

基于 CiteSpace 的草原碳汇研究的知识图谱分析

高玉娟¹, 石娇^{1*}, 李新¹

(1. 东北林业大学, 黑龙江 哈尔滨 150000)

摘要:【目的】为全面深入了解草原碳汇相关研究在全球的现状和发展趋势, 客观反映相关研究国家、机构、期刊、研究者的科研动向和影响力, 【方法】采用 Web of Science 核心合集数据库中 2010-2019 年收录的有关草原碳汇研究的相关文献, 基于 CiteSpace 软件进行可视化分析。【结果】表明: 关于草原碳汇全球发文量, 中国居榜首, 美国和德国其次, 国际合作方面, 英国贡献最大, 其他国家需加强合作和成果分享。发文量最多的机构为中国科学院, 远超其他机构。《Global Change Biology》期刊在被引次数方面优势明显, 在学术界有较大影响力。国外学者 Butterbach-Bahl K 发表相关文献数量最多, 为领域作出较大贡献, 其他作者之间合作强度还需加强。【结论】综合分析热点和前沿, 提出了需加强对草原碳平衡的综合评估, 丰富研究方法, 扩大研究内容。

关键词: 草原碳汇; 发展趋势; Web of Science; CiteSpace;

现如今, 全球变暖问题加剧, 使得草原碳汇的生态、经济、社会价值受到了越来越多的关注(马军等, 2017), 草原碳汇是指草原植物吸收大气中的二氧化碳并将其固定在植被或土壤中, 从而减少该气体在大气中的浓度(张文娟等, 2016)。草地地上部分和地下部分总的碳储量约占全球陆地生态系统的1/3(Schuman G 等, 2002), 仅次于森林生态系统。根据数据显示, 草地生态系统近93%的碳储存在土壤中, 这样草地生态系统作为碳汇具有更高的稳定性(魏斌等, 2012)。全球草地资源丰富, 天然草地面积广阔, 具有重要的碳汇价值。但是就目前的相关研究来看, 国际上相比于林业碳汇的研究, 草原碳汇的功能一直没有受到重视, 此类研究还很少。为了利用好草原这一碳汇资源, 充分了解目前国际上对草原碳汇研究的现状及发展趋势, 本研究运用可视化方法, 针对草原碳汇相关文献的发表国家、作者、被引期刊、机构、关键词等进行系统分析, 并绘制知识图谱, 从中有效得出目前国际上对草原碳汇的研究现状及发展趋势, 为未来草原碳汇的研究和发展提供一些参考和借鉴。

1 材料与方法

1.1 研究方法

本研究所运用的软件为 CiteSpace, 该软件是美国德雷克塞尔大学陈超美博士开发的基于 JAVA 平台的信息可视化分析工具, 是一款着眼于分析科学文献中蕴含的潜在知识, 并在科学计量学数据和信息可视化背景下逐渐发展起来的一款多元、分时、动态的引文可视化分析软件(李杰等, 2017), 该软件通过对文献信息进行科学的分析寻找某一学科领域的研究热点, 并以可视化方式呈现(张灿灿等, 2018), 被广泛应用于文献期刊和作者之间的共被引关系。本研究通过 CiteSpace 软件在 web of science 核心合集数据库搜索到关于草原碳汇的相关文献, 然后运用软件内置的作者、关键词以及机构等分析运算模型, 对样本数据进行共现、共引分析, 并绘制出草原碳汇领域的知识图谱, 对其研究动态、发展进程等进行可视化分析, 以此来确定草原碳汇相关研究的学术热点, 以期今后相关研究提供新的思路和参考。

1.2 数据来源

为了对草原碳汇发展领域进行比较系统客观的分析, 以 Web of Science 核心合集数据库为数据来源, 以“grassland/steppe/prairie carbon sink”为主题搜索从 2010-2019 年的文献, 检索时间为 2019 年 12 月 18 日, 经过筛选后, 共检索出 694 篇文献, 作为本研究的分析样本, 通过对文献发表国家、发表作者、被引期刊、关键词等进行统计分析, 绘制知识图谱, 能够清晰地反映出当前草原碳汇的研究重点, 能够科学地阐释草

基金项目: 黑龙江省社会科学基金(17GLH02)资助

作者简介: 高玉娟(1969-), 女, 黑龙江庆安人, 教授, 博士。Email: gaoyujuan@nefu.edu.cn

* 通信作者 Corresponding author. Email: 1309480449@qq.com

原碳汇领域研究的热点和发展趋势。

2 数据结果分析

2.1 国家合作分析

罗列出部分发文量较多的国家,可以看出,中国(China)、美国(USA)、德国(Germany)3个国家对草原碳汇相关研究较多,中国从2010-2019年共发表草原碳汇相关文献249篇,美国发表226篇,德国发表100篇(表1)。相对来看,其他国家在草原碳汇方面的研究还相对较少。就中心性来看,英国、法国、美国的中心性较高,合作程度较高。

表1 各个国家发表文献数量

Tab. 1 Number of documents published by each country

频次 Frequency	中心性 Centrality	国家 Country	频次 Frequency	中心性 Centrality	国家 Country
249	0.00	中国 China	37	0.19	法国 France
226	0.17	美国 USA	30	0.04	意大利 Italy
100	0.15	德国 Germany	26	0.01	日本 Japan
49	0.03	澳大利亚 Australia	25	0.04	苏格兰 Scotland
42	0.05	加拿大 Canada	22	0.01	新西兰 New Zealand
41	0.45	英国 England	21	0.02	俄罗斯 Russia
38	0.07	瑞士 Switzerland			

2.2 被引期刊分析

学术期刊是发表学术成果的平台,是学者研究一个领域发展的重要工具和载体。期刊的共被引分析可以帮助研究者理解该领域的研究都引用了哪些期刊,这些期刊之间的联系是怎样的。通过被引期刊共现图谱的分析和期刊被引用次数的统计,被引用次数最多的期刊是《Global Change Biology》,共被引用589次,说明此期刊在学术界影响力很大,为草原碳汇领域提供了重要的知识来源分布,中心性较大,说明与其他期刊联系较紧密。其次期刊《Nature》被引用444次,期刊《Science》、《Agriculture Ecosystems & Environment》、《Soil Biology & Biochemistry》、《Plant And Soil》,分别被引用389、347、345、336。其余期刊出现次数也较多,但多数期刊中心性较小,期刊之间的联系不够紧密。

表2 出现频次数>250的期刊

Tab. 2 Journals with frequency >250

频次 Frequency	中心性 Centrality	被引期刊 Cited journals	频次 Frequency	中心性 Centrality	被引期刊 Cited journals
589	0.10	Global Change Biology	328	0.05	Global Biogeochemical Cycles
444	0.11	Nature	320	0.09	Ecological Applications
389	0.03	Science	314	0.05	Biogeosciences
347	0.06	Agriculture Ecosystems & Environment	282	0.05	Biogeochemistry
345	0.04	Soil Biology & Biochemistry	272	0.03	Ecosystems
336	0.05	Plant And Soil	267	0.11	Soil Science Society of America Journal
333	0.12	Agricultural And Forest Meteorology	263	0.09	Ecology

2.3 机构共现分析

国际上草原碳汇发表文献机构领域共现图谱(图 1), 其中每个节点代表一个机构, 节点大小表示机构发表论文的数量, 节点越大, 该机构发表论文越多, 节点之间的连线代表机构之间存在合作关系, 连线的粗细表示机构间合作关系的强弱(蔡文伯等, 2014)。在 2010-2019 年, 中国科学院(Chinese Academy of Science)这个机构是出现频次最多的机构, 共出现 169 次, 出现频次远超过其他机构, 这个节点外部有紫色外圈表示有高的中介中心性, 中心性 0.87 (图 1 和表 3)。出现频次第二的机构是中国科学院大学(University of Chinese Academy of Science), 出现频次 52 次, 其余机构出现频次都少于 20 次, 可见机构之间差异性较大。

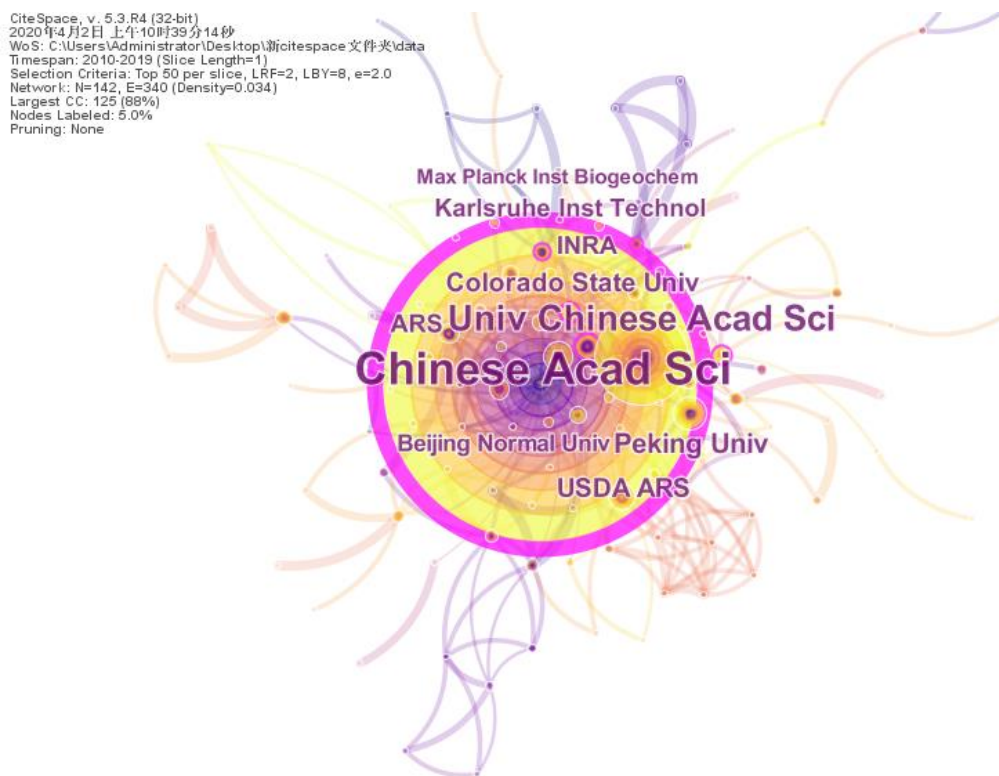


图 1 机构共现知识图谱

Fig. 1 Organizational knowledge map

注: 左上角文字: CiteSpace, v. 5.3.R4(32-bit); 2020 年 4 月 2 日上午 10 时 39 分 14 秒; WoS: C:\Users\Administrator\Desktop\新 CiteSpace 文件夹\data; Timespan: 2010-2019(Slice Length=1); Selection Criteria: Top50 per slice, LRF=2, LBY=8, e=2.0; Network: N=142, E=340(Density=0.034); Largest C C: 125(88%); Nodes Labeled: 5.0%; Pruning: None.

Max Planck Inst Biogeochem: 马克思·普朗克生物地球化学研究所 Max Planck institute for biogeochemistry; Karlsruhe Inst Technol: 卡尔斯鲁厄技术学院 Karlsruhe institute of technology; INRA: 法国农业科学研究院 French national institute for agricultural research; Colorado State Univ: 科罗拉多州立大学 Colorado state university; Univ Chinese Acad Sci: 中国科学院大学 University of Chinese academy science; ARS: 农业研究局 Agricultural research service; Chinese Acad Sci: 中国科学院 Chinese academy of science; Beijing Normal Univ: 北京师范大学 Beijing normal university; Peking Univ: 北京大学 Peking university; USDA ARS: 美国农业部农业研究所 U.S department of agricultural research service.

表 3 出现频次数 >9 的机构

Tab. 3 Organizational with frequency >9

频次 Frequency	中心性 Centrality	机构 Organizational	起始 年 Year
169	0.87	中国科学院 Chinese Academy of Science	2010

52	0.10	中国科学院大学 University of Chinese Academy Science	2013
19	0.08	北京大学 Peking University	2010
17	0.09	科罗拉多州立大学 Colorado State University	2011
16	0.07	美国农业部农业研究所 U.S Department of Agricultural Research Service	2010
14	0.11	法国农业科学研究院 French National Institute for Agricultural Research(INRA)	2010
13	0.07	农业研究局 Agricultural Research Service	2011
13	0.10	卡尔斯鲁厄技术学院 Karlsruhe Institute of Technology	2010
12	0.06	加州大学伯克利分校 University of California Berkeley	2012
12	0.11	因斯布鲁克大学 University of Innsbruck	2015
11	0.03	伊利诺斯州大学 University of Illinois	2011
11	0.04	北京师范大学 Beijing Normal University	2011
10	0.02	密歇根州立大学 Michigan State University	2011

2.4 作者合作分析

据统计，2010-2019 年，在 Web of Science 核心合集数据库中发表过草原碳汇相关论文的作者共有 217 位，作者合作共现图谱主要以 Butterbach-Bahl K、Zhang L、Smith P、Yu G R 等几位作者为核心分布(图 2)。

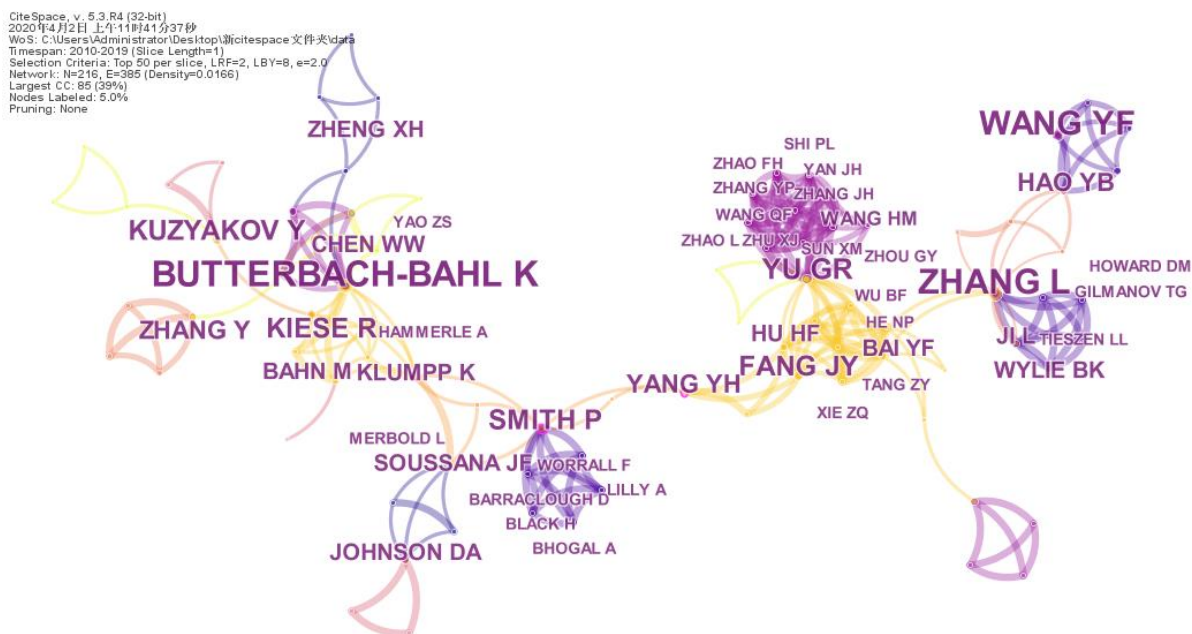


图 2 作者共现知识图谱

Fig. 2 Author knowledge map

注: 左上角文字: CiteSpace, v. 5.3.R4(32-bit); 2020 年 4 月 2 日上午 11 时 41 分 37 秒; WoS: C:\Users\Administrator\Desktop\新 CiteSpace 文件夹\data; Timespan: 2010-2019(Slice Length=1); Selection Criteria: Top50 per slice, LRF=2, LBY=8, e=2.0; Network: N=216, E=385(Density=0.0166); Largest C C: 85(39%); Nodes Labeled: 5.0%; Pruning: None.

列举出一部分发表论文较多的作者，其中，发表论文最多的作者是 Butterbach-Bahl K，发表论文 11 篇，其次 Zhang L 发表论文 10 篇，Wang Y F 发表论文 9 篇，Yu G R 发表论文 7 篇，Kuzyakov Y, Kiese R, Smith P, Fang J Y 发表论文 6 篇，其余作者发表论文数量均在 5 篇及以下(表 4)。

表 4 作者发表文章数量

Tab. 4 Number of articles published by the author

频次 Frequency	中心性 Centrality	作者 Author	起始 年 Year	频次 Frequency	中心性 Centrality	作者 Author	起始 年 Year
11	0.09	Butterbach-Bahl K	2010	5	0.03	Hao Y B	2011
10	0.08	Zhang L	2011	5	0.02	Zhang Y	2016
9	0.00	Wang Y F	2011	5	0.00	Scott R L	2010
7	0.08	Yu G R	2013	5	0.00	Chapman P J	2018
6	0.03	Kuzyakov Y	2015	5	0.00	Hamerlynck E P	2013
6	0.04	Kiese R	2013	5	0.15	Yang Y H	2017
6	0.17	Smith P	2011	5	0.00	Chen J Q	2011
6	0.07	Fang J Y	2012				

2.5 研究热点分析

对 Web of Science 核心合集数据库中近 10 年草原碳汇的文献中的关键词进行梳理分析，探索近 10 年中各国学者对草原碳汇领域的研究热点和研究趋势，研究热点是指某一时间段内，有内在联系的数量相对较多的学者共同关注探讨的问题和专题。而关键词通常是对文章核心内容的高度提炼和概括，是文章的核心和精华，体现文章的研究价值和研究方向，常常通过分析出现频次高的关键词来确定当前研究领域的热点及趋势（刘战豫等，2018）。同时，对关键词之间的关联性进行统计分析，有利于寻找和发现该领域的基础知识之间的联系。本研究通过分析近 10 年草原碳汇领域的 694 篇文献的关键词，在 Node Types 选择“Keyword”，绘制出研究热点知识图谱，图中共有 194 个网络节点，289 个连接。关键词由节点表示，关键词出现的次数越多节点越大，表示越受学者们的关注，说明它就是研究的热点和趋势。图 3 中所显示出的方块是由分析样本中的关键词组成，方块的大小对应关键词出现的次数。方块越大，就证明其所代表的关键词出现的频次越多，图中草原(grassland)、气候变化(climate change)等词的方块体积大，代表其出现频次高；关键词字体越大，代表其分析样本中的中心性越高（甘永涛，2015），关键词的中心性越高，它所掌握的关键词之间的信息流越多。

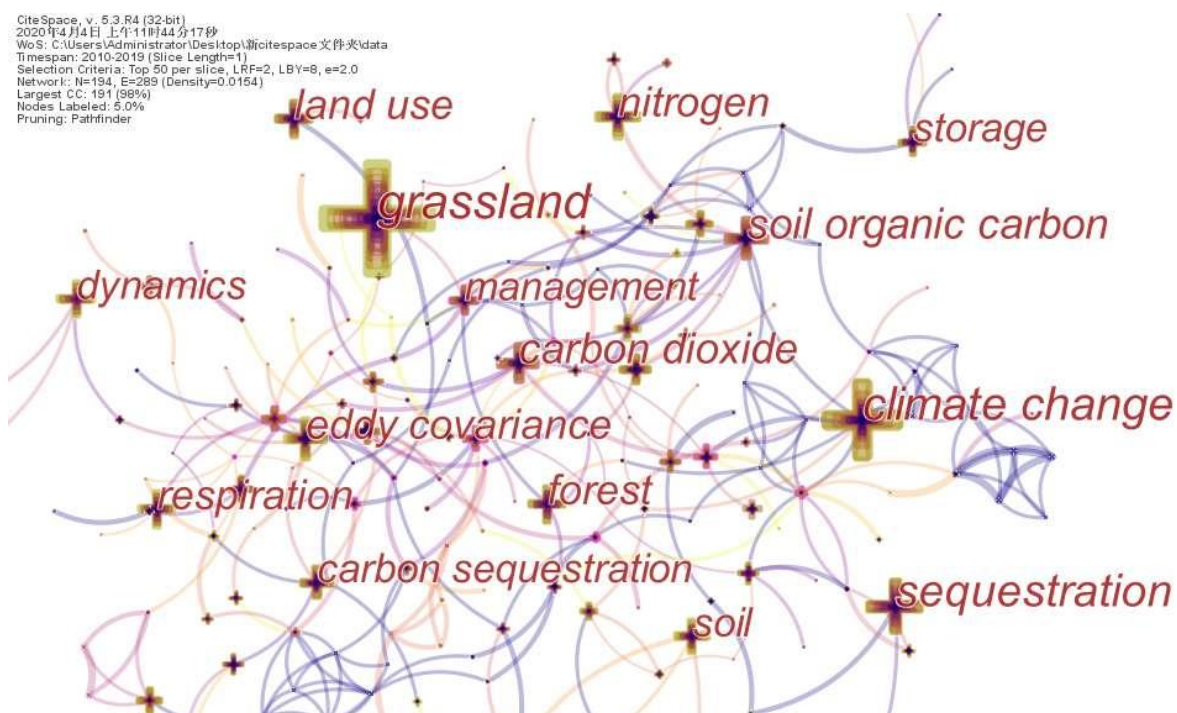


图 3 关键词共现知识图谱

Fig. 3 Key words knowledge map

注: 左上角文字: CiteSpace, v. 5.3.R4(32-bit); 2020年4月4日上午11时44分17秒; WoS: C:\Users\Administrator\Desktop\新 CiteSpace 文件夹\data; Timespan: 2010-2019(Slice Length=1); Selection Criteria: Top50 per slice, LRF=2, LBY=8, e=2.0; Network: N=194, E=289(Density=0.0154); Largest C C: 191(98%); Nodes Labeled: 5.0%; Pruning: Pathfinder.

Land use: 土地利用; Nitrogen: 氮; Storage: 储存; Grassland: 草原; Soil organic carbon: 土壤有机碳; Dynamics: 动态; Management: 管理; Carbon dioxide: 二氧化碳; Climate change: 气候变化; Eddy covariance: 涡度相关; Respiration: 呼吸作用; Forest: 森林; Carbon sequestration: 碳固存; Sequestration: 固存; Soil: 土壤.

表 5 出现频次数 > 59 的关键词

Table 5 Key words with frequency > 59

频次 Frequency	中心性 Centrality	关键词 Key words	频次 Frequency	中心性 Centrality	关键词 Key words
179	0.04	草原 Grassland	73	0.05	土地利用 Land use
133	0.07	气候变化 Climate change	70	0.04	森林 Forest
105	0.05	固存 Sequestration	67	0.02	动态 Dynamics
83	0.06	土壤有机碳 Soil organic carbon	66	0.05	土壤 Soil
81	0.08	二氧化碳 Carbon dioxide	61	0.03	碳固存 Carbon sequestration
78	0.04	氮 Nitrogen	60	0.09	储存 Storage
77	0.12	涡度相关 Eddy covariance	60	0.02	管理 Management
74	0.08	呼吸作用 Respiration			

从统计表中摘出出现频次 60 次以上的一些关键词,可以看出草原(grassland)这个关键词出现频次最多,共出现 179 次,气候变化(climate change)出现频次 133 次,固存(sequestration)出现频次 105 次,其他词出现频次均在 100 次以下(表 5)。近 10 年来,各国学者研究草原碳汇领域主要的热点是草原,气候变化,固存,土壤有机碳,二氧化碳等等(图 3 和表 5)。

2.6 研究前沿

通过对研究前沿领域的探究,有助于把握学科领域未来的研究趋势。突现词(burst terms)是指在较短时间内出现频次变化较大的词汇(张洪等,2017)。CiteSpace 所提供的突现词探测功能,可以通过从大量文献主题词中提炼出突现词,从而清晰地展示出某一学科的研究前沿和发展趋势(王金伟等,2019)。草原碳汇研究的主要突现词图谱,包括突现词、突现强度、起止时间等信息(图 4)。可以发现,草原碳汇研究有宏观层面,也有微观层面、总体呈现出从单一到多元化的趋势。

Top 26 Keywords with the Strongest Citation Bursts

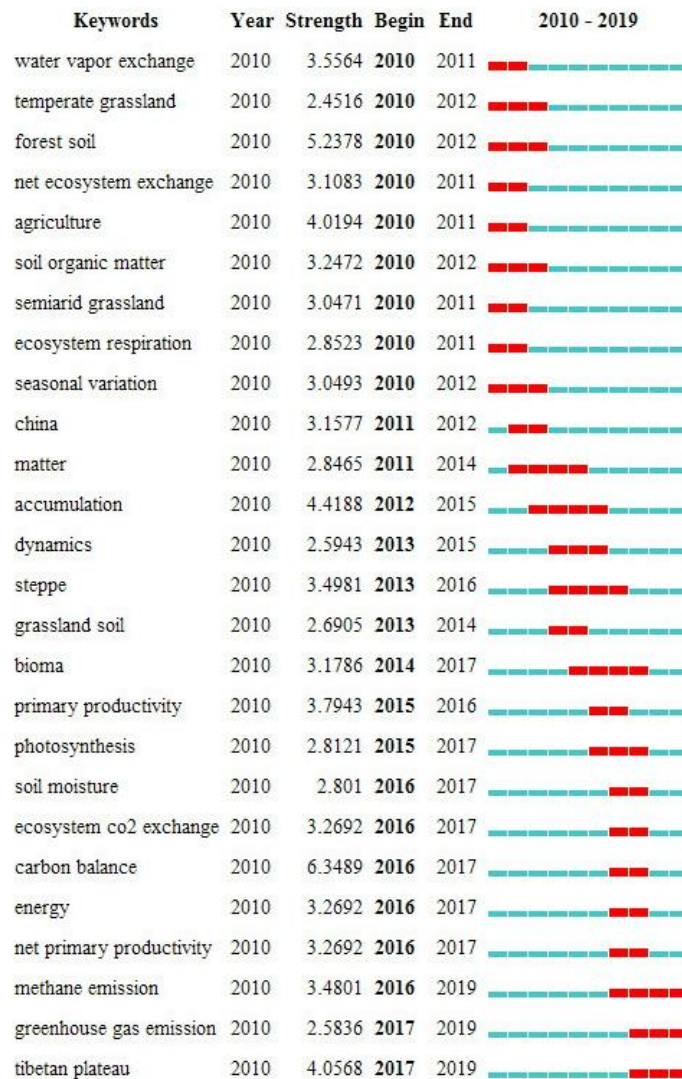


图 4 突现词图谱

Fig. 4 Burst terms knowledge map

注: Water vapor exchange: 水汽交换; Temperate grassland: 温带草原; Forest soil: 林地; Net ecosystem exchange: 净生态系统碳交换; Agriculture: 农业; Soil organic matter: 土壤有机物质; Semiarid grassland: 半干旱草原; Ecosystem respiration: 生态系统呼吸; Seasonal variation: 季节变化; China: 中国; Matter: 物质; Accumulation: 堆积物; Dynamics: 动态; Steppe: 大草原; Grassland soil: 草地土壤; Bioma: 生物质; Primary productivity: 初级生产力; Photosynthesis: 光和作用; Soil moisture: 土壤水分; Ecosystem CO₂ exchange: 生态系统 CO₂ 交换; Carbon balance: 碳平衡; Energy: 能量; Net primary productivity: 净初级生产力; Methane emission: 甲烷排放; Greenhouse gas emission: 温室气体排放; Tibetan Plateau: 青藏高原。

从突现强度来看，碳平衡(carbon balance)的突现强度最大，高达 6.3489，可以看出该词是草原碳汇研究发展的重要方面，受到学者们的广泛关注，成为具有影响力的研究前沿。同时，林地(forest soil)、农业(agriculture)与堆积物(accumulation)的突现强度也很高，分别为 5.2378、4.0194 和 4.4188，是草原碳汇研究领域的重要研究热点。

从突现持续时间来看，物质(matter)、堆积物(accumulation)、大草原(steppe)、生物质(bioma)、甲烷排放(methane emission)是相较于其他突现词持续时间最长的研究热点领域，同时，甲烷排放(methane emission)、温室气体排放(greenhouse gas emission)、青藏高原(Tibetan Plateau)这几个突现词是延续至今的研究热点词，成为目前最新的研究热点前沿领域。

此外，通过对最新发表文献的研读，可以发现草原土壤，碳汇功能，协同发展等也是现如今研究较多

的前沿领域。

3 讨论

从文献发表的国家来看,近 10 年文献高产的国家有中国、美国和德国,其他国家相比较少,可见这几个国家学者对草原碳汇的研究比较重视,相关研究较多,而其他国家发文数量相对较少,对草原碳汇方面研究较少。

从作者合作分析中可以看出,研究草原碳汇领域的作者还较少,大众对草原碳汇的认知度不高,对草原碳汇的研究还不够重视,发文数量和质量也是参差不齐,部分作者显示的中心性较低,作者与作者之间的合作强度还有待提高。

从发文机构中可以看出,中国科学院(Chinese Academy of Science)发文数量远超其他机构,中心性较高,可见该机构很受作者们欢迎,与其他机构合作密切,比较重视草原碳汇领域的相关研究,在推动草原碳汇研究的发展过程中扮演着重要的角色。而其他机构发文数量参差不齐,机构之间的差异性还有待改善,合作程度还有待加强。

从被引期刊分析中可以看出,期刊《Global Change Biology》被引用次数最多,说明此期刊在学术界影响力较大。总体来看草原碳汇研究领域内期刊分布数量较多且期刊被引次数普遍较多,可见这些期刊受作者关注度较高且在学术界有很大的影响力。

从研究热点上来看,目前研究的热点主要集中在:草原、气候变化、土壤有机碳等方面,草原是陆地生态系统的主体和重要的生态屏障,具有防风固沙,涵养水土,降低大气温室气体浓度,缓解气候变暖等重要作用。随着经济的飞速发展,重工业的迅速崛起,二氧化碳的排放量也与日俱增。草原是非常重要的碳储存库,它们能够持续的封存碳,具有很大的碳汇潜力。草原对不断升高的温度,干旱和火灾的抵御能力,以及碳在地下汇聚区的优先储运,有助于保存被隔离的陆地碳并防止其重新进入大气层(Pawlok D 等, 2018)。草原对气候变化的适应性将是可变的,生产力可能增加或减少,土壤碳存储量也可能增加或减少(O'Mara F P 等, 2012)。这意味着在气候变暖的情况下,植被和土壤水分流失将极大地破坏湿地的碳汇能力。因此,本研究建议进行湿地水文管理,恢复植被,保护植物物种,调节放牧活动以及其他人为活动,以稳定湿地的碳汇能力(Alhassan A M 等, 2018)。

土壤有机碳在全球碳预算中扮演着重要角色,并且可以充当大气碳的来源或汇,从而可能影响气候变化的进程(Martin M P 等, 2011)。可以通过测量土壤有机碳储量的变化直接确定草原的碳固存,而通过测量碳通量的净平衡可以间接确定草原的碳固存(Soussana J F 等, 2010)。一般而言,放牧减少了植被碳库,随着长期放牧,土壤碳显著增加 17%,而没有放牧的土壤碳储量呈现稳定趋势。这些发现对草原生态系统的管理具有重要意义(Han Q F 等, 2014)。

总体来看,草原碳汇领域的研究热点还较少,内容与范围也较狭窄。研究内容主要集中在草原碳汇对气候变化的影响研究,以及对草原碳汇固存方面的研究,对于草原碳库的储量估计,还没有统一,不同的学者运用不同的方法得出的结果也不同,缺乏对草原碳平衡的综合评估。从研究前沿上来看,目前持续至今的研究前沿较少,且持续时间较短,范围也较单一。

4 结论与展望

本研究运用 CiteSpace 软件,以 Web of Science 核心合集数据库为来源总结了 2010-2019 年的草原碳汇的相关文献,对草原碳汇文献的发布国家,作者,被引期刊,机构,关键词等进行系统分析,并绘制知识图谱,通过研究得出以下结论:

1)除中国、美国和德国外,其他国家对于草原碳汇研究还较少,发文作者之间、被引期刊之间、机构之间差异性较大,各国学术作者应重视草原碳汇的研究,国家、作者、被引期刊、机构之间还应加强合作,积极推进草原碳汇领域的研究进程。

2)草原碳汇领域的研究热点和前沿还较少,内容和范围也较狭窄,未来各国学者应广泛关注草原碳汇的相关研究,在目前的研究基础上拓展草原碳汇领域的研究内容与范围,加强草原的碳排放核算,探索草原碳汇功能,补偿机制,碳汇交易等方面的研究,丰富和创新研究方法,推动科研成果的创新,推进草原碳汇领域的发展。

参 考 文 献

- 马军, 马晓洁. 基于社会网络分析的草原碳汇协同管理研究-以内蒙古地区调查数据为例. 干旱区资源与环境, 2017, 31(10): 138-143.
- (Ma J, Ma X J. Research on cooperative management of grassland carbon sequestration based on social network analysis: A case of Inner Mongolia. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(10): 138-143. [in Chinese])
- 张文娟, 哈斯巴根. 农牧民参与草原碳汇项目意愿的影响因素分析-以锡林郭勒草原牧区调查数据为例. 干旱区资源与环境, 2016, 30(6): 19-24.
- (Zhang W J, Hasbagen. Factors influencing the farmers and herdsman household's willingness to participate in the grassland carbon sink project: Based on the survey of farmers and herdsman in the Xilin Gol Grassland Inner Mongolia. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2016, 30(6): 19-24. [in Chinese])
- Schuman G, Janzen H, Herrick J. Soil carbon dynamics and potential carbon sequestration by rangelands. Environmental Pollution, 2002, 116(3): 391-396.
- 魏斌, 张灵菲, 葛庆征, 等. 低碳农业研究进展. 草业科学, 2012, 29(4): 528-533.
- (Wei B, Zhang L F, Ge Q Z, *et al.* Advances on research of low-carbon agriculture. Pratacultural Science, 2012, 29(4): 528-533. [in Chinese])
- 李杰, 陈超美. CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化(第二版). 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2017: 2-8.
- (Li J, Chen C M. CiteSpace: Text mining and visualization in scientific literature (Second edition). Beijing: Capital Economic and Trade University Press, 2017: 2-8. [in Chinese])
- 张灿灿, 孙才志. 基于 CiteSpace 的水足迹文献计量分析. 生态学报, 2018, 38(11): 4064-4076.
- (Zhang C C, Sun C Z. A CiteSpace-based bibliometric analysis of water footprint. Acta Ecologica Sinica, 2018, 38(11): 4064-4076. [in Chinese])
- 蔡文伯, 马瑜. 21 世纪以来我国教育经济学研究现状的计量分析. 教育与经济, 2014, 118(2): 15-20,33.
- (Cai W B, Ma Y. The econometric analysis on the research status of economics of education in china since the twenty-first century. Education & Economy, 2014, 118(2): 15-20,33. [in Chinese])
- 刘战豫, 孙夏令. 基于 CiteSpace 的供给侧结构性改革研究进展与热点分析. 资源开发与市场, 2018, 34(7): 956-961,929.
- (Liu Z Y, Sun X L. Research Status and Hotspots of Supply-side Reform Based on CiteSpace. Resource Development & Market, 2018, 34(7): 956-961,929. [in Chinese])
- 甘永涛. 1928-2013 年中国民族教育研究之演化-基于科学知识图谱的实证分析. 西北师大学报(社会科学版), 2015, 52(2): 82-87.
- (Gan Y T. The evolution of Chinese ethnic education research in 1928-2013: based on an empirical analysis by method of mapping knowledge domains. Journal of Northwest Normal University (Social Sciences), 2015, 52(2): 82-87. [in Chinese])
- 张洪, 孙雨茜, 司家慧. 基于知识图谱法的国际生态旅游研究分析. 自然资源学报, 2017, 32(2): 342-352.
- (Zhang H, Sun Y X, Si J H. Analyses of international ecological tourism research based on domain knowledge mapping. Journal of Natural Resources, 2017, 32(2): 342-352. [in Chinese])
- 王金伟, 张赛茵, 秦静, 等. 京津冀研究的热点与前沿-基于 CiteSpace 的知识图谱分析. 中国农业资源与区划, 2019, 40(6): 106-113.
- (Wang J W, Zhang S Y, Qin J, *et al.* Knowledge mapping of Beijing-Tianjin-Hebei research in china: a visual analysis using CiteSpace. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(6): 106-113. [in Chinese])

- Pawlok D, Benjamin Z H, Wang Y P, *et al.* Grasslands may be more reliable carbon sinks than forests in California. *Environmental Research Letters*, 2018, 13(7).
- O'Mara F P. The role of grasslands in food security and climate change. *Annals of Botany*, 2012, 110(6): 1263–1270.
- Alhassan A M, Ma W W, Li G, *et al.* Response of soil organic carbon to vegetation degradation along a moisture gradient in a wet meadow on the Qinghai–Tibet Plateau. *Ecology and Evolution*, 2018, 8(23): 11999-12010.
- Martin M P, Wattenbach M. Spatial distribution of soil organic carbon stocks in France. *Biogeosciences*, 2011, 8(5): 1053-1065.
- Soussana J F, Tallec T. Mitigating the greenhouse gas balance of ruminant production systems through carbon sequestration in grasslands. *Animal*, 2010, 4(3): 334-350.
- Han Q F, Luo G P, Li C F. Modeling the grazing effect on dry grassland carbon cycling with biome-BGC model. *Ecological Complexity*, 2014, 17: 149-157.