

基于 WoS 引文数据库对 2008—2021 年土壤团聚体研究文献的计量分析

龙慧¹, 肖盛杨², 舒英格¹

(1. 贵州大学 农学院, 贵州 贵阳 550025; 2. 贵州科学院 山地资源研究所, 贵州 贵阳 550001)

摘要: [目的] 为深入了解国内外土壤团聚体研究进展和未来发展趋势, 明确当前的热点问题, 为土壤团聚体领域的科研工作者与决策者提供参考。[方法] 基于 Web of Science 引文数据库, 借助 VOSviewer, CiteSpace 科学图谱绘制软件和 R 语言的 BiblioShiny 程序分析工具, 对土壤团聚体研究的发文量、期刊、国家(地区)、机构、关键词和主题演变进行计量分析。[结果] 土壤团聚体领域发文量总体呈现上升的趋势; 从国家研究实力上来看排在前三位的有中国、美国和德国, 其中中国的发文量远超其他国家, 比例为 25.4%; 研究机构中有中国科学院、中国科学院大学、西北农林科技大学占据主要地位; 主要发文期刊有 *Geoderma*, *Soil & Tillage Research*, *Catena* 和 *Science of the Total Environment* 等; 从战略坐标图和关键词分析可知土壤有机质(碳)为该领域研究的核心主题, “黄土高原”“保护性农业”“生态系统服务”“土壤健康”“微生物群落”等主题词是该领域近 5 年来研究的热点内容。[结论] 在气候变化背景下, 土壤团聚体与有机质、微生物量研究是当前土壤团聚体研究的前沿领域, 可持续农业发展、土壤健康与多学科交叉主题将成为未来的研究重点。

关键词: Web of Science; 土壤团聚体; 战略坐标图; 计量分析

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2023)01-0196-10

中图分类号: S152.4

文献参数: 龙慧, 肖盛杨, 舒英格. 基于 WoS 引文数据库对 2008—2021 年土壤团聚体研究文献的计量分析[J]. 水土保持通报, 2023, 43(1): 196-205. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2023.01.023; Long Hui, Xiao Shengyang, Shu Yingge. Bibliometric analysis of research literature on soil aggregates during 2008—2021 based on WoS citation database [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2023, 43(1): 196-205.

Bibliometric Analysis of Research Literature on Soil Aggregates During 2008—2021 Based on WoS Citation Database

Long Hui¹, Xiao Shengyang², Shu Yingge¹

(1. College of Agriculture, Guizhou University, Guiyang, Guizhou 550025, China;

2. Institute of Mountain Resource, Guizhou Academy of Sciences, Guiyang, Guizhou 550001, China)

Abstract: [Objective] The objectives of this study were to obtain a deep understanding of the research progress and future development trend regarding soil aggregates at home and abroad, identify the current issues of great interest with regard to soil aggregates, and provide a reference for researchers and decision makers in the field of soil aggregates. [Methods] Based on the Web of Science Citation Database, and with the help of VOSviewer, CiteSpace scientific atlas mapping software, and the BiblioShiny program analysis tool in the R language, a quantitative analysis was conducted on the number of publications, journals, countries (regions), institutions, keywords, and subject evolution of soil aggregate research. [Results] The number of papers published in the field of soil aggregates generally increased over time. In terms of national research strength, the top three countries were China, the United States, and Germany. The number of papers published by China far exceeded that of other countries, and accounted for 25.4% of all papers published relating to soil aggregates. Among the institutions conducting research on soil aggregates, the Chinese

收稿日期: 2022-06-10

修回日期: 2022-07-11

资助项目: 贵州科学院青年科学基金项目“黔西北高原区坡耕地土壤团聚体稳定性驱动机制研究”(黔科院 J 字 [2023]13 号); 贵阳市科技局重大专项“贵阳市茶业发展关键技术研究示范”子项目: “茶园节水技术研究与示范”(筑科合同[2011401]01 号)

第一作者: 龙慧(1997—), 女(苗族), 贵州省铜仁市人, 硕士研究生, 研究方向为土壤生态环境。Email: 1424297633@qq.com。

通信作者: 舒英格(1973—), 男(汉族), 贵州省镇宁县人, 教授, 主要从事农业资源与环境、土地资源利用管理研究。Email: maogen958@163.com。

Academy of Sciences, the University of the Chinese Academy of Sciences, and the Northwest A&F University occupied the main positions. The main journals that published soil aggregate papers were *Geoderma*, *Soil & Tillage Research*, *Catena*, and *Science of the Total Environment*. The strategic coordinate map and keyword analysis showed that soil organic matter was the core subject of research in this field, and keywords such as “loess plateau”, “conservation agriculture”, “ecosystem services”, “soil health”, and “microbial community” were areas of intense research interest in this field in the past five years. [Conclusion] Under the background of climate change, research studies on soil aggregates, organic matter, and microbial biomass are on the frontier of soil aggregate research. Sustainable agricultural development, soil health, and interdisciplinary topics will become the focus of future research.

Keywords: Web of Science; soil aggregates; strategic coordinates; metrological analysis

土壤结构指土壤孔隙与土壤固体之间的排列和组合形式^[1]。良好的土壤结构依赖于稳定的土壤团聚体。土壤团聚体是土壤颗粒受到不同作用力所形成的直径为 10~0.25 mm 的结构单位,大小及其分布比例能对土壤养分存储进行调控,对维持土壤孔隙度、水、气和土壤微生物及其一系列的酶活性扮演着重要角色^[2-3],同时 Six 等^[4]研究表明土壤团聚体数量和质量能影响土壤性质。所以土壤团聚体不仅是组成土壤的基础,也是养分的主要载体,是肥沃土壤的一个重要标志^[5-6]。作为土壤结构的基本单元,土壤团聚体是有机和矿物颗粒的异质组合。根据土壤团聚体的大小,可分为微团聚体(<0.25 mm)和大团聚体(>0.25 mm)^[4]。大团聚体(>0.25 mm)含量变多能够增加土壤总孔隙度,使土壤的入渗和持水性能大幅度提高^[7],微团聚体(<0.25 mm)是有机碳长期储存的主要场所。土壤团聚体大小分布对抵抗外力干扰也有所不同,水土流失逐渐成为全球性的环境问题^[8-9]。Wang 等^[10]研究中国亚热带桉树人工林土壤团聚体稳定性与地表径流的关系,结果表明土壤团聚体稳定性降低,土壤易受到水流侵蚀。这些不同粒径团聚体对微生物活动也会产生重要影响^[11],土壤微生物分解转化有机质,直接参与土壤团聚体形成并影响其稳定性^[12-14]。土壤有机质含量、土壤团聚体与土壤微生物三者之间关系相互促进,相互制约。可见,研究土壤团聚体对土壤环境质量、土壤性质变化、土壤肥力水平和抗水土流失等具有重要意义。

对于土壤团聚体研究领域来说,及时把握最新研究成果和学科发展动态十分必要。传统的文献综述方法没有固定格式和写作流程,也没有严格的数据统计分析过程。而文献计量法是通过大量的文献数据进行快速、准确地定量分析并进行可视化表达,往往更加科学和直观^[15]。通过对这个研究领域发文数量统计、期刊、发文机构、国家以及关键词等文献可视化分析,可以直观展示土壤团聚体这个领域发展脉络

和研究热点。目前对于土壤团聚体文献计量分析比较薄弱。为全面了解土壤团聚体的研究现状、热点和发展趋势,本研究基于以 Web of Science 核心合集中收录的论文作数据样本,采用文献计量学方法,借助 VOSviewer 及 CiteSpace, R 语言等科学分析工具进行分析,并重点关注土壤团聚体研究领域未来的发展趋势,以期深入研究土壤团聚体及其在生态环境中的作用提供支撑。

1 材料与方法

1.1 数据来源

为了获得代表高质量研究的文献数据,本文研究数据来源于 Web of Science 核心合集数据库,输入主题为“soil aggregate or aggregate”进行检索,在 Web of Science 数据库选择好限制条件,检索时间跨度为 2008—2021 年,文献类型为 Review 和 Article,检索时间段为 2021 年 12 月 25 日,总共检索出的文献有 11 849 篇,剔除无相关文献和排除其他类型的文章,如指南、评论等,共检索出 11 278 篇相关研究文献,下载命名为“download_×××.txt”格式,涉及 148 个国家,7 483 个机构,1 337 种期刊。

1.2 研究方法

利用 Web of Science 自带分析检索功能,运用 VOSviewer 可视化图谱分析工具对期刊、国家、机构和关键词和 Citespace 对关键词爆发进行了可视化分析。此外文中还结合 R 语言的 Biblioshiny 程序绘制了战略坐标图,探究主题的研究热点和趋势,并使用 Origin 2019 软件和 GIS 软件进行绘图。VOSviewer 是由莱顿大学研究人员开发能对文献进行处理的一款可视化分析软件^[16],使用 VOSviewer 对期刊、国家、机构和关键词进行分析。CiteSpace 可视化文献计量学软件逐渐受到学者欢迎的一款知识图谱绘制工具之一^[17-18]。在 CiteSpace 可视化分析中,时间跨度选择 2008—2021 年,节点设置为 1 a,功能区选择

关键词(keywords),选择 burstness 进行图谱分析,阈值为 TOP25^[19]。战略坐标图分析是 Law 等^[20]在 1988 年开发的一种战略分析方法,主要用来描述多个研究主题之间相互联系和领域间的相互影响。在 R 语言 Biblioshiny 程序的界面 Conceptual Structure(概念结构)中选择 Thematic Evolution(主题演变),图表字段设置“作者的关键词”,并且最小聚类频率和标签数量(每个聚类)设置为 5 个,点击运用可得战略坐标图形。

图 1 展示了整个研究框架,其中包括研究主题的确立,数据提取和知识图谱分析。知识图谱分析主要运用 VOSviewer 对发文量、发文机构、发文国家和关键词分析,运用 Citespace 和 Biblioshiny 对热点与主题变化趋势两个部分进行分析。这些结果为土壤团聚体研究领域提供了一个全面的研究视角。

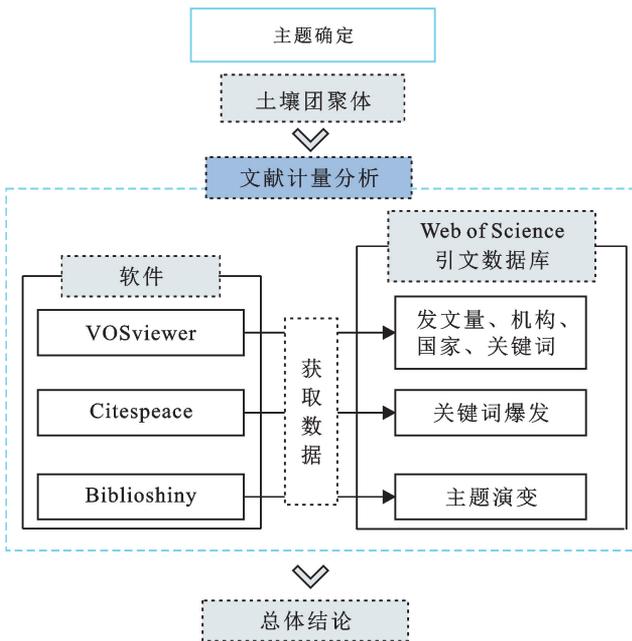


图 1 基于 WoS 引文数据库对 2008—2021 年土壤团聚体研究文献计量分析的研究框架

Fig.1 Research framework for quantitative analysis of soil aggregate research literature from 2008 to 2021 based on WoS citation database

2 结果与分析

2.1 发文量及年度变化趋势

年度发文量可以看出土壤团聚体领域受到的关注程度及发展趋势。在 WoS 中检索的 11 278 篇以“土壤团聚体”为关键词的论文发文量见图 2。从图 2 可以看出,发文量随着时间的推移呈现整体上升的趋势,尤其到 2015 年过后,发文量快速上升。土壤团聚体研究的年度发文量变化趋势大概可以分为 3 个时

期:2008—2010 年发文数量呈波动上升状态;2010—2015 年土壤团聚体研究缓慢增长,在 2015—2021 年发文量呈现快速发展状态,表明该时期对于土壤团聚体研究受到学者极大的关注,国际上名校之间的人才交流和专业性科研人员的递增有密切关系。

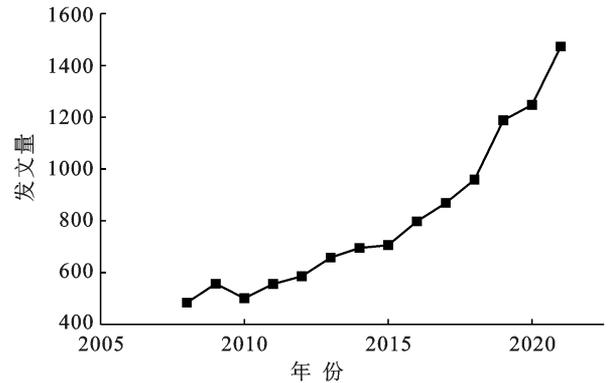


图 2 2008—2021 年土壤团聚体研究的年度发文量变化趋势

Fig.2 Change trend of annual document amount of soil aggregate research from 2008 to 2021

2.2 重要期刊来源

通过分析期刊的分布情况,有利于该领域的相关机构进行合作与交流^[21]。影响因子(impact factor, IF)是美国科学情报研究所(ISI)的期刊引证报告(JCR)中的一项数据,是衡量某个期刊影响力大小的一个指标,它是指某一期刊在特定时间段内引用文章的频率。也就是某刊平均每篇论文的被引用数,它实际上是某刊在某年被全部源刊物引证该刊前两年发表论文的次,与该刊前两年所发表的全部论文数之比。了解该领域的主要研究成果,能指导科研人员选择出版物进行阅读和投稿^[22]。

该领域共有 1 337 种期刊,由表 1 看出该领域发文量前三位的期刊分别为 *Geoderma*, *Soil & Tillage Research*, *Catena*, 比例为 5.1%, 4.7% 和 3.1%, 说明是该领域研究人员主要选择的投稿期刊,2021 年的影响因子最高的期刊为荷兰的 *Science of the Total Environment*, 但是 TLCS 最高为荷兰的 *Soil & Tillage Research* 期刊,表明荷兰这个国家在土壤团聚体领域有很高的影响力。

2.3 主要研究力量

2.3.1 发文国家分析 在国家合作网络图中,国家发文数量用圆圈大小来表示,发文量多的国家其圆圈就越大,在各个圆圈之间连线表征两者之间的关系,线条稀疏代表缺乏合作的关系,反之则代表联系紧密。当前,全球已经有 148 个国家发表了关于土壤团聚体的相关研究。中国、美国、德国、巴西、西班牙、澳

大利亚、法国、英国、印度、加拿大这几个国家位居前十。且发文量总共有 10 608 篇,占总量的 94.1%。中国的发文量位居第一,共 2 860 篇,远远领先于其他国家,占发文量的 25.4%(表 2),说明中国这几年来比较重视土壤方面的研究。图 3 是 2008—2021 土壤团聚体这个研究领域发文国家的合作关系。从图

3 可以看出已经有一百多个国家共同致力于研究该领域且中国的发文量高于其他国家,与中国合作较为密切的国家主要有印度、澳大利亚、俄罗斯、马来西亚、比利时、美国、巴基斯坦等国。从图 4 中可以看出,中国和美国颜色最深,则代表发文量最多。土壤团聚体研究主要位于亚洲、欧洲。

表 1 2008—2021 年土壤团聚体研究领域发文量排名前 10 位的期刊
Table 1 Top 10 journals in the field of soil aggregate research from 2008 to 2021

期刊名称	发文量	比例/%	TLCS	TGCS	影响因子(2021)	出版国
<i>Ghoderma</i>	578	5.1	4 412	18 622	7.422	中国
<i>Soil & Tillage Research</i>	535	4.7	4 661	17 601	7.366	荷兰
<i>Catena</i>	354	3.1	2 497	8 769	6.367	德国
<i>Science of the Total Environment</i>	282	2.5	577	7 553	10.753	荷兰
<i>Soil Science Society of America Journal</i>	274	2.4	1 977	7 109	3.564	美国
<i>Soil Biology & Biochemistry</i>	254	2.3	3 244	12 517	8.546	英国
<i>Journal of Soils and Sediments</i>	188	1.7	600	2 709	3.536	中国
<i>Europena Journal of Soil Science</i>	165	1.5	929	3 242	4.178	英国
<i>Revista Brasileira de Ciencia do Solo</i>	156	1.4	444	1 978	1.566	巴西
<i>Land Degradation & Development</i>	147	1.3	710	3 367	4.377	中国

注: TLCS 表示在当前数据集中这篇文章被引用的次数, TGCS 表示在 WoS 数据库中全部文献被引频次的总和。下同。

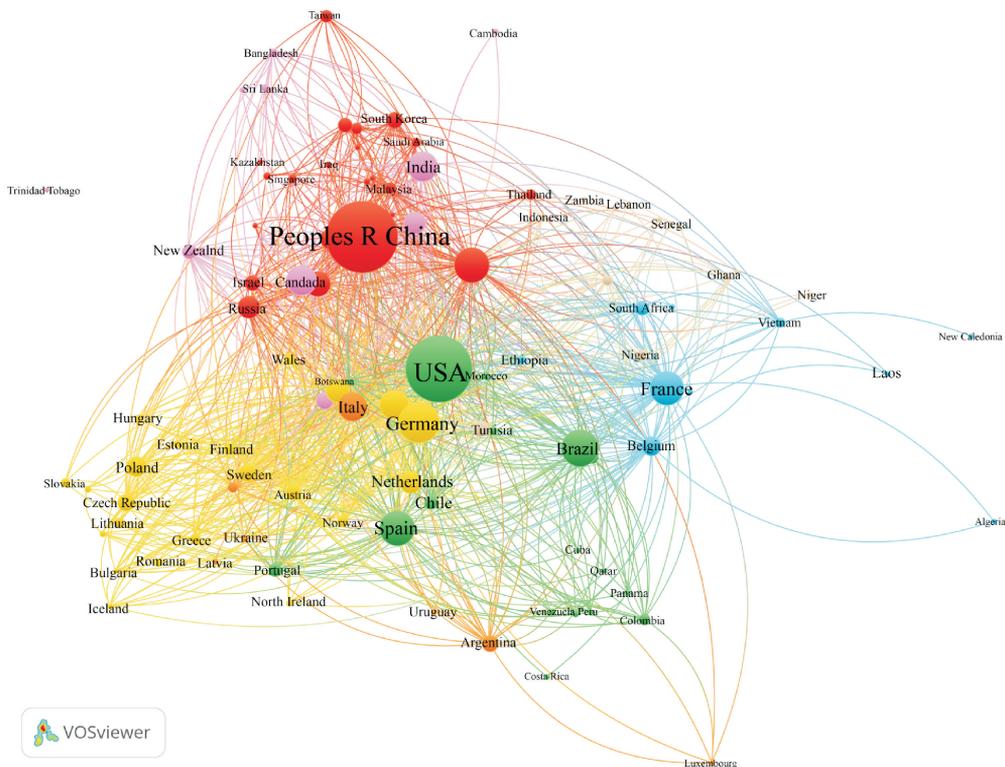


图 3 2008—2021 年土壤团聚体研究的全球国家分析网络图

Fig.3 Global national analysis network of soil aggregate research from 2008 to 2021

2.3.2 重要研究机构分析 中国科学院是发文数量和合著发表文章数量第一的机构,其次分别是中国科

学院大学和西北农林科技大学。通过 VOSviewer 引文分析,在土壤团聚体研究领域共涉及 7 483 个研究

机构,其中发文量 TOP10 见表 3。发文量排名前三位的学科分别为中国科学院、中国科学院大学和西北农林科技大学,机构分别发文 848,264,246 篇,占发文总数的 7.5%,2.3%,2.2%。其中中国科学院位居第一,本地总被引频次 4 304 次,可见中国科学院在土壤团聚体占领着重要的地位。

图 5 表示 2008—2021 年间重要机构的合作关系。其中,中国科学院与一百多个研究机构都有密切合作,与西北农林大学最密切,且是发文量前三的研究机构,说明中国科学院在土壤团聚体研究领域中的地位较高且影响广泛。

表 2 2008—2021 年土壤团聚体研究发文量排行前 10 位的国家
Table 2 Top 10 countries in the number of papers on soil aggregate research from 2008 to 2021

国家	发文量	比例/%	TLCS	TGCS
China	2 860	25.4	10 093	62 309
USA	2 496	22.1	8 792	75 538
Germany	930	8.2	4 950	32 096
Brazil	765	6.8	1 884	12 822
Spain	678	6.0	2 130	20 709
Australia	661	5.9	2 228	19 746
France	628	5.6	2 814	17 751
UK	616	5.5	1 984	19 333
India	502	4.5	1 701	11 746
Canada	478	4.2	1 423	13 746

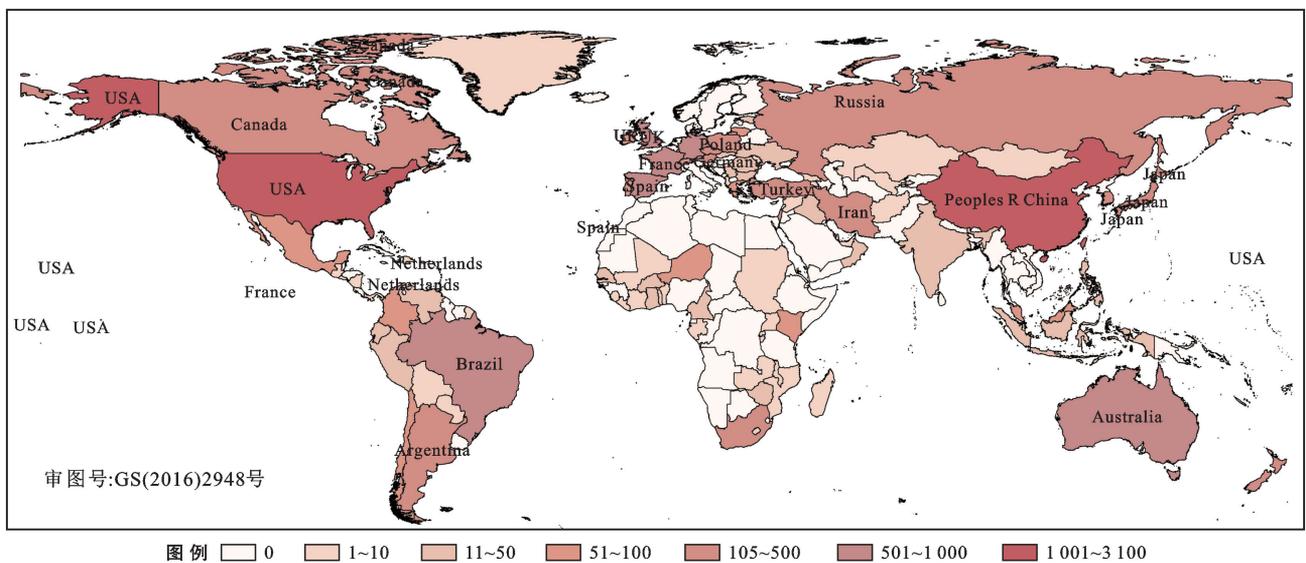


图 4 2008—2021 年土壤团聚体研究的全球国家地理图

Fig.4 Global national geographic Map of soil aggregate research in 2008—2021

表 3 2008—2021 年全球土壤团聚体研究领域发文量排名前 10 位的研究机构

Table 3 Research institutions with the highest number of papers in the field of global soil aggregate research from 2008 to 2021

机构	中文名	发文量/篇	比例/%	TLCS	TGCS
Chinese Acad Sci	中国科学院	848	7.5	4 304	21 486
Univ Chinese Acad Sci	中国科学院大学	264	2.3	1 125	4 688
Northwest A&F Univ	西北农林科技大学	246	2.2	1 315	4 657
USDA ARS	美国农业部农业研究所	229	2.0	754	4 613
Chinese Acad Agr Sci	中国农业科学院	145	1.3	777	3 263
China Agr Univ	中国农业大学	139	1.2	529	3 190
CSIC	西班牙高等科研理事会	136	1.2	426	4 345
Huazhong Agr Univ	华中农业大学	126	1.1	1 017	3 402
INRA	法国农业科学研究院	125	1.1	919	4 423
Ohio State Univ	俄亥俄州立大学	110	1.0	651	3 703

2.4 关键词分析

关键词是每篇文献的研究核心精炼,表达文献主题内容和研究方向,可以将论文精炼,并准确表达出

来。通过分析关键词,有助于研究者了解该领域的研究热点和今后的发展趋势^[23]。通过引文网络分析在 VOSviewer 设置关键词出现频次大于 5 的进行可

物健康联系在一起,对人类社会和全球可持续发展具有重要意义。Chen 等人^[31]对生物炭进行综述,旨在为人类生存安全与可持续健康发展提供见解。近 3 a 来新出现一些突现关键词如:ecosystem service(生态系统服务)、soil health(土壤健康)、bacterial community(细

菌群落),如 Six 等^[32]提出了团聚体与植物根系、动物及土壤微生物之间相互作用的模型。意味着土壤团聚体研究已经扩展到了更广阔的领域,体现许多学科交叉领域。随着近几年土壤团聚体研究的进一步深化,一些新的研究热点也不断涌现。

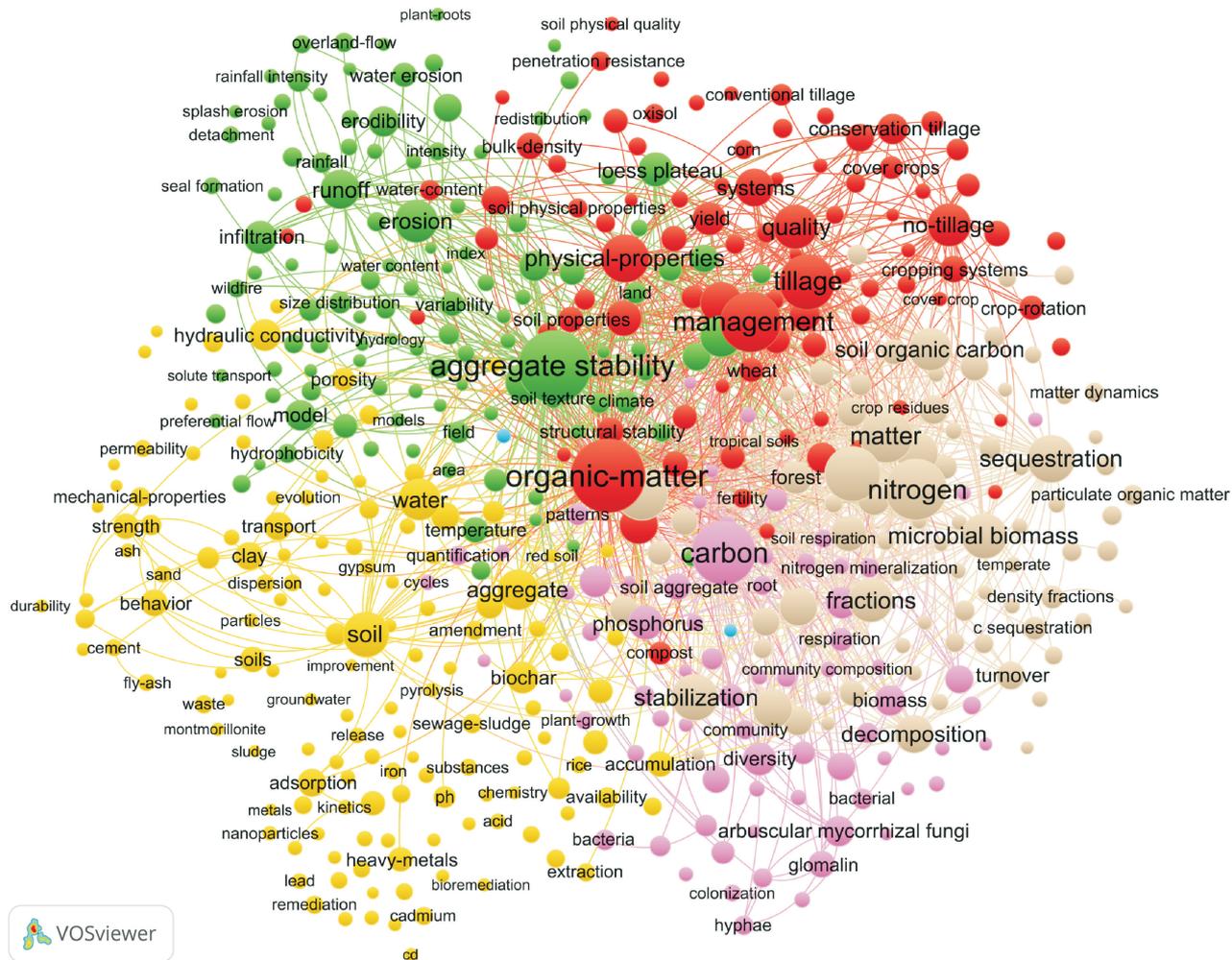


图 6 2008—2021 年土壤团聚体研究关键词共现图

Fig.6 Co-occurrence of keywords in soil aggregate research from 2008 to 2021

2.5 研究趋势

本文研究趋势借助 Biblioshiny 的战略坐标图进行分析。战略坐标图分析是 Law 等人在 1988 年开发的一种战略分析方法,主要用来描述多个研究主题之间相互联系和领域间的相互影响^[18,33]。战略坐标图共有 4 个象限,横坐标代表向心度,纵坐标代表密度。Density(密度)表示研究主题内部联系,密度高则代表主题内部联系紧密,研究逐渐成熟;Centrality(向心度)表示主题类群相互影响,为该研究领域的研究中心。表 5 列出了 7 个聚类词,但是由于仅从聚类名称很难找到关键词中的具体信息,因此需要结合聚类中的主要关键词来更深入地分析每个聚类中包含

的具体研究内容。图 7 为土壤团聚体研究主题战略坐标图,由图可知每个象限分别有两组。编号 3[#] 位于第 I 象限内,向心度大,表明“土壤有机质”这个主题与其他的研究主题联系紧密,代表该领域的核心主题内容,说明已经相当成熟和具有很大的发展潜力。位于第 II 象限编号为 4[#] 和 6[#],该象限向心度低,密度比较高。说明“土壤结构”和“土壤”这两个主题内部关键词联系密切,但与核心主题联系较弱,且 6[#] 主题为“土壤”有向象限 I 偏移的趋势。编号 5[#] 和 7[#] 在第 III 象限内,这个象限代表向心度和密度都比较低,说明这两种主题“水土流失”“球囊霉素”属于研究领域的边缘学科,有待于进一步加强对这两个主题的

研究。如 Rillig 等^[34]重点论述丛枝菌根真菌 (AMF) 相关的土壤蛋白 (GRSP) 与土壤团聚体稳定性的关系, Wang^[10]研究表明随着桉树的相继种植, 土壤团聚体稳定性降低, 土壤在坡度流作用下易受侵

蚀。编号为 1[#], 2[#] 这两个主题位于第 IV 象限, 该象限代表主题向心性高密度低, 说明该主题“土壤有机碳”“土壤团聚体”与主题联系密切, 代表该领域核心内容, 但是发展还不成熟。

表 4 2008—2021 年土壤团聚体研究关键词突现信息

Table 4 Keywords emerging information of soil aggregate research from 2008 to 2021

关键词	突现强度	开始时间	结束时间	时间区间(2008—2021 年)
pasture	14.46	2008 年	2015 年	████████████████████
infiltration	12.47	2008 年	2011 年	████████████████████
cultivation	12.02	2008 年	2012 年	████████████████████
seal formation	8.59	2008 年	2010 年	████████████████████
corn	8.29	2008 年	2011 年	████████████████████
wettability	15.77	2009 年	2013 年	████████████████████
soil physical property	9.76	2010 年	2013 年	████████████████████
hydrophobicity	9.77	2011 年	2015 年	████████████████████
pine forest	9.13	2011 年	2013 年	████████████████████
state	8.53	2011 年	2013 年	████████████████████
bulk density	8.32	2011 年	2012 年	████████████████████
root growth	8.11	2011 年	2016 年	████████████████████
charcoal	9.78	2013 年	2017 年	████████████████████
spectroscopy	10.34	2016 年	2019 年	████████████████████
china	13.38	2017 年	2018 年	████████████████████
construction	8.71	2017 年	2021 年	████████████████████
temperate	8.56	2017 年	2021 年	████████████████████
bacterial community	8.65	2018 年	2021 年	████████████████████
use efficiency	8.14	2018 年	2021 年	████████████████████
vegetation restoration	11.47	2019 年	2021 年	████████████████████
long term fertilization	10.35	2019 年	2021 年	████████████████████
ecosystem service	10.15	2019 年	2021 年	████████████████████
aggregate associated carbon	9.71	2019 年	2021 年	████████████████████
conservation agriculture	9.59	2019 年	2021 年	████████████████████
soil health	8.25	2019 年	2021 年	████████████████████

表 5 2008—2021 年土壤团聚体研究土壤团聚体主题演变信息

Table 5 Study on soil aggregates-thematic evolution information of soil aggregates from 2008 to 2021

聚类编号	主题	关键词	向心性	密度
1 [#]	soil organic carbon (土壤有机碳)	soil organic carbon, aggregate stability, biochar, soil aggregate, soil aggregate stability, organic carbon, bulk density	1.55	8.64
2 [#]	soil aggregate (土壤团聚体)	soil aggregates, soil quality, tillage, no-tillage, microbial community, soil health, fertilization	1.44	8.77
3 [#]	soil organic matter (土壤有机质)	soil organic matter, soil aggregation, carbon sequestration, climate change, microbial biomass, soil carbon	1.55	8.64
4 [#]	soil structure (土壤结构)	soil structure, aggregation, organic matter, soil physical properties, soil fertility, earthworms	0.97	9.35
5 [#]	soil erosion (水土流失)	soil erosion, land use, soil properties, runoff, soil erodibility, soil texture, rainfall simulation, soil loss	0.98	8.43
6 [#]	Soil(土壤)	soil, aggregates, aggregate, microstructure, heavy metals, nitrogen	1.11	10.32
7 [#]	Glomalin(球囊霉素)	glomalin, arbuscular mycorrhizal fungi, glomalin-related soil protein, soil enzymes, biodiversity, fungi	0.60	8.32

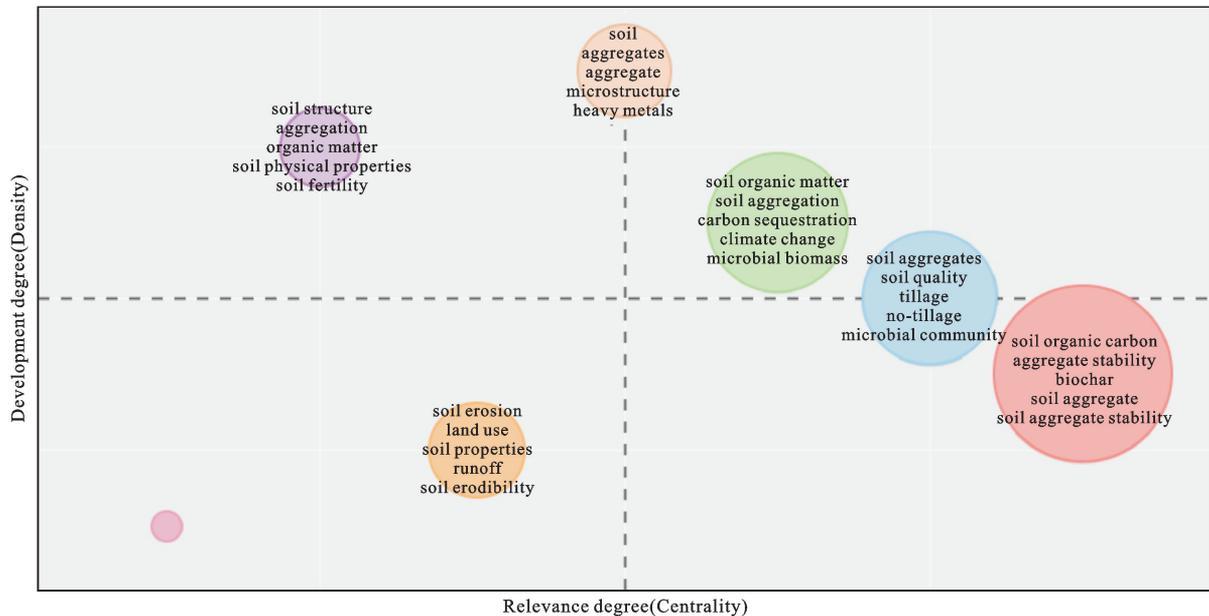


图 7 2008—2021 年全球土壤团聚体主题战略坐标图

Fig.7 Thematic strategic coordinates of global soil aggregates from 2008 to 2021

3 结论

本文对 2008—2021 年 WoS 收录的关于土壤团聚体研究的文献进行计量分析, 得出了全球范围内对土壤团聚体的研究和关注度总体呈递增趋势。从各个国家发文量来看, 土壤团聚体研究集中在亚洲和欧洲, 且中国和美国发文量最多。对土壤团聚体研究大多研究集中在高校和科研机构, *Geoderma* 和 *Soil & Tillage Research* 是刊载文献较多的期刊。“保护性农业”“生态系统服务”“土壤健康”“微生物群落”“碳”等关键词是近年来土壤团聚体共同研究的热点内容, 体现交叉学科研究的增加和中国环境意识的提高, 其中团聚体—有机质(碳)为该领域持续关注的核心主题。根据研究趋势图分析应加强对“水土流失”“球囊霉素”等边缘学科的研究。尽管当前土壤团聚体研究领域众多, 但是许多方面基础薄弱, 应加强土壤团聚体物理特性与微生物群落的研究; 有关土壤团聚体与有机质相互作用的机制需进一步深化。今后应更加注重探究土壤团聚体形成与有机质之间的相互作用, 为土壤团聚体领域提供研究思路 and 理论依据。

[参 考 文 献]

- [1] Bronick C J, Lal R. Soil structure and management: A review [J]. *Geoderma*, 2005, 124(1/2): 3-22.
- [2] 陈恩凤, 周礼恺, 武冠云. 微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评断土壤肥力水平中的意义[J]. *土壤学报*, 1994, 31(1): 18-25.
- [3] 王福慧, 周林燕, 胡汗, 等. 秦岭太白山不同植被带土壤团

聚体碳库变化及温度敏感性[J]. *生态学报*, 2022, 42(8): 3300-3314.

- [4] Six J, Paustian K, Elliott E T, et al. Soil structure and organic matter (I): Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon [J]. *Soil Science Society of America Journal*, 2000, 64(2): 681-689.
- [5] 何宇, 盛茂银, 王轲, 等. 土地利用变化对西南喀斯特土壤团聚体组成、稳定性以及 C、N、P 化学计量特征的影响[J]. *环境科学*, 2022, 43(7): 3752-3762.
- [6] 于子涵, 郑子成, 王永东, 等. 川西低山丘陵区植茶土壤团聚体矿质氮分布特征[J]. *水土保持学报*, 2022, 36(1): 263-267.
- [7] 谭学进, 穆兴民, 高鹏, 等. 黄土区植被恢复对土壤物理性质的影响[J]. *中国环境科学*, 2019, 39(2): 713-722.
- [8] Qiu Liping, Zhu Hansong, Liu Jiao, et al. Soil erosion significantly reduces organic carbon and nitrogen mineralization in a simulated experiment [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2021, 307: 107232.
- [9] Li Yong, Are K S, Qin Zhaohua, et al. Farmland size increase significantly accelerates road surface rill erosion and nutrient losses in southern subtropics of China [J]. *Soil and Tillage Research*, 2020, 204: 104689.
- [10] Wang Jinyue, Deng Yusong, Li Dianyun, et al. Soil aggregate stability and its response to overland flow in successive *Eucalyptus* plantations in subtropical China [J]. *Science of the Total Environment*, 2022, 807: 151000.
- [11] Wilpiszkeski R L, Aufrecht J A, Retterer S T, et al. Soil aggregate microbial communities: Towards understanding microbiome interactions at biologically relevant

- scales [J]. *Applied and Environmental Microbiology*, 2019, 85(14): e00324-e00319.
- [12] Gelaw A M, Singh B R, Lal R. Organic carbon and nitrogen associated with soil aggregates and particle sizes under different land uses in Tigray, Northern Ethiopia [J]. *Land Degradation & Development*, 2015, 26(7): 690-700.
- [13] 李娜, 韩晓增, 尤孟阳, 等. 土壤团聚体与微生物相互作用研究[J]. *生态环境学报*, 2013, 22(9): 1625-1632.
- [14] 李景, 吴会军, 武雪萍, 等. 长期不同耕作措施对土壤团聚体特征及微生物多样性的影响[J]. *应用生态学报*, 2014, 25(8): 2341-2348.
- [15] 史方颖, 张风宝, 杨明义. 基于文献计量分析的土壤有机碳矿化研究进展与热点[J]. *土壤学报*, 2022, 59(2): 381-392.
- [16] van Eck N J, Waltman L. Software survey: VOS viewer, a computer program for bibliometric mapping [J]. *Scientometrics*, 2010, 84(2): 523-538.
- [17] Wang Duomin, Huangfu Yubin, Dong Zuoji, et al. Research hotspots and evolution trends of carbon neutrality: Visual analysis of bibliometrics based on CiteSpace [J]. *Sustainability*, 2022, 14(3): 1078.
- [18] 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.
- [19] 郝晓蓓, 汪旭, 薛梦婷, 等. 基于 CiteSpace 分析我国 2011 年—2021 年中医食疗研究热点及趋势[J]. *护理研究*, 2021, 35(22): 4005-4011.
- [20] Law J, Bauin S, Courtial J P, et al. Policy and the mapping of scientific change: A co-word analysis of research into environmental acidification [J]. *Scientometrics*, 1988, 14(3): 251-264.
- [21] 勾芒芒, 屈忠义, 杨晓, 等. 生物炭对砂壤土节水保肥及番茄产量的影响研究[J]. *农业机械学报*, 2014, 45(1): 137-142.
- [22] 周静舫, 谢笔钧. 基于文献计量学的国内外魔芋研究进展分析[J]. *食品科学技术学报*, 2020, 38(5): 91-99.
- [23] 张宇婷, 肖海兵, 聂小东, 等. 基于文献计量分析的近 30 年国内外土壤侵蚀研究进展[J]. *土壤学报*, 2020, 57(4): 797-810.
- [24] Feng Haojie, Wang Shunyi, Gao Zideng, et al. Aggregate stability and organic carbon stock under different land uses integrally regulated by binding agents and chemical properties in saline-sodic soils [J]. *Land Degradation & Development*, 2021, 32(15): 4151-4161.
- [25] Xiao Lumei, Zhang Wei, Hu Peilei, et al. The formation of large macroaggregates induces soil organic carbon sequestration in short-term cropland restoration in a typical karst area [J]. *Science of the Total Environment*, 2021, 801: 149588.
- [26] Buthelezi K, Buthelezi-Dube N. Effects of long-term (70 years) nitrogen fertilization and liming on carbon storage in water-stable aggregates of a semi-arid grassland soil [J]. *Heliyon*, 2021, 8(1): e08690.
- [27] 张婷婷, 何丹, 封硕, 等. 全球保护地管理研究现状与趋势: 基于文献计量分析[J]. *林业经济*, 2021, 43(2): 35-59.
- [28] 李杰, 蔡彬清, 许璐. 基于 CiteSpace 的我国网络安全研究态势分析[J]. *福建工程学院学报*, 2018, 16(2): 174-178.
- [29] Wang Zhiping, Han Xingguo, Chang S X, et al. Soil organic and inorganic carbon contents under various land uses across a transect of continental steppes in Inner Mongolia [J]. *Catena*, 2013, 109: 110-117.
- [30] Zeng M, Liu J, Chen Y, et al. The effects of shallow flooding on carbon mineralization in a paddy soil: Constraints observed with the addition of straw [J]. *Applied Soil Ecology*, 2022, 170: 104249.
- [31] Chen Wenfu, Meng Jun, Han Xiaori, et al. Past, present, and future of biochar [J]. *Biochar*, 2019, 1(1): 75-87.
- [32] Six J, Feller C, Denef K, et al. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils—effects of no-tillage [J]. *Agronomie*, 2002, 22(7/8): 755-775.
- [33] 杨颖, 崔雷. 基于共词分析的学科结构可视化表达方法的探讨[J]. *现代情报*, 2011, 31(1): 91-96.
- [34] Rillig M C. Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation [J]. *Canadian Journal of Soil Science*, 2004, 84(4): 355-363.