

基于文献计量的土壤有机碳与土壤微生物多样性研究前沿态势分析

李 雅¹, 刘 梅^{1,2}, 曾全超³, 顾丹丹^{1,2}, 刘少敏^{1,2}, 安韶山^{3*}

(1.西北农林科技大学 图书馆, 陕西 杨陵 712100; 2.中国科学院 水土保持研究所图书馆, 陕西 杨陵 712100; 3.西北农林科技大学 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨陵 712100)

摘 要:为了系统了解国际上土壤有机碳与微生物多样性的研究进展, 基于 Web of Science 数据源, 利用 Web of Science 数据库分析工具和 Thomson Data Analysis(TDA)、社会网络分析与可视化工具 Netdraw 和 Ucinet, 从论文年度变化趋势、全球研究实力国家、机构分布和力量比较、基金资助机构和主题分布、机构合作和研究内容等方面, 对 1992 ~ 2015 年的相关论文, 尤其是近 10 年来土壤有机碳及其影响因素的相关文章进行计量分析。结果表明:(1)论文数量呈逐年增长态势, 土壤有机碳与土壤微生物多样性研究主要集中在欧美发达国家(地区); 美国 and 德国综合影响力最高, 英国、瑞典、瑞士、荷兰论文篇均被引较高, 以中国科学院为代表的中国机构在该领域研究增长较快, 研究论文最多, 但论文整体质量有待提高。(2)中国国家自然科学基金资助机构产出论文最多; 美国国家科学基金会资助论文篇均被引最高, 其次是德国研究基金会, 中国科学院科学基金名列第 3, 各国在共同资助的研究主题基础上, 各有其特色主题; 美国的一些研究机构是全球该领域研究合作交流的中心, 其次是德国和中国中科院。(3)土壤有机质、土壤有机碳、凋落物分解、氮、磷、微生物生物量、土壤性质、气候变化、碳固定是该领域 10 年来的热点研究主题。未来应加强国际合作研究, 关注土壤重金属、凋落物分解和微生物呼吸等相关主题, 以提高我国研究水平, 将相关研究成果及时应用于解决相应的实际问题。

关 键 词:土壤有机碳; 微生物多样性; 凋落物分解; 土壤有机质; 文献计量

中图分类号:S154.3 **文献标识码:**A **文章编号:**0564-3945(2017)03-0745-12

DOI: 10.19336/j.cnki.trtb.2017.03.33

李 雅, 刘 梅, 曾全超, 顾丹丹, 刘少敏, 安韶山. 基于文献计量的土壤有机碳与土壤微生物多样性研究前沿态势分析[J]. 土壤通报, 2017, 48(3): 745-756

LI Ya, LIU Mei, ZENG Quan-chao, GU Dan-dan, LIU Shao-min, AN Shao-shan. Frontier Situation Analysis of the Research on Soil Carbon Sequestration and Soil Microbial Diversity Based on Bibliometric [J]. Chinese Journal of Soil Science, 2017, 48(3): 745-756

土壤是陆地生态系统中最大的有机碳库, 它不仅为植被生长提供碳源、维持土壤良好的物理结构, 同时也以 CO₂ 等温室气体的形式向大气释放碳。由于土壤碳的库容巨大, 其较小的变幅即可导致大气 CO₂ 浓度产生较大的波动, 因而在全球碳循环过程中起着极其重要的作用^[1]。土壤有机碳的动态平衡不仅直接影响土壤肥力和作物产量, 是土壤质量评价和土地可持续利用管理中必须考虑的重要指标, 而且碳固存与排放对大气中温室气体的含量、全球气候变化也有重要的影响^[2]。因此, 土壤成为当前有关陆地生态系统碳循环与全球变化的地球表层过程研究的重要优先领域^[3], 土壤有机碳的研究已成为全球变化研究的 3 大热点之一^[4]。

土壤有机碳是一个复杂的有机复合体, 主要包括

动植物、微生物残体以及其排泄物、分泌物、部分分解产物和土壤腐殖质, 它的动态变化主要取决于碳源物质的输入量和输出量的相对大小, 尤其与碳源物质在土壤中的分解、转化有密切关系^[5]。土壤微生物不仅是土壤有机质形成的母体材料^[6], 而且参与土壤中发生的重要过程, 在土壤养分的矿化和循环过程中发挥着重要作用^[6], 而土壤有机碳的储量是进入土壤的植物残体量以及在土壤微生物作用下分解损失的平衡结果^[7], 所以土壤有机碳的研究离不开土壤微生物及其相关指标的研究。土壤酶主要来源于土壤微生物的活动、植物根系分泌物和动植物残体腐解过程中的释放, 对于土壤生态系统中有机碳的固定具有重要作用^[7]。土壤微生物生物量碳是土壤有机碳的活性组分, 来源于植物凋落

收稿日期: 2016-10-18; 修订日期: 2017-01-13

基金项目: 中国科学院文献情报中心研究所情报分析可持续服务能力建设(2015)项目和陕西省科学技术情报学会课题(2016)资助

作者简介: 李 雅(1961-), 女, 陕西蓝田人, 研究馆员, 从事科学计量研究。E-mail: liyachenggong@126.com

* 通讯作者: E-mail: shan@ms.iswc.ac.cn

物的分解、根系分泌物、土壤有机质的水解、土壤微生物本身及其代谢产物^[6]。另外土壤有机碳库容的大小受气候、植被、土壤理化特性以及人类活动等诸多物理、生物和人为因素的影响,尤其是这些因子间的相互作用对土壤有机碳的动态变化至关重要^[1]。

目前对于土壤有机碳的储量、土壤有机碳的微生物转化与固存机制尚有很多不明确的地方,对于其研究进展也了解不够。除了进行科学实验,近年来采用文献计量了解和分析科技发展方向的应用也越来越广泛^[3,8]。因此,本文基于 WoS、CABI 和 CNKI 数据库,在传统统计分析基础上,应用汤森路透数据分析器 TDA 等工具,从土壤有机碳及其组分、土壤微生物多样性、土壤有机质组分代谢产物、土壤酶活性以及影响土壤有机碳的环境因子等多个检索主题入手,采用文献计量学的方法描述、评价和预测土壤有机碳与土壤微生物多样性的发展现状和研究前沿态势,以期对土壤有机碳及土壤碳循环未来的研究方向提供科学参考。

表 1 土壤有机碳与微生物多样性检索策略

Table 1 Search strategy of soil organic carbon and microbial diversity

名称 Item	检索式 Search strategy	结果篇数 (篇) Number of papers
(1) 土壤有机碳组分	TS = (soil and (leaf or litter or root or "root productivity" or "root exudates" or "dead roots" or microorganism) and ("organic carbon" or "organic matter" or "soil carbon pool") and ("carbohydrate compound" or cellulose or hemicellulose or lignin or nitrogen compounds or fat or resin or waxiness or tannin or ashly substance or "fresh organic matter" or "semi-decomposed organic matter" or humus or "microbial biomass carbon" or "mineralizable carbon")) 精炼依据: Web of Science 类别: (SOIL SCIENCE OR ECOLOGY OR ENVIRONMENTAL SCIENCES OR PLANT SCIENCES OR AGRONOMY OR FORESTRY OR GEOSCIENCES MULTIDISCIPLINARY OR MICROBIOLOGY OR GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS OR BIODIVERSITY CONSERVATION OR METEOROLOGY ATMOSPHERIC SCIENCES) 索引 = SCI-EXPANDED, SSCI, CPCI-S, CPCI-SSH, CCR-EXPANDED, IC 时间跨度 = 1992 ~ 2015	2229
(2) 土壤微生物多样性	TS = ((decomposition and (leaf or litter or root or root exudates or dead root or microorganism)) and (soil organic carbon or "soil organic matter" or "soil carbon pool") and ("soil microorganism" or bacteria or bacillus or cocci or vibrio or spirillum or actinomycete or fungus or mycorrhiza or "mycorrhizae fungi" or "phospholipid fatty acid")) 精炼依据: Web of Science 类别: (SOIL SCIENCE OR ECOLOGY OR ENVIRONMENTAL SCIENCES OR PLANT SCIENCES OR MICROBIOLOGY OR AGRONOMY OR GEOSCIENCES MULTIDISCIPLINARY OR FORESTRY OR BIODIVERSITY CONSERVATION OR METEOROLOGY ATMOSPHERIC SCIENCES OR GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS) 索引 = SCI-EXPANDED, SSCI, CPCI-S, CPCI-SSH, CCR-EXPANDED, IC 时间跨度 = 1992 ~ 2015	598
(3) 土壤有机质组分代谢产物	TS = (soil and (decomposition and (leaf or litter or root or "root productivity" or "root exudates" or "dead root" or microorganism)) and ("soil organic carbon" or "soil organic matter" or "soil carbon pool" or "soil humic acid" or protein or carbohydrate or monose or disaccharide or oligosaccharide or sucrose or polysaccharide or aminosugar or "sugar alcohol" or "sugar acid" or "nitrogen matter" or "amino acid" or aminosugar or "soil nucleic acid" or chlorophyll or phospholipids or amine or vitamin or "soil humic acid" or "soil fulvic acid" or humin)) 精炼依据: Web of Science 类别: (SOIL SCIENCE OR ECOLOGY OR ENVIRONMENTAL SCIENCES OR PLANT SCIENCES OR AGRONOMY OR GEOSCIENCES MULTIDISCIPLINARY OR FORESTRY OR BIODIVERSITY CONSERVATION OR METEOROLOGY ATMOSPHERIC SCIENCES OR MICROBIOLOGY OR GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS) 索引 = SCI-EXPANDED, SSCI, CPCI-S, CPCI-SSH, CCR-EXPANDED, IC 时间跨度 = 1992 ~ 2015	2414
(4) 土壤酶活性	TS = (soil and (leaf or litter or root or "root exudates" or dead root or microorganism) and ("organic carbon" or "organic matter" or "soil carbon pool") and ("urease activity" or "phosphatase enzymes" or "dehydrogenase activity" or "phosphodiesterase activity" or "invertase activity" or "invertase activities" or "cellulase activity" or "polyphenol oxidase activity" or "hydrolase activity" or "reductase activity")) 精炼依据: Web of Science 类别: (SOIL SCIENCE OR ENVIRONMENTAL SCIENCES OR ECOLOGY OR AGRONOMY OR PLANT SCIENCES OR AGRICULTURE MULTIDISCIPLINARY OR BIOTECHNOLOGY APPLIED MICROBIOLOGY OR MICROBIOLOGY OR FORESTRY OR GEOSCIENCES MULTIDISCIPLINARY) 索引 = SCI-EXPANDED, SSCI, CPCI-S, CPCI-SSH, CCR-EXPANDED, IC 时间跨度 = 1992 ~ 2015	234
(5) 土壤有机碳影响因子	TS = (soil and ("soil organic carbon" and ("climatic factors" or "vegetation types" or "atmospheric factor" or "soil properties" or "soil physical and chemical characteristics" or "clay minerals" or "Soil texture" or "vegetation time"))) 精炼依据: Web of Science 类别: (SOIL SCIENCE OR ENVIRONMENTAL SCIENCES OR ECOLOGY OR AGRONOMY OR GEOSCIENCES MULTIDISCIPLINARY OR PLANT SCIENCES OR FORESTRY OR METEOROLOGY ATMOSPHERIC SCIENCES OR ENGINEERING ENVIRONMENTAL OR BIODIVERSITY CONSERVATION OR GEOCHEMISTRY GEOPHYSICS) 索引 = SCI-EXPANDED, SSCI, CPCI-S, CPCI-SSH, CCR-EXPANDED, IC 时间跨度 = 1992 ~ 2015	1326

1 数据与方法

基于 WoS 数据库,从土壤有机碳及其组分、土壤微生物多样性、土壤有机质组分代谢产物、土壤酶活性以及影响土壤有机碳的环境因子等 5 个方面为检索关键词构建检索式,然后将这 5 个检索式进行协同检索,为了精准构筑知识基础,提高文献检索的信度和效度,本文将其中等组合词均以整体形式出现,如 "Root productivity"。经过学科精炼,选取其中土壤科学、生态学、环境科学、植物科学、农学、地球科学、林学、微生物学、地球化学地球物理学、生物多样性保护、气象学等学科,经过试检索、检索,2016 年 4 月固定检索式,如表 1 所示。共检出 1992 ~ 2015 年土壤有机碳组分文献 2229 篇,土壤微生物多样性文献 598 篇,土壤有机碳代谢产物文献 2414 篇,土壤酶活性 234 篇及土壤有机碳影响因子 1326 篇,共计 6801 篇。文献随时间的变化如图 1 所示,由于检索几方面文献的年代分布呈稳步持续增长态势,且近 10 年文献量 3826 篇,占 24 年来文献量的 56.3%,因此,重点分析近 10 年文献。

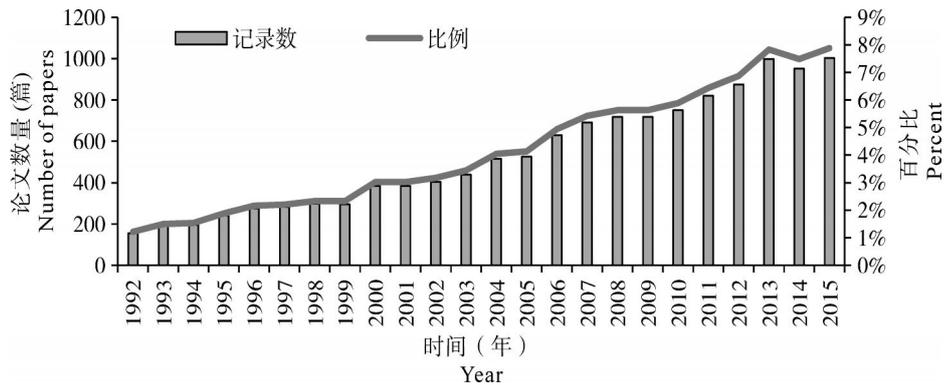


图1 1992~2015年土壤有机碳及微生物多样性SCI论文年代分布

Fig. 1 Annual distributions of SCI papers on soil organic carbon and microbial diversity between 1992 ~ 2015

利用 WoS 数据库自带的分析功能、Excel 统计绘图功能、分析软件 Thomson Data Analysis(TDA)数据清理功能及社会网络分析软件 Ucinet 和 Netdraw 绘图等对土壤有机碳及其影响因素研究论文年度变化趋势、主要发文国家、机构、期刊分布、主要国家基金支持机构及其主要支持研究主题、国家合作、研究热点主题的变化和高影响力论文分布进行数据挖掘、清理和可视化分析。

2 结果与分析

2.1 研究总体发展趋势

论文的年代分布在一定程度上反映了该领域研究状况、水平和发展速度,以及某时间段内该领域的研究热点^[9]。从图2论文分布状态看,国际土壤有机碳及微生物多样性研究总体上呈稳定增长态势,特别是近10年增长较快,土壤有机碳组分与土壤有机碳代谢产物研究较多,土壤有机碳影响因子研究2000年以后呈明

显增长态势,特别是2010年以后呈现加速增长趋势,到2015年发文量与前两者基本持平,土壤微生物多样性和土壤酶活性研究也呈缓慢增长状态。

2.2 全球实力分布与比较

2.2.1 国家分布(总被引、篇均被引和论文数量) 2006~2015年SCI论文国家分布统计结果表明(表2),土壤有机碳和土壤微生物多样性研究主要集中在欧美发达国家,Top 15位国家论文占同期总论文数量的50%以上,其中2/3以上来自欧美国家,论文数量占Top 15国家论文数量的71.46%。Top 15国家论文中美国实力最强,达1861篇;其次是中国近10年论文数量呈逐年大幅度提升趋势,并连续3年发文量居世界之首,达到1253篇,占Top 15论文总数的17.4%,显示中国成为该领域展开研究的主要国家。另外欧洲的德国、法国、巴西、西班牙、加拿大、英国、意大利及澳大利亚也是该领域的主要研究力量,分别排在第3~9和第11位。印度和日本作为亚洲的国家排在第10和第12位。

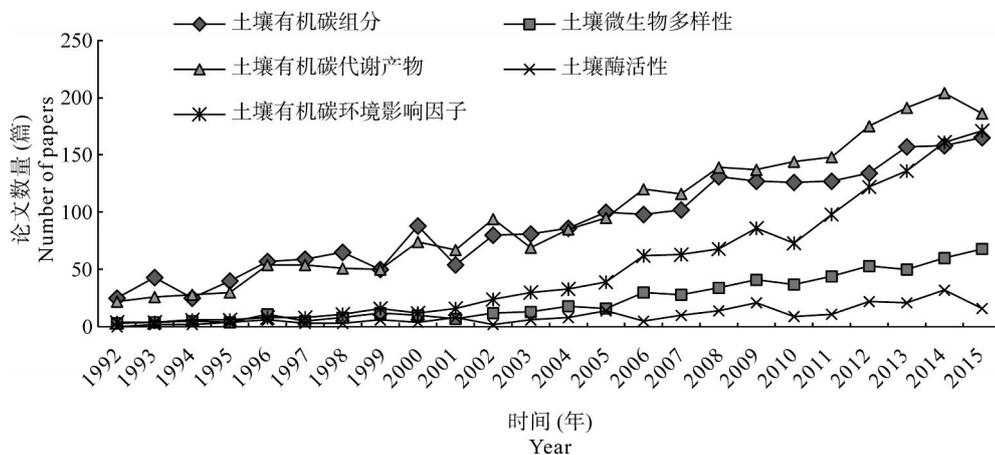


图2 1992~2015年土壤有机碳与微生物多样性多视角研究论文年代分布

Fig. 2 Annual distribution of research papers on soil organic carbon and microbial diversity from different perspectives between 1992 ~ 2015

表 2 2006 ~ 2015 年主要国家土壤有机碳与微生物多样性研究论文分布 (篇)

Table 2 Annual distribution of research papers on soil organic carbon and microbial diversity from major countries between 2006 ~ 2015

年份 Year	主要国家 Major country																合计 Total
	美国 USA	中国 China	德国 Germany	法国 France	巴西 Brazil	西班牙 Spain	加拿大 Canada	英国 Britain	意大利 Italy	印度 India	澳大利亚 Australia	日本 Japan	瑞典 Sweden	荷兰 Netherlands	瑞士 Switzerland		
2006	206	52	69	34	24	25	38	25	17	8	18	18	11	19	9	573	
2007	179	60	54	37	28	39	40	33	21	26	22	17	20	18	9	603	
2008	187	44	71	39	44	39	41	37	22	22	26	22	21	13	7	635	
2009	195	99	72	33	39	30	40	40	21	31	17	19	10	11	14	671	
2010	149	116	68	48	34	28	43	31	41	21	20	30	16	13	18	676	
2011	194	128	76	43	44	39	32	39	33	24	34	28	18	13	10	755	
2012	208	161	59	45	44	49	38	37	29	41	40	25	17	10	23	826	
2013	202	209	89	48	60	49	29	34	47	54	40	23	23	19	18	944	
2014	215	226	79	47	39	44	38	24	38	42	39	21	15	20	15	902	
2015	126	158	68	22	27	24	22	18	29	19	30	20	17	7	10	597	
总计	1861	1253	705	396	383	366	361	318	298	288	286	223	168	143	133	7182	

从机构层面看,发文 Top 20 的第一作者机构(表 3)中有 7 个来源于美国,4 个来源于德国,3 个来自中国,其余分别来自法国、俄罗斯、瑞士、西班牙、丹麦、

和加拿大。Top 20 机构论文中国科学院超过了 500 篇,占全部论文的近 5.5%,其余机构均未超过 100 篇。

表 3 2006 ~ 2015 年开展土壤有机碳与土壤微生物多样性研究的主要机构

Table 3 Major institutions of carrying on researches on soil organic carbon and microbial diversity between 2006 ~ 2015

序号 Number	机构 Research institution	所属国家 Country	论文数量 (篇) Number of papers	占总论文百分比 (%) Percent	年均增长率 (%) Average annual growth rate
1	中国科学院	中国	537	5.49	30.22
2	法国农科院	法国	98	1.00	11.11
3	农业部农科院	美国	91	0.93	-3.90
4	瑞士农业大学	瑞士	86	0.88	18.52
5	俄罗斯科学院	俄罗斯	76	0.78	-1.59
6	西班牙农业化学和食品技术协会	西班牙	73	0.75	2.78
7	俄亥俄州立大学	美国	71	0.73	-7.94
8	拜罗伊特大学	美国	70	0.72	-3.70
9	佛罗里达州立大学	美国	68	0.70	-1.85
10	卡塞尔大学	德国	65	0.66	4.76
11	哥廷根大学	德国	63	0.64	72.22
12	马普学会	德国	56	0.57	11.11
13	浙江大学	中国	53	0.54	7.41
14	慕尼黑理工大学	德国	52	0.53	2.78
15	哥本哈根	丹麦	51	0.52	-1.85
16	加拿大农业与农产品部	加拿大	50	0.51	11.11
17	农科院	美国	49	0.50	1.25
18	康奈尔大学	美国	48	4.90	-7.41
19	加州大学戴维斯分校	美国	47	0.48	-3.70
20	中国农业大学	中国	44	0.45	33.33

从论文增长率看,美国的 7 个机构中有 6 个(俄亥俄州立大学、拜罗伊特大学、康奈尔大学、加州大学戴维斯分校、佛罗里达州立大学、农业部农科院)出现负增长,反映出美国研究机构在该领域研究的总体收缩策略;德国的 4 个机构中哥廷根大学增长率最高达到 72.22%,2 个增长率超过 7%,另一个增长率 2%,反映出德国机构该领域研究定位的差异;中国的 3 个机构中有两个增长率超过 30%,同时浙江大学增长率近 7.5%,反映出中国在该领域研究呈快速增长态势,同时也反映出中国解决该领域问题的紧迫性。

2.2.2 主要国家和机构研究力量比较 论文数量、被引频次和 H 指数是分析评价研究成果质量的重要指标,能从论文数量角度反映国家或机构对某领域的关注度,从质的角度反映论文水平和影响力强弱^[10]。图 3 以研究主体(国家/机构)发文量为横轴,以篇均被引为纵轴,点的大小为 H 指数高低,平均值为圆点,建立研究力量评价坐标系。位于第 1 象限的国家/机构,其论文数量和质量均高于平均值,而第 3 象限则相反。位于第 2 象限的国家/机构虽然其论文数量低于平均值,但其论文篇均被引情况却高于平均值,说明其论文

数量有待于进一步提升,而第 4 象限则与此相反^[11]。

从国家层面看(图 3a),处于第 1 象限有美国和德国,说明其不但论文数量多,而且论文质量和国际影响力也高;第 2 象限有英国、瑞典、瑞士、荷兰意大利和法国,特别是英国、瑞典、瑞士及荷兰,虽然论文数量在平

均值以下,但是其论文质量很高;处于第 3 象限的加拿大、法国、日本、巴西、印度和俄罗斯在土壤碳固定与土壤微生物多样性领域做了一些工作;中国处于第 4 象限,论文数量排在第 2,但篇均被引较低,因此其 H 指数比较高,与发表论文数量大有关。

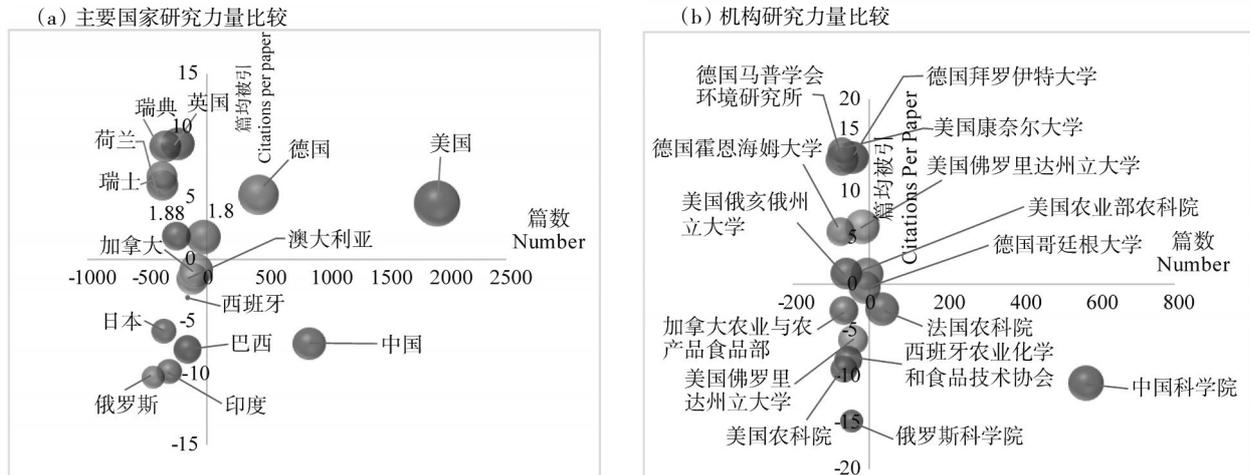


图 3 2006 ~ 2015 年土壤有机碳研究主要国家、机构研究力量比较

Fig. 3 Comparison on scientific research strength of soil organic carbon between major countries and between major research institutions

从机构层面看(图 3b),中科院论文数量遥遥领先,达 537 篇;其他均不足 100 篇;德国马普学会、霍恩海姆大学、拜罗伊特大学和美国康奈尔大学、佛罗里达州立大学和美国农业部农科院等机构处于第 1、2 象限,论文篇均被引都在平均值以上。中国科学院和法国农科院处于第 4 象限,发文量较高,篇均被引在平均值以下,加拿大农业与农产食品部、美国农科院等在第 3 象限,处于该领域边缘地位。

2.3 主要基金资助机构、引证和主题分布

从土壤有机碳及微生物多样性研究资助的主要机构及其研究主题(表 4)看,前 10 个基金资助机构中,中国占有 3 个,分别是中国国家自然科学基金、中国科学院基金和中国国家重点基础基金,这 3 个机构基金支持产出的论文数量分别是 712 篇、177 篇和 118 篇,位于第 1、第 3 和第 4 位;其次是美国科学基金会基金、欧盟委员会基金、德国研究基金会、俄罗斯基础研究基金会、德国研究联合会基金和芬兰科学院,分别资助论文 381 篇、86 篇、72 篇、68 篇、56 篇和 55 篇,分获第 2 位和第 5 ~ 10 位。

论文资助机构及其主题可以看出相关领域研究资助项目种类、层次、主题和影响力^[12]。从资助论文的总被引频次看(表 4),美国国家科学基金会资助的论文最高,达到 7883 频次,其次是中国国家自然科学基金所资助的论文总被引频次达到 5025 频次,中国科学院基金

和中国国家重点基础研究资助的论文分别被引 2121 频次和 971 频次,分获第 3 和第 4,欧盟委员会、德国研究基金会、俄罗斯基础研究基金会、澳大利亚研究委员会、德国研究联合会、芬兰科学院基金资助的论文被引达到 860 ~ 580 频次之间,分获第 5 ~ 10 位。从资助论文的篇均被引频次看,美国国家科学基金会资助的论文最高,达到 20.69 次篇⁻¹;其次是德国研究联合会和中国科学院基金资助的论文达到 17.27 次篇⁻¹, 11.98 次篇⁻¹,分别获得第 2 和第 3 位;再次是澳大利亚研究委员会和芬兰科学院资助的论文达到 10.96 次篇⁻¹和 10.69 次篇⁻¹分获第 4 和第 5 位。欧盟委员会、德国研究基金会资助的论文篇均被引达到 9.92 次篇⁻¹和 9.90 次篇⁻¹,分获第 6 和第 7,而“中国国家重点基础研究基金”和“国家自然科学基金”资助的论文仅达到 8.23 次篇⁻¹和 7.06 次篇⁻¹,分获第 8 和第 9。

从资助论文的研究内容看,中国国家自然科学基金资助的主要研究主题是土壤有机碳、土壤呼吸、土壤性质及凋落物分解、土壤有机质、酶和微生物量等。中国科学院基金主要资助黄土高原、高寒草甸的土壤有机碳、土壤性质、土壤呼吸、土壤碳固定、土地利用凋落物分解、土壤微生物量、有机碳分解和放牧研究,中国国家重点基础研究解决主要资助:放牧、长期施肥条件下土壤有机碳、凋落物分解、氮沉降、土壤呼吸、碳矿化、微生物呼吸、土壤性质等。土壤有机碳、土壤有机

表 4 2006 ~ 2015 年开展土壤有机碳与微生物多样性研究的主要机构及其研究主题

Table 4 Major research institutions and topics on soil organic carbon and microbial diversity during 2006 ~ 2015

序号 Number	基金资助机构 Funding agency	论文 Number of papers (篇)	总被引 Total citation (频次)	篇均被引 Citation per paper (次)	研究主题及频次 Research topic and citation
1	中国国家自然科学基金	712	5025	7.06	土壤有机碳(56)、土壤呼吸(31)、土壤性质(30)、凋落物分解(23)、微生物量(20)、土壤有机质(18)、土壤酶(16)、分解(15)、氮沉降(15)、酶活性(13)、微生物群落(11)
2	美国国家科学基金会	381	7883	20.69	分解(54)、土壤有机质(37)、氮(29)、碳循环(23)、气候变化(22)、胞外酶(19)、土壤呼吸(15)、真菌(14)磷(13)、土壤碳(12)、碳固定(11)、木质素(11)、微生物群落(11)、营养循环(11)、营养限制(11)、生态系统功能(10)
3	中国科学院基金	177	2121	11.98	土壤有机碳(22)、土壤性质(10)、黄土高原(7)、土壤呼吸(7)、高寒草甸(6)、碳固定(6)、土地利用(6)、土壤微生物量(6)、凋落物分解(5)、分解(5)、有机碳分解(4)、放牧(4)、微生物量(4)、微生物群落(4)
4	中国国家重点基础研究	118	971	8.23	土壤有机碳(9)、分解(7)、凋落物分解(7)、氮沉降(7)、土壤呼吸(7)、碳矿化(5)、放牧(4)、长期施肥(4)、微生物呼吸(4)、土壤性质(4)
5	欧盟委员会	86	853	9.92	氮(6)、土壤有机碳(5)、土壤肥力(4)、土壤呼吸(4)、气候变化(3)、干旱(3)、凋落物分解(3)、土壤性质(3)、团粒稳定性(2)、 β -葡萄糖苷酶(2)、北方森林(2)、堆肥(2)、分解(2)、碎石(2)、接插芽(2)、
6	德国研究基金会	72	713	9.90	微生物量(8)、氨基糖(4)、土壤有机质(4)、碳固定(3)、土地利用变化(3)、N-15(3)、PLFA 磷酸脂肪酸(3)、土壤有机碳(3)、Amino sugar 氨基糖(2)、碳循环(2)、C-13(2)、分解(2)、德尔塔(13)、碳(2)、溶解有机质(2)、麦角固醇(2)、凋落物分解(2)、土壤微生物量(2)、化学计量学(2)
7	俄罗斯基础研究基金会	68	281	4.13	微生物量(10)、土壤有机质(6)、Soil(4)、凋落物分解(3)、基础呼吸(2)、碳固定(2)、生态系统(2)、森林土壤(2)、不稳定氮(2)微生物生长动力学(2)、矿化(2)、菌丝联系(2)、根际(2)
8	澳大利亚研究委员会	56	614	10.96	根际(6)、气候变化(5)、CO ₂ 浓度升高(5)、微生物群落(5)、分解(4)、微生物量(4)、磷组分(4)、根系分泌物(4)、气温升高(4)、碳(3)、碳循环(3)、凋落物分解(3)、氮(3)、呼吸(3)、土壤有机碳(3)、土壤基质(2)
9	德国研究联合会	55	950	17.27	土壤有机质(7)、分解(5)、草原(5)、土壤微生物(3)、稳定同位素(3)、氨基酸(2)、碳固定(2)、堆肥(2)、落叶树种(2)、德尔塔 C-13 (2)、质谱法(2)
10	芬兰科学院	55	588	10.69	分解(7)、凋落物质量(5)、气候变化(4)、溶解有机碳(4)、森林土壤(4)、树种(4)、苔原(4)、牧草(3)、凋落物分解(3)、泥炭地(3)、土居动物群落(3)、土壤有机质(3)

注:每个国家抽取论文 20 频次最高的关键词,末位词频相同主题均收录表中,由于研究的主要内容就是土壤、碳,在研究主题频次排序时,去掉了土壤和碳等内容宽泛词。

质、土壤呼吸、凋落物分解是中国资助基金机构共同研究的主题,不同的是国家自然资金偏重基础,而中国科学院基金、中国国家重点基础更注重具体地域性和解决实际问题。

美国国家科学基金主要资助土壤有机质分解、氮、气候变化、胞外酶、木质素、真菌和微生物群落影响下的土壤呼吸、碳固定营养循环和生态系统功能研究。

欧盟委员会主要资助主题为干旱、气候变化、 β -葡萄糖苷酶作用下北方森林、氮、土壤有机碳、土壤呼吸、土壤性质、凋落物分解和团粒稳定性研究。

德国研究基金会主要资助土壤微生物量、土壤有

机质、土壤有机碳循环、碳固定、磷酸脂肪酸、氨基糖、C-13、溶解有机质、凋落物分解和化学计量学等。德国研究联合会主要资助草原、土壤微生物作用下落叶树种、堆肥、碳固定、稳定同位素、氨基酸、德尔塔 C-13 和质谱法。有机质、凋落物、碳循环、碳固定、C-13、德尔塔 C-13、氨基酸、氨基糖、稳定同位素、化学计量学为资助的主题特色。

澳大利亚研究委员会气候变化、CO₂ 浓度升、高微生物群落、微生物量、凋落物分解、氮、碳、磷组分、根际分泌物土壤有机碳和土壤基质的研究。

芬兰科学院主要资助:气候变化、森林土壤、苔原、

泥炭地凋落物质量、牧草、土壤有机质、凋落物分解、树种、溶解有机碳分解、土居动物群落等主题的研究。

2.4 国际合作状况

当今科学研究正在进入国际化新阶段,国际合作成为推进基础研究发展、培养高水平创新人才、提高科学技术实力、实现跨越式发展的重要手段和支撑^[13]。从机构层面上看(图4),该领域研究合作多在两个机构中进行,而且机构合作也更多的在本国进行,甚至是本系统内进行,如中国科学院与中国科学院大学,中国科学院沈阳分院与北京中国科学院之间较多的合作,另外德国拜罗伊特大学与德国霍尔

海姆大学频繁合作的同时,与德国哥廷根大学也保持较密切的合作,美国的加州大学伯克利分校同时与美国俄勒冈州立大学、美国科罗拉多州州立大学保持合作;机构的国际合作体现在中国与美国、德国、瑞典之间,如中科院大学与新罕布尔州立大学、哥廷根大学、农业科技大学,北京中国科学院与美国的科罗拉多州立大学、康奈尔大学及明尼苏达大学等的合作。社会网络分析(图4)显示,上述国际机构合作主要以中国北京中科院、美国科罗拉多州立大学、俄勒冈州立大学、康奈尔大学、明尼苏达大学和新罕布什尔大学为中心展开合作。

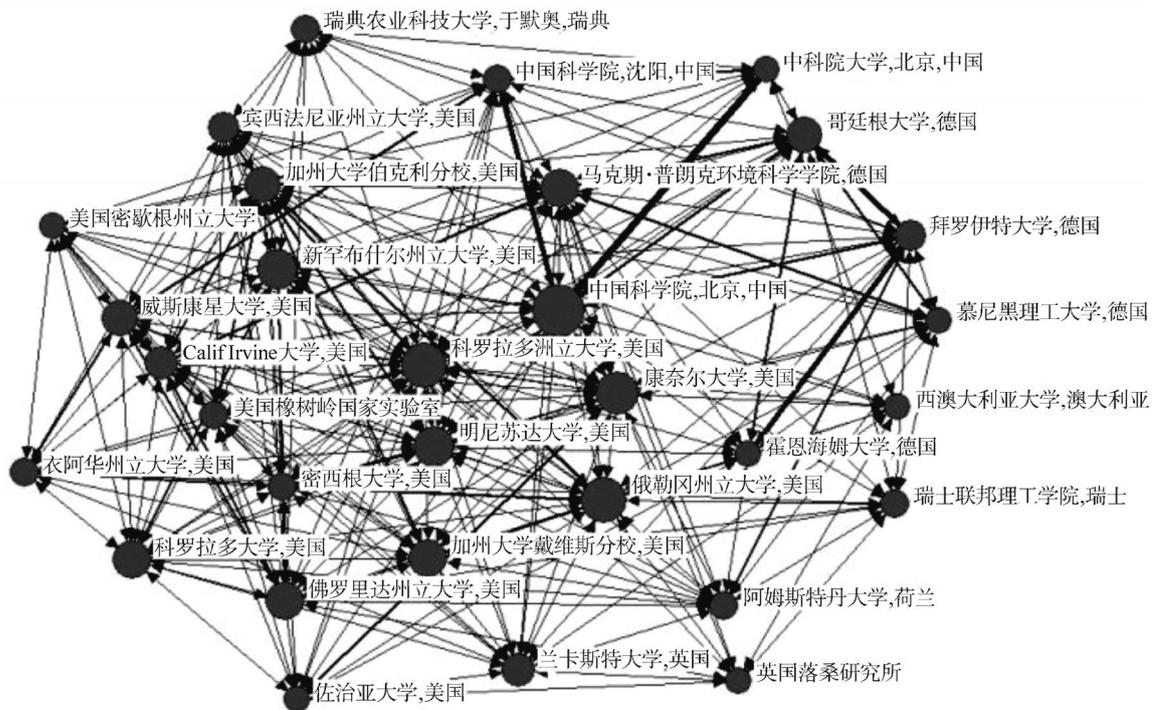


图4 2006~2015年WoS土壤有机碳与土壤微生物多样性研究国际合作社会网络分析

Fig. 4 WoS social network analysis of international cooperation on soil organic carbon and microbial diversity during 2006~2015

2.5 研究热点主题分析

2.5.1 2006~2015年土壤有机碳与生物多样性研究热点 为了更加全面地分析土壤有机碳与微生物多样性研究前沿的发展趋势,基于论文高频关键词词频分析,选取Top 20研究主题的年度统计分布(表5),可以看出研究主题比较集中,词频不断提高。土壤有机质、土壤有机碳、凋落物分析、氮、磷、微生物量、土壤性质、气候变化、碳固定是该领域10年来的热点研究主题;随着年代的推移,从研究自然土壤(如,草原、森林土壤)到研究人工干预(如,施肥、土壤肥力、养分循环、激发效应等)土壤的性质;研究从描述定性研究到采用模型法研究,凋落物质量、微生物群落、气候变化、菌类

和酶等主题成为土壤有机碳和土壤微生物多样性研究的热点;上述热点研究中氮和磷等主题出现频次较高,土壤根和根际微生物是土壤碳固定的主要组分,土壤碳固定是在气候变化、碳循环、养分循环以及凋落物质量、微生物群落的活动、土壤酶活性等作用过程中实现的。

近10年来热点研究主题不断有新研究主题进入Top 20热点主题,如2007年有土壤酶和菌类,2008年有养分循环、土壤肥力、溶解有机碳和细菌,2009年有施肥、草原、施肥和磷酸脂肪酸进入热点主题,2010年热点研究主题新增“稳定同位素”,2011年“氮循环”和“根”进入热点主题,2012年“木质素”和“土地利用”进入热点研究主题,在过去的几十年,木质素被认为是作为土壤

碳循环的重要组成部分,特别是碳固定^[4]。2013年“酶活性”进入研究热点主题,其中,胞外酶起调节土壤有机质的退化、转换和矿化作用^[5],测量其活性可以作为微生物营养需求的指标^[6]。2014年“激发效应”进入热点主题,使分解速率增加称正激发效应,降低的称为负激发

效应^[7]。从新增热点主题看,研究主题越来越广泛、深入和细致入微,如酶—酶活性,菌类—细菌,森林土壤—草原,土壤肥力评价—施肥,尤其是磷酸脂肪酸主题进入热点主题标志着研究已经达到细胞水平,磷脂脂肪酸技术常被用于研究复杂群落中微生物的多样性^[18]。

表 5 研究主题的年度分布状况

Table 5 Annual distribution of research topics

年份 Year	论文数量 (篇) Number of papers	热点研究主题 (词频 > 10) 关键词 Major research topic and keyword
2006	719	凋落物分解(56)、土壤有机质(56)、土壤有机碳(43)、土壤呼吸(32)、微生物量(28)、氮(26)、土壤性质(19)、碳固定(19)、重金属(18)、碳循环(17)、磷(16)、草原(14)、氮循环(14)、蚯蚓(12)、微生物群落(11)、森林土壤(11)、气候变化(10)、菌类(10)、矿化(10)、土地利用变化(10)、堆肥(10)、凋落物质量(10)
2007	777	土壤有机质(57)、凋落物分解(40)、土壤有机碳(36)、微生物量(35)、氮(32)、土壤性质(23)、土壤呼吸(23)、重金属(18)、模型(18)、碳固定(17)、矿化(17)、碳循环(16)、根际(15)、磷(17)、气候变化(12)、森林土壤(11)、微生物活动(11)、土壤酶(7)、菌类(6)
2008	827	凋落物分解(66)、土壤有机质(71)、土壤有机碳(46)、氮(40)、微生物量(29)、土壤呼吸(24)、碳固定(22)、土壤性质(20)、森林土壤(19)、气候变化(17)、根际(16)、模型(12)、溶解有机碳(12)、微生物(12)、细菌(12)、养分循环(12)、重金属(11)、矿化(11)、磷(11)、微生物活动(11)、土壤肥力(11)
2009	857	凋落物分解(75)、土壤有机质(55)、土壤有机碳(53)、微生物量(32)、土壤性质(24)、碳循环(22)、碳固定(22)、土壤呼吸(21)、氮(17)、重金属(17)、根际(17)、施肥(14)、土壤碳(13)、草原(12)、土壤肥力(12)、蚯蚓(11)、气候变化(10)、磷酸脂肪酸(10)、溶解有机碳(10)、微生物活动(10)
2010	884	土壤有机质(58)、凋落物分解(49)、土壤有机碳(43)、土壤性质(36)、氮(32)、土壤呼吸(31)、微生物量(26)、碳固定(22)、气候变化(21)、磷(19)、堆肥(18)、根际(17)、重金属(17)、养分循环(17)、碳循环(16)、施肥(15)、微生物群落(14)、菌类(14)、草原(9)、稳定同位素(5)
2011	964	土壤有机质(80)、土壤有机碳(47)、凋落物分解(41)、氮(37)、土壤性质(33)、土壤呼吸(26)、微生物量(26)、气候变化(24)、碳循环(24)、森林土壤(21)、碳固定(20)、磷(19)、根(17)、根际(14)、重金属(13)、磷脂脂肪酸(13)、养分循环(12)、土地利用(12)、溶解有机碳(12)、氮循环(11)、菌类(11)、草原(11)、稳定同位素(11)
2012	1067	土壤有机质(81)、凋落物分解(70)、土壤有机碳(67)、土壤性质(41)、氮(39)、土壤呼吸(38)、微生物量(32)、碳固定(27)、气候变化(21)、碳循环(18)、酶活性(16)、微生物群落(15)、木质素(15)、养分循环(14)、根际(13)、土地利用(13)、重金属(13)、磷酸脂肪酸(13)、菌类(13)、土壤酶(13)、微生物(13)
2013	1217	土壤有机质(85)、土壤有机碳(73)、凋落物分解(67)、微生物量(45)、土壤性质(40)、氮(37)、土壤呼吸(36)、磷(23)、气候变化(22)、根际(20)、碳循环(18)、碳固定(18)、土地利用(17)、堆肥(17)、微生物活动(16)、酶活性(15)、重金属(15)、养分循环(15)、磷酸脂肪酸(13)、土壤碳(13)、溶解有机碳(13)、根(13)、施肥(13)、蚯蚓(13)
2014	1193	土壤有机质(90)、土壤有机碳(84)、凋落物分解(73)、土壤性质(41)、微生物量(38)、气候变化(33)、土壤呼吸(28)、碳固定(27)、氮(25)、堆肥(21)、土壤酶(20)、磷脂脂肪酸(19)、微生物群落(18)、碳循环(16)、土壤肥力(16)、土地利用变化(16)、酶活性(15)、溶解有机碳(15)、激发效应(15)、根际(14)、重金属(14)、生物量(14)
2015	1275	土壤有机质(90)、土壤有机碳(77)、凋落物分解(72)、氮(42)、微生物量(39)、土壤性质(34)、土壤呼吸(32)、碳循环(23)、碳固定(22)、磷(20)、气候变化(19)、凋落物质量(19)、微生物群落(18)、微生物活动(18)、养分循环(18)、根际(17)、重金属(17)、菌类(17)、木质素(17)、土壤肥力(15)

注:论文词频统计第 Top 20 关键词相同词频若干词,本文均作为热点统计

2.5.2 近 10 年该领域各研究视角热点研究 (1)土壤有机碳组分研究(图 5a):土壤有机碳组分研究主要围绕着土壤有机质、凋落物分解、溶解有机碳、土壤碳、碳氮固定、碳循环与气候变化、微生物群落、微生物量、森林土壤的关系,以及耕种、玉米、小麦等人类干预的土地、北方森林土壤进行研究,通过稳定同位素、激发效应、C-13、N-15 等模型法对土壤进行各种测定及各种因素影响的研究。(2)土壤有机质代谢产物研究(图 5b):主要关注碳循环过程中凋落物分解、土壤有机质、土壤有机碳、溶解有机质、气候变化、微生物群落、微生物

量、磷酸脂肪酸、氮等,采用化学计量学、C-14、德尔塔 C-13 进行量化研究和测定。(3)土壤微生物多样性研究(图 5c):重点关注了养分循环,碳循环过程中凋落物分解、土壤有机质、磷酸脂肪酸、土壤真菌、土壤碳、胞外酶、细菌、微生物量、微生物呼吸、激发效应、氮、外生根菌根。(4)土壤酶活性研究(图 5d):主要围绕着土壤酶、微生物群落、有机质、转化酶、微生物量、土壤细菌、脱氢酶活性、重金属、土壤细菌、有机质、磷酸脂肪酸、蛋白酶、 β -葡萄糖苷酶、胞外酶活性、酸性磷酸酶、真菌等相互关联研究。(5)土壤碳有机碳环境影响因

子研究(图 5e):主要围绕着土壤有机碳、土壤有机质、土壤性质、土壤质量、有机碳、容积密度、气候变化及人类干预条件下的土地利用和变化、免耕法、轮

作、土壤肥力、土壤管理采用土壤转化函数、模型、地质统计学等方法进行计量研究。

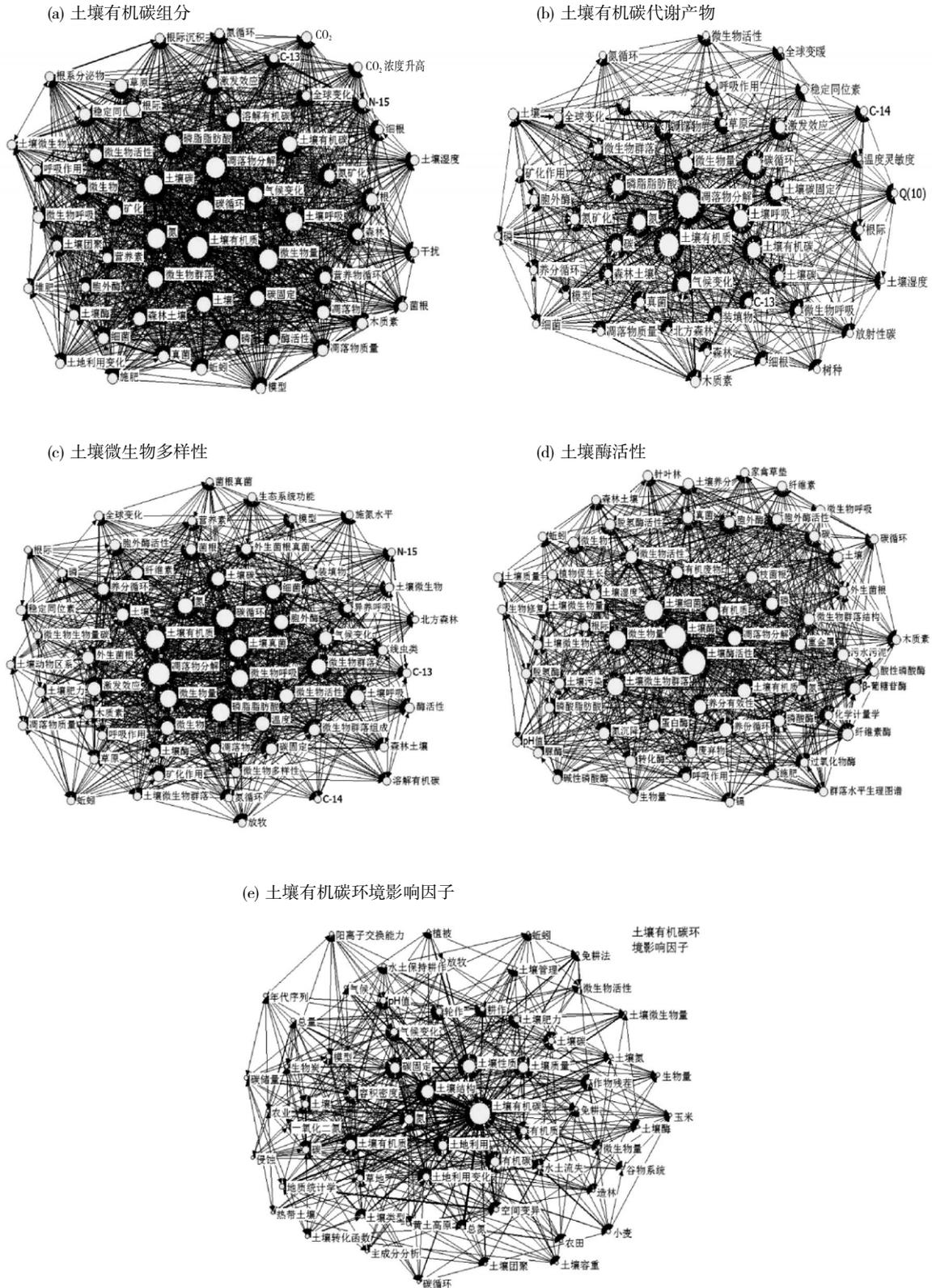


图 5 2006 ~ 2015 年土壤有机碳与微生物多样性研究及五个视角关键词社会网络度分析

Fig. 5 Social network analysis of keywords from 5 perspectives and of studies on soil organic carbon and microbial diversity from 2006 to 2015

2.6 高影响力论文分析

高被引论文是相关领域最为基础、核心的文献。论文被引频次在一定程度上反应了其对后续研究的影响程度,分析高被引论文能够从一个侧面反映领域研究的热点和重点。通过分析本领域高影响力论文,可以调查与评估不同国家或机构的科研实力与学术水平,同时也可以探讨学科的研究热点与发展态势^[9]。表 6 中 Top 15 高被引论文中美国占有 6 篇,5 篇来自德国,瑞典 2 篇、瑞士、荷兰和澳大利亚各 1 篇。这些欧美国家开展土壤碳固定研究比较早,掌握数据和方法比发展中国家全面、系统,加上语言的通用性与期刊水平等因素,他们的相关研究在全球影响力较高。他们分别是美国的康奈尔大学(2 篇)、美国农业部农科院、新罕布什尔大学、蒙大纳大学、新墨西哥大学,德国的慕尼

黑大学技术学院、霍恩海姆大学和拜罗伊特大学(3 篇),瑞士的苏黎世大学,奥地利的 BFW 和瑞典农业科学大学。这些论文分别发表在《NATURE》、《SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY》(4 篇)、《EUROPEAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE》、《AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT》、《SOCIETY OF AMERICA JOURNAL》、《GEODERMA》、《NEW PHYTOLOGIST》(3 篇)、《ECOLOGY LETTERS》、《ORGANIC GEOCHEMISTRY》和《PLANT AND SOIL》。从类型上看综述和基础类研究居多,内容上主要涉及不同生态条件下有机质间关联度及其启动效应,不同自然和人工干预条件下对碳固定的影响,黑炭氧化过程及其微生物量估计,微生物与土壤结构和性质等。

表 6 WoS 土壤有机碳与生物多样性文献 Top 10 高被引论文

Table 6 Times cited of top 10 papers on soil organic carbon and microbial diversity in WoS

序号 Number	文献题名 Title	第一作者机构 Research institution of the 1st author	第一作者国家 Country of the 1st author	文献来源 Journal	被引频次 Citation (次)	发表年份 Published year
1	Persistence of soil organic matter as an ecosystem property	Univ Zurich	瑞士	NATURE	782	2011
2	Biochar effects on soil biota – A review	Cornell Univ	美国	SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY	504	2011
3	Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions—a review	Tech Univ Munich	德国	EUROPEAN JOURNAL OF SOIL SCIENCE	487	2006
4	Tillage and soil carbon sequestration – What do we really know	USDA ARS	美国	AGRICULTURE ECOSYSTEMS & ENVIRONMENT	421	2007
5	Bacterial and fungal contributions to carbon sequestration in agroecosystems	Univ New Hampshire	美国	SOIL SCIENCE SOCIETY OF AMERICA JOURNAL	395	2006
6	Sources of CO ₂ efflux from soil and review of partitioning methods	Univ Hohenheim	德国	SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY	388	2006
7	How strongly can forest management influence soil carbon sequestration	BFW	奥地利	GEODERMA	377	2007
8	Mycorrhizas and soil structure	Univ Montana	美国	NEW PHYTOLOGIST	338	2006
9	Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale	Univ New Mexico	美国	ECOLOGY LETTERS	329	2008
10	Priming effects: Interactions between living and dead organic matter	Univ Bayreuth	德国	SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY	305	2010
11	Spatial separation of litter decomposition and mycorrhizal nitrogen uptake in a boreal forest	Swedish Univ Agr Sci	瑞典	NEW PHYTOLOGIST	302	2007
12	Oxidation of black carbon by biotic and abiotic processes	Cornell Univ	美国	ORGANIC GEOCHEMISTRY	300	2006
13	Long term effects of manure, charcoal and mineral fertilization on crop production and fertility on a highly weathered Central Amazonian upland soil	Univ Bayreuth	德国	PLANT AND SOIL	298	2007
14	Black carbon decomposition and incorporation into soil microbial biomass estimated by C-14 labeling	Univ Bayreuth	德国	SOIL BIOLOGY & BIOCHEMISTRY	295	2009
15	The likely impact of elevated [CO ₂], nitrogen deposition, increased temperature and management on carbon sequestration in temperate and boreal forest ecosystems: a literature review	Swedish Univ Agr Sci	瑞典	NEW PHYTOLOGIST	293	2007

3 讨论与结论

总体来说,随着研究的微观化和系统化,国际上土壤有机碳与土壤微生物多样性研究呈稳步增长态势。近 10 年土壤有机碳环境影响因子研究呈加速增长态势,而土壤微生物多样性和土壤酶活性研究相对较少,尤其是土壤酶活性研究近年来一直发展缓慢。

(1)欧美国家是土壤有机碳与微生物多样性研究的主要力量,中国在该领域研究正在快速增长,论文数量已达世界领先,亚洲的日本、印度和大洋洲的澳大利亚也是该领域研究的主要力量。从国家和机构层面看,美国在该领域研究数量和质量均处于领先水平,英国、瑞典、瑞士、荷兰论文水平较高,欧美一些主要机构在该领域研究呈现差异性策略。我国中国科学院等在该领域研究论文多,但篇均被引较低,说明我们在该领域研究发展迅速,同时相关研究还有较大提升空间。

(2)该领域从机构资助产出论文影响力看,美国国家科学基金会资助的论文总被引和篇均被引均遥遥领先;但中国科学院基金总被引频次和篇均被引也均保持了第 3 的位次;篇均被引方面中国国家重点基础研究和国家自然科学基金形成了一定的反差,这可能与我国现有研究水平及评价制度有关,说明我国后两种机构资助的研究论文水平还有待提升,同时相关研究机构合作具有国家性和地域性。

(3)凋落物分解、土壤有机质、土壤有机碳、微生物量、微生物群落、土壤性质是近年来一直关注的主题,土壤有机碳热点研究中,氮、磷等着主题出现频次较高,在土壤有机碳与微生物多样性研究中进行一定氮和磷的研究,可能更加促进该研究向纵深发展;重金属、C-13 和磷酸脂肪酸也是近 10 年研究的热点,说明国际该领域研究前沿已经深入到细胞、分子水平,重金属对土壤的污染和追踪、监测也成为研究的热点;气候变化、植物根际土壤微生物群落的活动(如各种土壤酶及其活性)是影响土壤有机碳的重要因素。

土壤有机质组分还研究了稳定同位素、激发效应、C-13、N-15;土壤有机质代谢则在微生物群落、微生物量、磷酸脂肪酸、氮和 C-14、C-13 丰度着重研究,但是期待中的土壤有机质糖代谢研究似乎不足,可能在研究中存在科学问题;5 个视角研究有共同研究的交叉主题,同时也各有特色主题,其界限还比较模糊有待于进一步深入具体的研究。

(4)高影响力论文中综述居多,美国、德国等欧美国家占据大多数,论文多发表在世界顶级行业杂志上,内容上主要是不同生态条件下有机质间关联度及其启

动效应,不同自然和人工干预条件下对土壤有机碳的影响,黑炭氧化过程及其微生物量估计,微生物与土壤结构、和性质等。

(5)纵观该领域我国国家自然科学基金、中国科学院基金和中国国家重点基础研究基金中国科学院基金更注重解决实际问题,地域性更强。凋落物是生态系统的重要组成部分,是联系土壤碳库和植物碳库的重要环节,对陆地生态系统碳循环具有重要影响^[20]。也是国家自然科学基金、中国国家重点基础研究支持、中国科学院基金支持的热点主题,但是在我国的相关总体国际论文中还未进入热点研究主题,因此应加强凋落物分解课题的研究,另外,微生物呼吸是国家重点基础基金支持的主题而在中国科学院基金及国家自然科学基金都未进入 Top 20 研究主题,因此应加强微生物呼吸的基础性研究和地域性应用研究,以便将基础研究成果及时应用于解决相应实际问题。

参考文献:

- [1] 周 莉,李保国,周广胜. 土壤有机碳的主导影响因子及其研究进展[J]. 地球科学进展, 2005, 20(1): 99 - 105.
- [2] 程 曼,朱秋莲,刘 雷,等. 宁南山区植被恢复对土壤团聚体水稳定及有机碳粒径分布的影响 [J]. 生态学报, 2013, 33(9): 2835 - 2844.
- [3] 任 军,郭金瑞,边秀芝. 土壤有机碳研究进展 [J]. 中国土壤与肥料, 2009, (6): 1 - 7, 27.
- [4] 李 东,高 明. 土壤有机碳循环研究进展 [J]. 江西农业学报, 2008, 20(2): 60 - 63, 75.
- [5] KOGEL-KNABNER I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2002. 34(2): 139 - 162.
- [6] 张四海,曹志平,胡婵娟. 添加秸秆碳源对土壤微生物生物量和原生动物的影响 [J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6): 1283 - 1288.
- [7] 万忠梅,宋长春. 土壤酶活性对生态环境的响应研究进展 [J]. 土壤通报, 2009, 40(4): 951 - 956.
- [8] 干文芝,胡宗达,任永宽等. 基于文献计量学的国际土壤呼吸研究态势分析[J]. 西南农业学报, 2013, 26(3): 1105 - 1111.
- [9] 杨立英. 基因组学领域演进的科学计量研究[J]. 科学观察, 2007, 2(1): 11 - 19.
- [10] 王立伟,郑军卫,赵纪东,等. 基于文献计量的铝矿科技发展态势分析[J]. 资源科学, 2014, 36(3): 653 - 659.
- [11] 唐 霞,张志强. 基于文献计量的绿洲研究发展态势分析 [J]. 生态学报, 2016, 36(10): 1 - 8.
- [12] 曹永昌,谭向平,和文祥,等. 秦岭地区不同林分土壤微生物群落代谢特征[J]. 生态学报, 2016, 36(10): 1 - 9.
- [13] 刘 云,刘 文,叶选挺. 基于 SCI 合著论文的中美合作机构分析[J]. 科学观察, 2010, 5(1): 10 - 15.
- [14] THEVENOT M, DIGNAC M F, RUMPEL C. Fate of lignins in soils: A review[J]. Soil Biology & Biochemistry, 2010, 42(8): 1200 - 1211.

- [15] SINSABAUGH R L. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil [J]. *Soil Biology & Biochemistry*, 2010, 42(3): 391 - 404.
- [16] SINSABAUGH R L, Sinsabaugh R L, Lauber C L, et al. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale [J]. *Ecology Letters*, 2008, 11(11): 1252 - 1264.
- [17] 陈春梅, 谢祖彬, 朱建国. 土壤有机碳激发效应研究进展 [J]. *土壤*, 2006, 38(4): 359 - 365.
- [18] 吴愉萍. 基于磷脂脂肪酸(PLFA)分析技术的土壤微生物群落结构多样性的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2009.
- [19] 高懋芳, 邱建军, 刘三超, 等. 基于文献计量的农业面源污染研究发展态势分析[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(6): 1140 - 1150.
- [20] 杨万勤, 邓仁菊, 张健. 森林凋落物分解及其对全球气候变化的响应[J]. *应用生态学报*, 2007, 18(12): 2889 - 2895.

Frontier Situation Analysis of the Research on Soil Carbon Sequestration and Soil Microbial Diversity Based on Bibliometric

LI Ya¹, LIU Mei^{1,2}, ZENG Quan-chao³, GU Dan-dan^{1,3}, LIU Shao-min^{1,2}, AN Shao-shan^{3*}

(1. *Library of Northwest A&F University, Yangling 712100, China*; 2. *Library of Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences, Yangling 712100, China*; 3. *State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Northwest A&F University, Yangling 712100, China*)

Abstract: In order to understand the research progress of soil carbon sequestration and provide references data for relative researchers, this paper used the methods of Web of Science DSN and data base with build-in profiler Thomson Data Analysis (TDA), Society network analysis and visualization tools Netdraw and Ucinet, progressed the metric analysis of papers on carbon sequestration and its influencing factors published from 1992 - 2015, especially in recent decade, from six aspects as annual change trend of thesis, global powerful countries in relative research, organization distribution and force comparison, grant-giving agency and their theme distribution, institute cooperative and research content. The results showed that: (1) The number of papers was on a steady growth trend. The researches of soil carbon sequestration and soil microbial diversity mainly were focused on Europe and the United States and other developed countries (regions). The highest comprehensive influence of paper was occurred in United States and Germany. Higher citations per paper was mainly in Britain, Sweden, Switzerland, and Netherlands. The most research papers in this field were published by Chinese research institutions represented by Chinese academy of sciences. (2) The highest cited papers were mainly supported by National Science Foundation, followed by German research foundation, and Chinese academy of sciences foundation. Each country had their own special research theme based on public economic support. Some research institutions in America were the center of global research cooperation and communication in this field, followed by in Germany and Chinese academy of sciences. (3) Soil organic matter, soil organic carbon, nitrogen, phosphorus, microbial biomass, soil properties, climate change and carbon fixation had become hot research topics in this field in recently 10 years. Future research should focus on the topics on litter decomposition, heavy metals, microbial respiration, and strengthen international cooperation in order to improve Chinese research level and solve practical problems with the relative research achievement.

Key words: Soil carbon sequestration; Microbial diversity; Litter decomposition; Soil organic matter; Bibliometrics

[责任编辑: 韩春兰]