



开放科学
(资源服务)
标识码
(OSID)

基于文献计量和复杂网络的环境 / 生态学 高被引论文分析

万晨^{1,2} 胡小飞²

1. 江西省华赣环境集团有限公司 南昌 330096;

2. 南昌大学管理学院 南昌 330031

摘要: [目的 / 意义] 分析和研究环境 / 生态学科的现状 & 国际学术合作情况, 旨在了解我国在该领域范围内的优势及不足, 为我国未来生态环境领域的科研活动以及国家合作方向提供借鉴。[方法 / 过程] 本文以 2009—2019 年 WOS 核心数据库中的 5640 篇环境 / 生态学科高被引论文为数据源, 对时空分布与影响力进行计量分析, 同时运用复杂网络分析法, 构建国际合作网络结构, 探析合作的现状和特点。[结果 / 结论] 结果显示: 环境 / 生态学高被引论文的国际合作研究呈现积极上升态势, 各国间知识流动日益频繁, 但国家间合作分布异质性明显。中国在该学科高被引论文发表数以绝对优势占据领先地位, 但论文国际合作比例偏低, 未来需要加强论文的原始创新, 提高研究成果的国际影响力。

关键词: 环境 / 生态学; 高被引论文; 国际合作; 复杂网络

中图分类号: G35

Analysis of Highly Cited Papers in Environmental/Ecological Disciplines Based on the Bibliometric and Complex Network

WAN Chen^{1,2} HU Xiaofei²

1. Jiangxi Province HuaGan Environment Group Co. LTD, Nanchang 330096, China;

2. School of Management, Nanchang University, Nanchang 330031, China

Abstract: [Purpose / Significance] To analyze and study the current research status and international academic cooperation in the field of environment/ecology, in order to understand China's advantages and disadvantages in this field, and to provide reference

基金项目 国家自然科学基金项目“城乡梯度绿地土壤温室气体排放的时空变异及驱动机制”(31770749)。

作者简介 万晨(1990-), 硕士研究生, 馆员, 研究方向为情报分析、信息计量与环境管理; 胡小飞(1974-), 博士, 教授, 研究方向为资源与环境管理, 通讯作者, E-mail: huxiaofei@ncu.edu.cn。

for China's future scientific research activities in the field of ecological environment and the direction of national cooperation. [Methods/Process] In this paper, 5640 highly cited papers of environmental/ecological disciplines in WOS core database from 2009 to 2019 are used as data sources to conduct the quantitative analysis on spatial and temporal distribution and influence. Meanwhile, complex network analysis is used to construct the network structure of international cooperation and explore the current situation and characteristics of cooperation. [Results /Conclusions] The results showed that the international cooperative research of highly cited papers in environment/ecology presented a positive trend, and the knowledge flow among countries was increasingly frequent, but the distribution of cooperation among countries was heterogeneous. China has a leading position in the number of highly cited papers published in this discipline, but the proportion of international cooperation in papers is relatively low. In the future, it is necessary to strengthen the original innovation of papers and improve the international influence of research results.

Keywords: Environmental/ecology; highly cited papers; international cooperation; complex network

引言

环境 / 生态学科的建立与发展, 是为了洞悉环境问题产生的内在机理, 探究用户相关环境行为, 分析国家相关环境政策等, 从而更好地解决环境生态问题, 促进人类与生态环境协调发展。环境 / 生态学作为综合性与合作性很强的学科, 不仅涉及自然科学、工程技术, 而且扩大到社会学、经济学、管理学等领域; 在国家内部各机构开展合作, 也在不同国家之间开展国际合作。因此, 非常有必要对环境 / 生态学的高被引论文进行文献计量与国际合作研究。高被引论文的计量分析可反映某个国家或学科领域的总体研究现状与趋势, 目前主要应用于保健科学^[1]、管理学与经济学^[2]、太阳能领域^[3]、食品科学^[4]、管理科学^[5]、图书情报学^[6]等学科和领域, 而对环境 / 生态学科的计量分析则主要集中于某个主题^[7-9], 未有文献对国际环境生态学高被引论文进行分析研究。不同学科的国际合作研究能够在很大程度上明确该领域科研主题的聚类 and 主要合作网络的生成, 从而推进科研影响力的进步和发展^[10]。已有学者对农业、地理科学等不同学科领域^[11-15]的国际

合作网络进行探究, 也有学者对国家之间的合作网络特征与科学合作框架进行研究^[16-20]。已有研究表明, 通过对国际合作网络的研究, 能发现国际合作中的核心国家^[21, 22], 合作国家的发展程度不同, 其论文的影响力也存在较大的差异, 这也非常具有研究意义和价值^[23]。

本文从环境 / 生态学科高被引论文和国际合作的角度出发, 运用文献计量学指标体系和复杂网络分析法, 以 2009—2019 年环境 / 生态学高被引论文为研究对象, 采用 VOSviewer 和 Pajek 软件, 从国家分析、发文趋势、聚集性和等级层次性四个方面做了国际合作数据分析, 以探究高质量论文的分布规律和合作规律, 为我国未来生态环境领域的科研活动以及国家合作方向提供参考依据。

1 数据来源与处理

1.1 数据来源

通过 InCites™ 数据库检索出 2009—2019 年环境 / 生态学科的高被引论文 5 460 篇, 再将文献入藏号 (WOS 号) 导入 Web of Science 核心

合集数据库检索获得环境 / 生态学科高被引论文数据集, 检索时间为 2020 年 4 月 19 日。

1.2 数据处理与分析

在获取文献数据的全记录信息后, 首先运用 Python 分析得出论文各类指标数据, 如第一作者论文数、占比、总被引次数等, 然后进行文献计量分析, 同时采用复杂网络分析方法构建环境 / 生态学科高被引论文合作网络的拓扑结构和等级层次结构, 最后使用 Pajek 和 VOSviewer 进行可视化图片处理。

1.3 指标说明

本文的高被引论文是指在 ESI (基本科学指标数据库) 收录时间范围内, 在环境 / 生态学科领域中, 近十年被引频次位于该学科所有论文前 1% 的论文, 文中采用的数据是 2009 年 1 月 1 日至 2019 年 12 月 31 日环境 / 生态学科领域高被引论文数总和。国际合作论文是指作者的国别数量在两个及以上的论文, 其主要就是对国际科研合作关系以及国际科研成果的一种反映^[24]。- 针对 InCitesTM 数据库中的论文来源, 在数据处理时, 英国数据包括苏格兰、英格兰、威尔士、北爱尔兰; 中国数据包括中国大陆、台湾、香港。

2 时空演化分布与影响力分析

2.1 时间演化

2009—2019 年间, 环境 / 生态学科高被引论文总量 5 640 篇, 其国际合作高被引论文 3 135 篇, 占学科高被引发文总量的 55.76% (表 1)。2009—2019 年间高被引论文数量与国际合作高被引论文数量呈现稳步上升趋势, 年均增长率分别为 9.82%、11.39%, 国际合作率波动增长, 反映出环境 / 生态学科高被引论文的国际合作研究呈现积极上升的态势, 跨国科研合作日趋活跃。

国际合作论文合作的广度一般是由其所涵盖的国家数量而体现的, 而深度则是由其所涵盖的作者数量以及机构数体现的^[14]。2009—2019 年间, 参与环境 / 生态学科国际合作论文研究的国家不断增多, 由 2009 年 71 个增加到 2019 年 106 个, 年均增长率 4.39% (表 1), 表明各国间知识流动日益频繁。论文作者合作度和机构合作度在 11 年间也均有较明显增长, 其中 2018 年较 2009 年分别提高了 58% 和 25%。可见, 环境 / 生态学科高被引论文国际合作其广度和深度都在持续的延伸。

表 1 2009—2019 年环境 / 生态学科国际合作研究情况

统计项	年 份										
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
论文总量 (篇)	327	336	371	402	443	473	520	582	606	746	834
合作论文量 (篇)	151	177	193	223	254	268	296	337	358	444	444
合作率 (%)	46.18	52.68	52.02	44.42	57.34	56.66	56.92	57.90	59.08	59.51	52.23
合作国家数 (个)	71	68	82	92	87	88	105	91	103	102	106
作者合作度 (个)	5.08	6.02	6.72	7.12	7.92	7.09	8.04	8.35	7.91	8.03	6.90
机构合作度 (个)	2.18	2.54	2.57	2.68	2.95	2.56	2.86	2.95	2.74	2.73	2.43

2.2 空间分布

5 640 篇环境 / 生态学科高被引论文的作者来自全球 154 个国家 / 地区, 其中高被引论文数量排名前 10 的国家如表 2。结果显示, 中国以第一作者发表环境 / 生态学科高被引论文数量为 1 111 篇, 占该领域高被引论文总数的 19.6%, 但与美国相比, 中国含国际合作的环境 / 生态学科高被

引论文数仅为美国一半。从排名前 10 的国家的空间分布来看, 来自欧洲的最多, 达到 5 个, 分别是排名第 5 至第 9 的英国、德国、法国、奥地利与比利时; 来自美洲 (北美洲和南美洲) 的国家 3 个, 分别是排名第 2 的美国、排名第 4 的加拿大和排名第 10 的巴西; 亚洲仅有中国 1 个国家; 来自大洋洲的是排名第 3 的澳大利亚 (表 2)。

表 2 环境 / 生态学科高被引论文数量排名前 10 国家

序号	国家	高被引论文数 (第一作者)	高被引论文数 (含国际合作)	占比 / % (5 640 篇)	总被引次数	篇均被引次数
1	中国	1 111	1 334	19.6	113 802	102.43
2	美国	840	2 619	14.8	217 708	259.18
3	澳大利亚	833	885	14.7	178 229	213.96
4	加拿大	417	694	7.3	89 227	213.97
5	英国	388	1 045	6.8	99 202	255.68
6	德国	200	803	3.5	42 659	213.30
7	法国	157	660	2.7	36 199	230.57
8	奥地利	152	215	2.6	23 975	157.73
9	比利时	139	220	2.4	24 492	176.20
10	巴西	106	231	1.8	20 800	196.22

2.3 主要国家影响力

从高被引论文数排名前 10 的国家高被引论文动态变化 (图 1) 来看, 中国论文量增长最快, 从 2009 年度占年度全球环境 / 生态学科高被引论文总量的 7% 上升到 2019 年的 40%。美国发文量逐年下降, 从 2009 年占全球的 27.8% 下降到 2017 年的 10.6%, 再到 2019 年的 5.8%。澳大利亚的高被引论文量逐年增长, 2018 年度达到峰值 111 篇, 比 2009 年上涨 185%。排名前 10 的其他各国的高被引论文总量相对保持稳定, 幅度波动不大。

为了更为直观地显示这 10 个国家在环境 / 生态学科的影响力水平, 引用象限分析图进行

进一步的分析 (图 2)。图 2 中, 横坐标轴为各国高被引论文总数量, 纵坐标轴为各国篇均被引次数, 圆点大小代表高被引论文中被引频次大于 200 次的论文数量, 轴心 (纵横坐标交叉处) 为 10 个国家高被引论文发文量和篇均被引次数的均值坐标, 以此做出四象限图形。由图可见, 美国和澳大利亚位于第一象限, 表明这两个国家具有较高的环境 / 生态学科高被引论文发文量、论文影响力。其中美国位于第一象限中间位置, 发文量和篇均被引次数优势明显, 是环境 / 生态学科学研究的强国; 澳大利亚落于第一象限横轴上, 表明其高被引论文的篇均被引次数接近 10 国的平均值, 处于中等

水平。位于第二象限的国家有英国、加拿大、法国和德国，显示出这4个国家虽然在高被引论文发文数量上相对较少，但其论文的篇均被引次数较高，说明其论文影响力高。位于第三象限的有巴西、比利时和奥地利三个国家，在

环境 / 生态学科研究力量和影响力偏低。中国位于第四象限的右下方，虽然高被引论文发文总量具有最大优势，但是篇均被引次数是10国中最低，表明中国环境 / 生态学科高被引论文的整体影响力偏低。

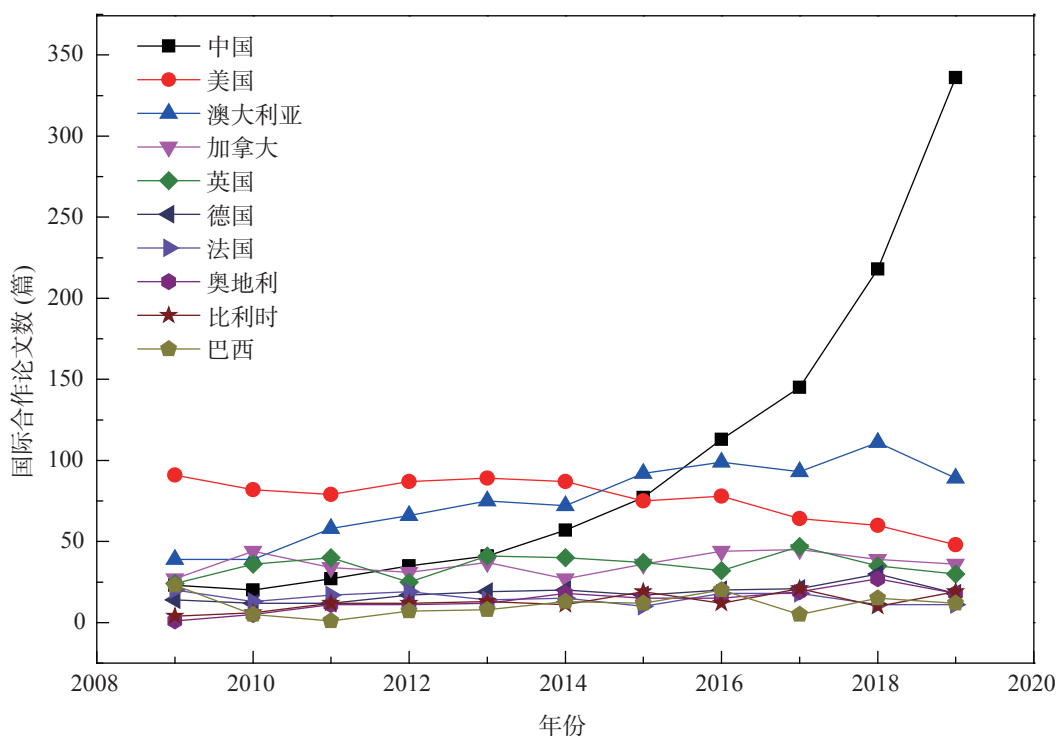


图1 环境 / 生态学科高被引论文数量排名前10国家论文年度分布

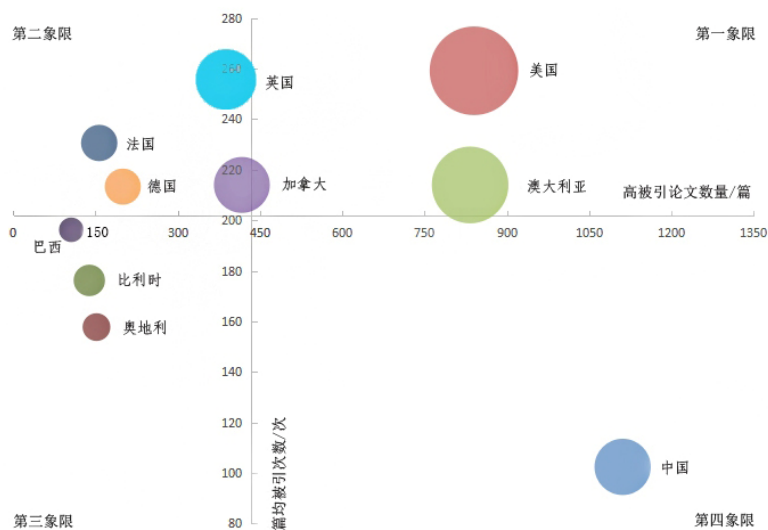


图2 环境 / 生态学科高被引论文数量排名前10国家对比

3 国际合作网络结构分析

环境 / 生态学科高被引论文国际合作网络连通图的构建是借鉴图论 (Graph Theory), 连通图 $G=(V,E)$, $N=|V|$ 为网络节点数量 (地区 / 国家), $M=|E|$ 为网络边数 (各国间的论文合作关系) [25, 26]。整合相同的国家不同的称谓, 一个国家保留一个名称, 删除与其他国家没有产生合作联系的节点, 节点的权重为每一个国家高被引论文总数, 边的权重是国家与国家间相互合作发表高被引论文数量, 构建了加权无向的环境 / 生态学科论文国际合作网络。

3.1 网络中心性模型

1) 度中心性 (degree centrality, C_D) 是对节点中心性在网络中心模型分析中描述的最具代表性的一个衡量指标, 代表的与这个节点进行连接的其他节点的数量。在环境 / 生态学科高被引论文国际合作网络中, 该国合作国家数量由节点度来表示:

$$C_D(i) = \sum_{j=1}^N a_{ij} \quad (1)$$

式中: a_{ij} 代表关于国家论文合作的邻接矩阵, 有论文进行合作的那么其赋值是 1, 没有的其赋值是 0。

2) 接近度中心性 (closeness centrality, C_C) 是对各个节点到节点的终点之间最短路径平均长度的考量, 指最短的路径总和的倒数和其他节点数量的乘积。在环境 / 生态学科高被引论文国际合作网络中, 节点接近度代表该国与其他国家间的该学科论文合作的欧式距离:

$$C_C(i) = \frac{N-1}{\sum_{j=1, j \neq i}^N d_{ij}} \quad (2)$$

式中: d_{ij} 表示节点 i 和 j 之间的最短路径数; N 表示节点的个数。

3) 介数中心性 (betweenness centrality, C_B) 是指个节点担任其它两个节点之间最短路径的桥梁的次数除以所有的最短路径数量的比例。在环境 / 生态学科高被引论文国际合作网络中, 节点介数代表该国承担 “中转站” 的能力:

$$C_B(i) = \sum_{j=1, k=1, j \neq k \neq i}^N \frac{N_{jk}(i)}{N_{jk}} \quad (3)$$

式中: N_{jk} 表示节点 V_j 和 V_k 之间的最短路径的条数; $N_{jk}(i)$ 表示节点 V_j 和 V_k 之间的最短路径经过的节点 V_i 的条数。

4) 强度中心性 (strength centrality, C_S) 指节点 V_i 的 S_i 点权表示为与其关联的边权重总和。在环境 / 生态学科高被引论文国际合作的网络中, 在论文的国际合作中节点强度代表的是论文在两两合作间的总量:

$$C_S(i) = \sum_{j \in N_i} W_{ij} \quad (4)$$

式中: 表示节点 N_i 的相邻节点 V_i 集合; W_{ij} 表示连接节点 V_i 和节点 V_j 的合著发表论文数量。

3.2 集聚性

将 154 个国家通过不同颜色分区和各国间高被引论文合作网络文件 (.net) 数据导入 VOSviewer 中生成环境 / 生态学科高被引论文合作网络图 (图 3), 图 3 中国家论文数量与节点大小成比例, 国家之间的论文合作规模与节点连线大小成正比。从节点分布来看, 欧洲国家是全球环境 / 生态学科高被引论文合作网络的主体; 北美洲、亚洲和大洋洲共同表现为以某一国家为主进行论文合作, 分别为美国、中国和澳大利亚。其中美国处在全球环境 / 生态

学科高被引论文合作网络的中心,与图中 47% 的节点产生论文合作联系,是全球环境 / 生态学科科研合作的中枢;澳大利亚紧随其后,与图中 41% 的节点产生论文合作联系,也处于举足轻重的位置;中国合作论文量也较多,与图中 36% 的节点产生论文合作联系,在全球环境 / 生态学科科研合作活动中也不可或缺。相比之下,非洲和南美洲则处于合作网络图的边缘,分别形成了以南非和巴西为区域核心的独立社区群体。

全球环境 / 生态学科高被引论文合作网络

密度为 0.43,节点平均度值为 65.65,表明整个合作网络图中各国间的合作密切,知识流动溢出频繁,凝聚力相对较高。另一方面,整个网络的中心性不均衡分布。美国节点面积最大且与其他国家连线密集,表明美国高被引论文数量较多,具备较高的网络中介中心性,在形成全球环境 / 生态学科高被引论文合作的网络上贡献值较大。中国节点面积虽然较大、论文数较多,但未显示出较强的网络中介中心性。其他绝大部分国家节点小,各国之间连线也较稀疏。

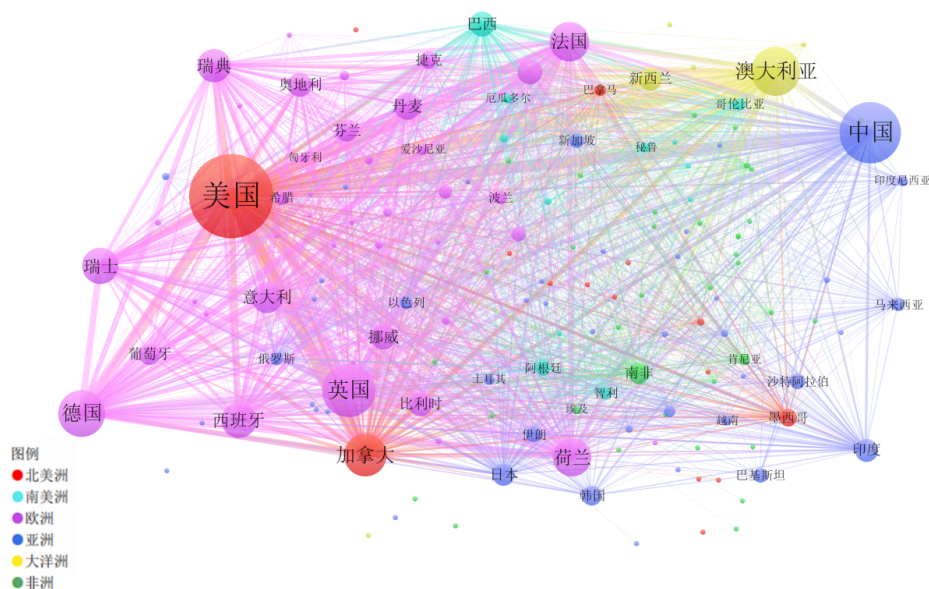


图 3 环境 / 生态学科高被引论文合作网络

3.3 等级层次性

中心势是衡量整个网络中心化程度的重要指标,全球环境 / 生态学科高被引论文合作网络的度中心势和接近度中心势分别为 0.52 和 0.59,表明整个合作网络结构具备较明显的往某个或某些节点的集中态势,呈“中心—边缘”结构。

采用基于 Pajek 块模型分析的层次聚类算法,根据度中心性值获取层级文件,并将其转换为分区文件,将全球环境 / 生态学科高被引论文合作网络划分为 5 个层级(表 3)。经过格式转换,通过 Pajek 做成分区文件,然后将数据以 2D 的格式输出到 VOSviewer 当中,颜色的冷暖色调随层级的高低进行设置,从而获得

全球环境 / 生态学科高被引论文合作网络的等级层次结构图 (图 4), 节点强度与该节点的大小成正比, 边的大小与高被引合作论文的数量呈正相关。第一层级: 美国, 处于学科高被引论文合作网络的中心, 其论文合作的搭档是最多的, 发表的国际合作论文的数量也排名第一, 四大中心性指标皆在首位, 引领全球环境 / 生态学科学研究, 处于全球环境 / 生态学科学研究网络金字塔的顶端。第二层级由 11 个国家或地区构成: 包括英国、法国、意大利、德国、荷兰、瑞士、西班牙、瑞典等西欧 8 国, 北美洲的加拿大及亚太地区的中国和澳大利亚。第二梯队各国家间的各项指标大致相当, 同时具备相似的网络性质, 学科高被引论文国际合作联系密切, 形成了一个高度连通的网络结构。

第三层级包括 32 个国家或地区, 包括巴西、日本、印度、韩国、新加坡、比利时、俄罗斯、南非、新西兰、以色列等。他们都是所在区域的环境 / 生态学科高被引论文产出的主要国家, 各项指标均高于网络平均值, 高被引论文相互之间有着密切的合作联系。第四层级由越南、埃及、菲律宾、秘鲁、阿拉伯联合酋长国、泰国、印尼等 54 个国家组成。相比之下, 这 54 个国家之间高被引论文合作的程度较低, 但密度、接近度中心性和平均度中心性均大于合作网络的平均值。第五层级是剩下的 56 个国家或地区, 大部分来自于非洲和亚洲。这些国家或地区处于全球环境 / 生态学科高被引论文合作网络金字塔的底层, 人口密度低、土地面积小, 或经济发展水平较低, 学术及科学研究发展较缓慢。

表 3 环境 / 生态学科高被引论文合作网络的等级层次结构特征

等级	节点数量	平均度中心性	平均介数中心性	平均接近度中心性	平均强度中心性	密度
第一层级	1	144	0.048	0.944	7009	1
第二层级	11	130.455	0.020	0.872	3498	1
第三层级	32	102.188	0.007	0.755	1031.5	0.976
第四层级	54	70.944	0.002	0.655	239.667	0.491
第五层级	56	25.536	0.000	0.541	33.411	0.162
整体网络	154	65.649	0.004	0.652	605.896	0.429

全球环境 / 生态学科高被引论文合作网络已经发育成为经典的“核心—边缘”等级渐进式的形态^[21] (图 4), 根据形态可分为三大国家集团: 核心区、半边缘区和边缘区。核心国家集团由第一和第二层级组成, 共 12 个国家, 是全球环境 / 生态学科高被引论文合作网络的 hub 节点和枢纽, 以洲际之间学科高被引论文合作为主。这些国家地区内部之间的连接数量多、密度大 (网络密度为 1)、强度高 (最大联系值

为 321), 形成一个完全连通的网络。半边缘区国家集团是由第三和第四层级共同构成, 其国家 / 地区已经达到了 86 个, 是区域环境 / 生态学科高被引论文合作网络的重要门户, 其主导就是洲内尺度的学科高被引论文合作。半边缘区各国之间有着紧密的内部联系 (网络密度分别为 0.976 和 0.491) 和适度的联系强度 (最大联系值 54); 与核心区各国家间的合作联系强度大, 且数量多, 相比而言与边缘区各国家间的联系

纽带少,且合作联系强度低。边缘区国家集团由第五层级(剩下的56个国家/地区)构成,处于全球环境/生态学科高被引论文合作网络

的边缘,发挥辅助作用,联系很少(网络密度只有0.162)且强度非常低(最大联系值只有16)(表3)。

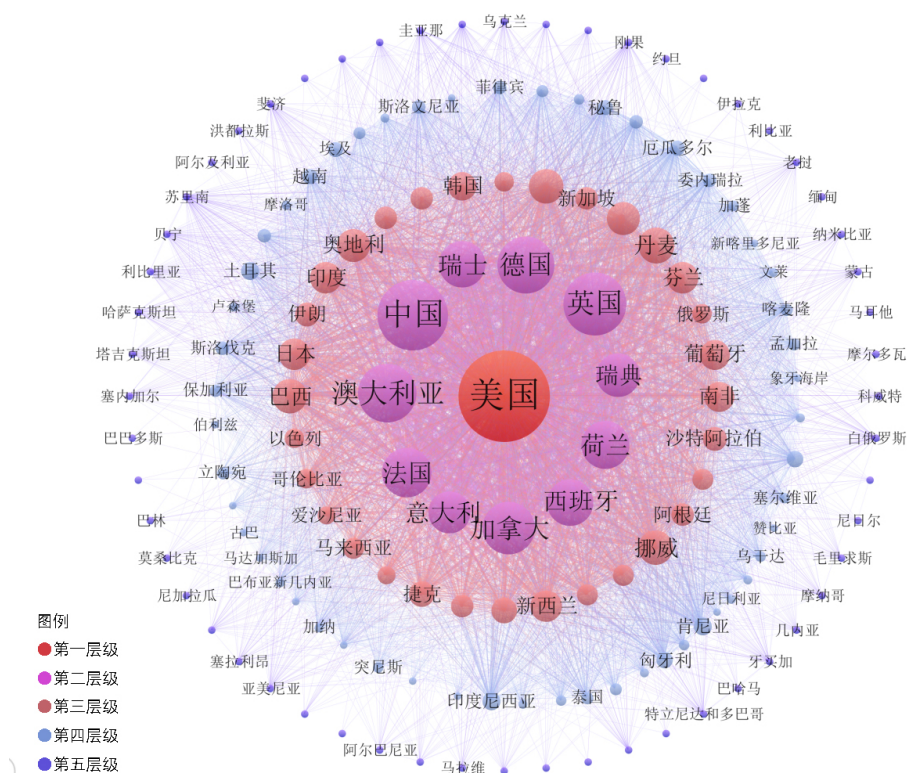


图4 环境/生态学科高被引论文合作网络的等级层次结构图

4 结论与讨论

本文以2009-2019年WOS核心数据库的共计5640篇环境/生态学科高被引论文为数据源,采用文献计量描述了近10年全球环境/生态学科高被引论文的时空分布,并采用复杂网络刻画了国际合作网络结构,探讨了网络结构与高被引论文产出之间的关系。

(1) 全球环境/生态学科高被引论文国际合作研究呈现积极的上升态势。2009-2019年环境/生态学科高被引论文的国家合作数稳步增长,反映出各国间的知识流动日益频繁。中国在环

境/生态学领域近10年的高被引论文已位居全球第一,但从总被引次数和篇均被引次数来看,中国的与其它发达国家还存在差距,中国环境/生态学科国际合作深度有待提高。

(2) 全球环境/生态学科高被引论文国际合作网络密度较大,平均度值较高,具较高的凝聚力。国际合作国家之间的合作分布结构异质性明显,美国已成为该学科高被引论文拓扑网络的核心,欧洲国家构成该拓扑网络的主体,而亚太国家正在发展成为该拓扑网络新的增长点。这种不平衡表现出一定程度的层次性,可分为五个层级,第一层和第二层构成了拓扑网

络的核心,而其余的层级组成边缘地带,形成明显的“核心—边缘”网络结构。

今后我国应在环境/生态领域保证论文数量不断增加的同时,加强论文研究的原始创新。同时,建议中国学者应进一步加强高被引论文的国际合作,提高我国研究成果的国际影响力。本文分析是以环境/生态学高被引论文为数据来源,未收集整个学科的所有文献数据,且文中构建的环境/生态学科高被引论文国际合作网络,仅探讨了拓扑结构异质性,未来还需进行整体性的研究,并从空间格局和影响机制做进一步的分析。

参考文献

- [1] Hsu Y H E, Ho Y S. Highly Cited Articles in Health Care Sciences and Services Field in Science Citation Index Expanded A Bibliometric Analysis for 1958-2012 [J]. *Methods of Information in Medicine*, 2014, 53(6): 446-458.
- [2] Zhang N, Wan S S, Wang P L, et al. A bibliometric analysis of highly cited papers in the field of Economics and Business based on the Essential Science Indicators database [J]. *Scientometrics*, 2018, 116(2): 1039-1053.
- [3] Zhang J J, Guan J C. Scientific relatedness and intellectual base: a citation analysis of un-cited and highly-cited papers in the solar energy field[J]. *Scientometrics*, 2017, 110(1):141-162.
- [4] 刘彬,陈柳. 食品科学高被引论文计量分析 [J]. *中国食品学报*, 2020, 20(5):308-318.
- [5] 李若筠,吴登生,徐伟宣,等. 中国管理科学学科发展态势计量分析 [J]. *中国管理科学*, 2020, 28(3):223-230.
- [6] 何汶,刘颖,杨红梅. 图书情报学高被引论文国际合作著及贡献研究——基于文献计量学角度 [J]. *图书情报知识*, 2017(2):83-93.
- [7] 时保国,田一聪,赵江美,等. 生态城市的研究进展与热点——基于文献计量和知识图谱分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(3):76-84.
- [8] 罗文剑,朱俊庆. 国外大气污染治理研究:时空特征与热点前沿——基于 web of Science 期刊文献的可视化分析 [J]. *干旱区资源与环境*, 2020, 34(7):115-121.
- [9] 胡小飞,傅春,陈伏生,等. 国内外生态补偿基础理论与研究热点的可视化分析 [J]. *长江流域资源与环境*, 2012, 21(11):1395-1401.
- [10] 涂静,李永周,张文萍. 国际合作网络结构与高被引论文产出的关系研究 [J]. *图书馆杂志*, 2019(7): 69-75.
- [11] 郑江平,傅天珍,叶兴乾,等. 食品科学领域国际合作论文的文献计量分析 [J]. *中国食品学报*, 2019, 19(7):311-318.
- [12] 陈海珠,李树青,汪圣忠,等. 近代中国农业领域科研合作网络分析 [J]. *大学图书馆学报*, 2019, 37(4):79-87.
- [13] 葛敏. 区域间科研合作网络特征及演化研究——以 ESI 高被引区域合作论文为例 [J]. *情报工程*, 2020, 6(4):51-62.
- [14] 王淑强,青秀玲,王晶,等. 基于文献计量方法的国际地理科学研究机构竞争力分析 [J]. *地理学报*, 2017, 72(9):1702-1716.
- [15] 林原,谢张,李鲁莹,等. 卓越大学联盟国内外高校科研合作机会发现 [J]. *情报杂志*, 2020, 39(3):81-86+114.
- [16] Finardi U, Buratti A. Scientific collaboration framework of BRICS countries: an analysis of international coauthorship[J]. *Scientometrics*, 2016, 109(1):433-446.
- [17] 牛奉高,邱均平. 基于国家、学科合作网络和期刊分布的中国科研国际合作研究 [J]. *情报科学*, 2015, 33(5):111-118.
- [18] Barth M, Hausteins S, Scheidt B. The life sciences in German-Chinese cooperation: an institutional-level co-publication analysis[J]. *Scientometrics*, 2014, 98(1):99-117.
- [19] Low W Y, Ng K H. Trend and impact of international collaboration in clinical medicine papers published in Malaysia [J]. *Scientometrics*, 2014, 98(2):1521-1533.
- [20] 刘玉林,营利荣. 基于文本挖掘和复杂网络的中美电

- 商专利比较研究 [J]. 情报杂志, 2019, 38(6):72-79.
- [21] Leydesdorff L, Wagner C S, Han W P, et al. International Collaboration in Science: The Global Map and the Network [J]. Computer Science, 2013, 22(1):1-15.
- [22] Schubert T, Sooryamoorthy R. Can the centre-periphery model explain patterns of international scientific collaboration among threshold and industrialised countries? The case of South Africa and Germany[J]. Scientometrics, 2010, 83(1):181-203.
- [23] Onyancha O B, Maluleka J R. Knowledge production through collaborative research in sub-Saharan Africa: how much do countries contribute to each other's knowledge output and citation impact? [J]. Scientometrics, 2011, 87(2):315-336.
- [24] 浦墨, 袁军鹏, 岳晓旭, 等. 国际合作科学计量研究的国际现状综述 [J]. 科学学与科学技术管理, 2015, 36(6): 56-68.
- [25] 李丹丹, 汪涛, 周辉. 基于不同时空尺度的知识溢出网络结构特征研究 [J]. 地理科学, 2013, 33(10):1180-1187.
- [26] 刘承良, 桂钦昌, 段德忠, 等. 全球科研论文合作网络的结构异质性及其邻近性机理 [J]. 地理学报, 2017, 72(4):737-752.