sequestration” 为检索词, 检索词采用 “or” 组配, 数据库时间跨度为所有年份, 共检索到 4 619 篇研究文献, 然后按国别 “Peoples R China” 进行提炼, 得到论文为 304 篇, 检索所得论文时间跨度为 1996–2012 年, 采用 CiteSpace II 可视化分析软件对国内学者在森林碳汇方面的研究状况进行简要分析。

3.1.1 国内森林碳汇研究核心机构 有关国内森林碳汇研究核心机构分析过程同上, 表 5 显示了研究机构的排名情况。

表 5 国内森林碳汇核心机构排名 (发文频次 ≥ 3)

Table 5 Domestic list of core organizations of forest carbon sink (frequency ≥ 3)

机构	发文频次	机构	发文频次	机构	发文频次
中国科学院	199	南京大学	7	华东师范大学	4
北京大学	26	南京农业大学	7	山西大学	3
北京师范大学	16	浙江农林大学	7	华南农业大学	3
中国林业科学院	14	四川农业大学	6	华中农业大学	3
东北林业大学	11	浙江大学	5	福建农林大学	3
中国农业大学	9	西北农林科技大学	5	华南农业大学	3
北京林业大学	9	福建师范大学	5		

3.1.2 国内森林碳汇研究核心作者 图 3 为 CiteSpace II 绘制的森林碳汇研究国内核心学者图谱。目前, 国内学者有关森林碳汇研究作者已形成了一个较稳定的中心节点群, 这些研究者分别是于贵瑞、孙晓敏、方精云、朴世龙、刘纪远、周国模、周国逸、彭长辉、魏晓华等学者。此外, 图 3 中四周还有相当多分散的节点, 说明他们彼此之间较缺乏合作。核心作者的发文情况如表 6 所示。从节点的中心性看,

从高到低排名依次为：于贵瑞、刘纪远、周国模、周国逸、魏晓华等，体现了这些研究者在该领域研究国内的重要学术地位。表 7 列举了较高发文频次及较高中心性的国内森林碳汇研究核心学者的主要研究成果，都代表了国际森林碳汇研究的热点，如陆地生态系统、碳储量、碳循环、森林管理、(毛竹 *Phyllostachys edulis*)碳汇林等，大都是立足于本国的森林碳汇研究，学者做出了卓越的科研成绩。

表 6 国内森林碳汇核心作者(发文频次≥6)

Table 6 Domestic core scholars of forest carbon sink (frequency≥6)					
作者	发文频次	节点中心性	作者	发文频次	节点中心性
于贵瑞	26	0.25	周国模	7	0.08
孙晓敏	9	0	周国逸	7	0.08
方精云	8	0	彭长辉	7	0
朴世龙	7	0	魏晓华	6	0.05
刘纪远	7	0.1			

表 7 国内核心学者的主要研究(按学者姓名拼音排序排列)

Table 7 Main research of domestic core scholars (order in pinyin of the scholar's name)	
学者	研 究 成 果
方精云	中国陆地生态系统碳储量及植被生产力，陆地碳储量的估算方法，陆地植被二氧化碳的源汇功能及其动态变化
刘纪远	LUCC 对陆地生态系统生产力、碳循环、土地退化等的影响
彭长辉	全球变化、陆地生态系统碳循环和生态模型研究等
朴世龙	中国陆地生态系统碳循环的时空变化及其机制分析
孙晓敏	生态系统水分传输的实验观测，实验遥感，基于涡度相关技术的水热和二氧化碳通量测定
魏晓华	生态(生产力可持续研究与模拟)与碳氮循环
于贵瑞	全球变化，陆地生态系统碳和水循环、生态系统网络观测与模拟、生态信息学等
周国模	毛竹林固持二氧化碳特征及动态，毛竹固碳能力及碳储量遥感估算技术，毛竹碳汇林经营、监测和计量等
周国逸	南亚热带典型森林生态系统碳循环，森林水文学过程中碳的迁移，流失和沉积

3.2 基于 CNKI 数据库来源数据的分析

国内人文社科学者近年来就森林碳汇做了大量的研究，这些成果绝大部分发表在国内的学术期刊上，往往不被国外的 SSCI 等检索工具收录，前文的分析未能包括这些数据，因此，有必要单独做分析。

3.2.1 主要研究机构及作者 通过对 403 篇文献统计分析发现，国内人文社科学者对森林碳汇的研究机构排名及发文频次依次为：北京林业大学，35 篇；东北林业大学，23 篇；国家林业局，21 篇；西南林学院，15 篇；福建农林大学，10 篇；浙江农林大学(含原浙江林学院)，6 篇；江西农业大学，6 篇；中国林业科学院林业科技信息研究所，5 篇；南京林业大学，5 篇。此外，发文频次低于 5 篇的有 10 余所机构。主要学者有李怒云、文冰、宋维明、冯亮明、沈月琴、陈叙图、武曙红、黄宰胜、黄敏、刘伟平、支玲、陈钦、颜士鹏、林德荣、曹玉昆、李智勇等。

3.2.2 研究热点 将数据转换成 CiteSpace II 软件能够处理的格式，并对研究热点进行了定量分析，绘制国内人文社科学者森林碳汇研究的热点关键词图谱。结合图 4 与表 8，论文中热点关键词主要集中在 2005 年与 2009 年。图 4 中圆圈越大的节点所代表的关键词出现的频次越高。在 2005–2006 年，“林业、碳汇、碳汇市场、清洁发展机制、交易成本、气候变化”等高频关键词的出现表明基清洁发展机制(clean development mechanism, CDM)的林业碳汇是国内人文社科学者研究的热点之一。在 2007–2008 年期间未产生新的有



图 3 森林碳汇研究国内核心学者图谱
Figure 3 Mapping on domestic core scholars of forest carbon sink research

影响的热点,但到 2009 年,又掀起了一个小高潮,除了继续对 2005–2006 年的热点进行研究外,还出现了“低碳经济、碳汇林业、森林可持续经营、对策”等关键词,表明学者开始对森林碳汇的可持续发展展开了一些新的研究。2009 年以后,学者对森林碳汇的研究没有出现明显的新热点。

表 8 国内人文社科学者学科森林碳汇研究高频关键词(频次≥4)

Table 8 Hot key words in domestic management scholars' research of forest carbon sink (frequency≥4)

关键词	频次	年份	关键词	频次	年份	关键词	频次	年份
森林碳汇	62	2005	碳源	12	2009	生态补偿	6	2009
碳汇	55	2005	碳汇交易	12	2011	碳汇价值	6	2011
清洁发展机制	35	2005	碳汇项目	11	2005	碳储量	6	2009
林业	35	2005	市场	9	2005	对策	6	2009
林业碳汇	34	2005	森林	9	2005	政策	5	2003
低碳经济	31	2009	可持续发展	9	2005	碳汇造林	5	2008
气候变化	23	2006	碳汇经济	8	2009	造林	5	2005
碳汇林业	17	2009	碳排放	7	2011	森林可持续经营	4	2009
土地利用	14	2008	中国	6	2008	潜力	4	2005

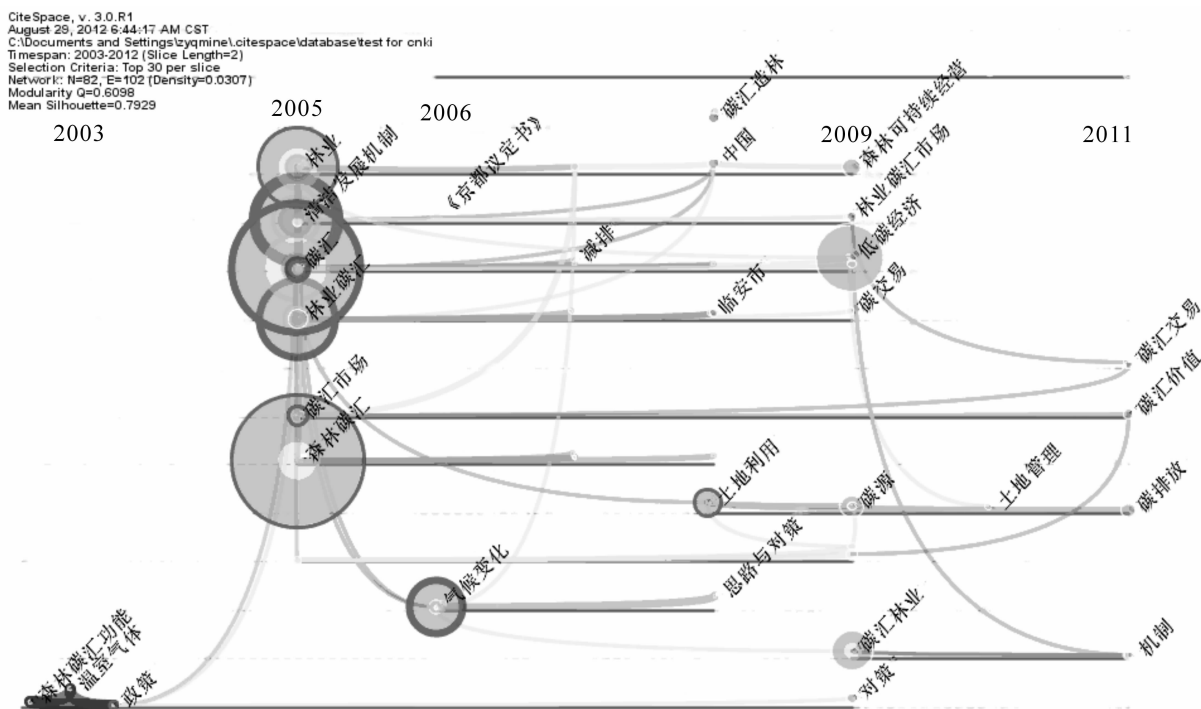


图 4 国内人文社科学者学科森林碳汇研究关键词共现网络图谱

Figure 4 Mapping on keywords co-appearance networks in domestic management scholars' research of forest carbon sink

4 结论

20 世纪 90 年代以来,国内外学者对森林碳汇的研究日益热烈, Web of Science 数据库记录显示研究文献逐年增加,2011 年已上升为 598 篇,占该研究领域文献总量的 12.43%,较 2010 年增长 17.7%,比 1996 年发文数增加了 8 倍,出现了多学科共同研究的态势,如环境科学、生态学、林学、管理学等,不过,更多的表现为前三者,管理学角度较少。本研究采用 CiteSpace II 分析软件对国内外森林碳汇研究论文进行分析,得出以下结论:①美国、加拿大、中国、德国、澳大利亚、荷兰、巴西等是国际上森林碳汇研究的主要国家。美国在发文频次及节点中心性上均排在首位,体现学术领导地位,这得益于美国林业局、俄亥俄州立大学、俄勒冈州立大学等机构的研究。②国际森林碳汇研究较有影响力的文献汇

聚在1990–2002年, 论文分析时选取了被引频次前3位及节点中心性前3位的6篇文献, 论文所研究的内容至今仍是国际森林碳汇研究关注的核心问题。③国际森林碳汇研究新热点层出不穷, 研究领域日益成熟。分析发现, 有关碳汇的研究文献可以追溯到20世纪80年代, 从IPCC(1988年)的成立, 到联合国气候变化框架公约的通过与生效, 再到京都议定书正式生效与履约等过程中, 学术界的研究热点随着时间不断地发生变迁, 从一开始对大气中碳循环的研究, 到气候变化与森林固碳、再到碳交易等均打上了较强的时间烙印。热点关键词更多地表现为从自然科学角度的研究, 如森林生态系统碳循环、土壤固碳机理、不同林种及树种的固碳能力等。④国内森林碳汇研究起步稍晚, 发文数呈快速上升趋势。以中国科学院、北京大学等为核心的机构走在国际森林碳汇研究的前列, 涌现出了于贵瑞、孙晓敏、方精云、朴世龙、刘纪远、周国逸、周国模、彭长辉、魏晓华等一批重量级的学者。研究热点与国际接轨, 不同之处表现为带有本土特征的关键词上, 如northeast China(东北), eastern China(华东), Qinghai-Tibetan Plateau(青藏高原), southern China(华南), southwestern China(西南), Heilongjiang Province(黑龙江省)等。但中国在国际森林碳汇研究领域的学术地位有待提升。⑤国内以北京林业大学为首的人文社科学者围绕基于清洁发展机制的森林碳汇及森林碳汇的可持续发展等热点展开了一些研究。以上所有结论均是基于CiteSpace II的分析结果, 与数据获取时间、数据质量有关。由于CNKI数据库检索结果所生成的题录信息不包含该论文引用的详细参考文献信息, 故不能做引文分析。

参考文献:

- [1] 赵林, 殷鸣放, 陈晓非, 等. 森林碳汇研究的计量方法及研究现状综述[J]. 西北林学院学报, 2008, **23**(1): 59 – 63.
ZHAO Lin, YIN Mingfang, CHEN Xiaofei, *et al.* Summary of the research methods of forest carbon sink accounting [J]. *J Northwest For Univ*, 2008, **23**(1): 59 – 63.
- [2] 殷鸣放, 杨琳, 殷伟达, 等. 森林固碳领域的研究方法及其最新进展[J]. 浙江林业科技, 2010, **30**(6): 78 – 86.
YIN Mingfang, YANG Lin, YIN Weida, *et al.* Research methods and progress in the field of forest carbon sequestration [J]. *J Zhejiang For Sci Technol*, 2010, **30**(6): 78 – 86.
- [3] 王静, 沈月琴. 森林碳汇及其市场的研究综述 [J]. 北京林业大学学报: 社会科学版, 2010, **9**(2): 82 – 87.
WANG Jing, HEN Yueqin. Research review on forest carbon sequestration and its market [J]. *J Beijing For Univ Soc Sci*, 2010, **9**(2): 82 – 87.
- [4] 廖培涛, 蒋忠诚, 罗为群, 等. 碳汇估算方法研究进展[J]. 广西科学院学报, 2011, **27**(1): 39 – 43, 54.
LIAO Peitao, JIANG Zhongcheng, LUO Weiqun, *et al.* Progress of research and prospect on evaluation methods of carbon sink [J]. *J Guangxi Acad Sci*, **27**(1): 39 – 43, 54.
- [5] 刘则渊, 陈悦, 侯海燕, 等. 科学知识图谱: 方法与应用[M]. 北京: 人民出版社, 2008: 29 – 30.
- [6] CHEN Chaomei. CiteSpace II: Detecting and visualizing emerging trends and transient patterns in scientific literature [J]. *J Am Soc Inf Sci Technol*, 2006, **57**(3): 359 – 377.
- [7] DIXON R K, BROWN S, HOUGHTON R A, *et al.* Carbon pools and flux of global forest ecosystems [J]. *Science*, 1994, **263**(5144): 185 – 190.
- [8] VALENTINI R, MATTEUCCI G, DOLMAN A J, *et al.* Respiration as the main determinant of carbon balance in European forests [J]. *Nature*, 2000, **404**(6780): 861 – 865.
- [9] POST W M, KWON K C. Soil carbon sequestration and land-use change: processes and potential [J]. *Glob Change Biol*, 2000, **6**(3): 317 – 327.
- [10] KEELING R F, PITER S C, HEIMANN M. Global and hemispheric CO₂ sinks deduced from changes in atmospheric O₂ concentration [J]. *Nature*, 1996, **381**(6579): 218 – 221.
- [11] GRACE J, LLOYD J, MCINTYRE J, *et al.* Carbon-dioxide uptake by an undisturbed tropical rain-forest in south-west Amazonia, 1992 to 1993 [J]. *Science-New York Then Washington*, 1995, **270**(5237): 778 – 780.
- [12] KEELING C D, WHORF T P, WAHLEN M, *et al.* Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon-dioxide since 1980 [J]. *Nature*, 1995, **375**(6533): 666 – 670.