



王鹏飞, 王英, 刘自广, 何鑫森, 王佳丽. 农业碳排放研究进展及热点可视化分析——基于CNKI和WOS数据库[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(8): 269-284.  
WANG Pengfei, WANG Ying, LIU Ziguang, HE Xinmiao, WANG Jiali. Advances in agricultural carbon emission research and visualization analysis of hotspots:  
Based on the CNKI and WOS databases[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(8): 269-284.  
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.08.22

## 农业碳排放研究进展及热点可视化分析 ——基于CNKI和WOS数据库

王鹏飞<sup>1</sup> 王英<sup>1,2\*</sup> 刘自广<sup>1</sup> 何鑫森<sup>1</sup> 王佳丽<sup>1</sup>

(1. 东北农业大学 工程学院, 哈尔滨 150030;  
2. 农业农村部种养殖结合重点实验室, 哈尔滨 150086)

**摘要** 为明确当前农业碳排放发展现状和研究前沿, 整理并筛选了2010—2023年CNKI数据库和Web of Science核心合集收录的农业碳排放相关文献, 并应用CiteSpace和VOSviewer分析软件对农业碳排放相关文献进行对比分析与可视化呈现。结果表明: 1) 2010—2023年, 国内该领域发文量呈上升趋势, 2016年后发文量显著增加; 虽然中国作者发表文献量少于国外作者, 但近年来发展迅速, 国际影响力逐步提高。2) 中国农业碳排放研究已经形成相对稳定的团队, 分别在农业经济关系、协同减排方式、生物炭等领域开展了大量研究, 但中国与其他国家研究团队联系相对较少, 仍需要进一步加强。3) 国内外发文最多机构均为中国高校, 中国科学院、中国农业大学与华中农业大学对中国农业碳排放发展做出积极贡献。4) 中国被引次数最高的文献是《中国农业碳排放时空特征及影响因素分解》, 国际共被引最多的文献是Greenhouse gas mitigation in agriculture。5) 农业碳排放测算、农业碳减排相关方法与政策研究依然是当今热门研究方向, 除此之外, 经济发展与农业碳排放相互关系研究逐渐成为当前热点。

**关键词** 农业碳排放; 文献计量; CiteSpace; 共现分析; 研究热点

中图分类号 G353.11; S-9 文章编号 1007-4333(2024)08-0269-16 文献标志码 A

## Advances in agricultural carbon emission research and visualization analysis of hotspots: Based on the CNKI and WOS databases

WANG Pengfei<sup>1</sup>, WANG Ying<sup>1,2\*</sup>, LIU Ziguang<sup>1</sup>, HE Xinmiao<sup>1</sup>, WANG Jiali<sup>1</sup>

(1. College of Engineering, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China;  
2. Laboratory of Panting and Breeding of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Harbin 150086, China)

**Abstract** To clarify the current status and frontier of agricultural carbon emissions research, this study systematically reviewed and selected relevant literature from the CNKI database and Web of Science core collection from 2010 to 2023. By using CiteSpace and VOSviewer software, comparative analysis and visualization of agricultural carbon emissions literature were conducted. The results indicate: 1) From 2010 to 2023, the number of publications in this field in China has been on the rise, with a significant increase after 2016. Although the quantity of Chinese publications is less than that of foreign scholars, Chinese researchers have shown rapid development and a gradual increase in international influence. 2) China's

收稿日期: 2023-12-30

基金项目: 国家重点研发计划(2023YFD2000705); 国家自然科学基金项目(19BJY169); 农业农村部种养殖结合重点实验室开放课题

第一作者: 王鹏飞(ORCID: 0009-0006-3411-231X), 硕士研究生, E-mail: pengfei.wang2023@163.com

通讯作者: 王英(ORCID: 0000-0003-1505-3626), 教授, 博士生导师, 主要从事农业系统工程与管理工程研究, E-mail: 1370521872@qq.com

research on agricultural carbon emissions has formed a relatively stable team, conducting extensive research in areas such as agricultural economic relations, collaborative emission reduction methods, and biochar. However, there is relatively limited collaboration between Chinese research teams and those of other countries, indicating the need for further strengthening. 3) The most prolific institutions in terms of domestic and international publications are Chinese universities, with the Chinese Academy of Sciences, China Agricultural University, and Huazhong Agricultural University making significant contributions to the development of China's agricultural carbon emissions. 4) The most highly cited document in China is 'Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition of agricultural carbon emission in China', while the most internationally cited document is *Greenhouse gas mitigation in agriculture*; 5) Carbon calculation of agricultural emissions, research on methods and policies related to agricultural carbon reduction, remain popular research directions. In addition, the study of the mutual relationship between economic development and agricultural carbon emissions has gradually become a current research hotspot.

**Keywords** agricultural carbon emissions; bibliometrics; CiteSpace; co-occurrence analysis; research hotspot

随着人类社会的发展,全球变暖已经成为世界面临的难题之一,减少温室气体排放,促进碳中和任务迫在眉睫。减少碳排放和增加碳吸收是解决当前全球变暖问题的根本措施<sup>[1]</sup>。1997年《京都议定书》规定发达国家温室气体排放量需要比1990年减少5.2%<sup>[2]</sup>,以缓解当前全球变暖问题,2015年《巴黎协定》正式提出了碳中和<sup>[3]</sup>。中国作为全球CO<sub>2</sub>排放大国、《巴黎协定》缔约方之一,于2020年9月正式提出将采取更加有力的政策措施,力争2030年前CO<sub>2</sub>排放达到峰值,2060年前实现碳中和<sup>[4-5]</sup>。研究表明,全球温室气体排放的34%来自于CO<sub>2</sub>排放,其中来自农业和土地利用变化活动的CO<sub>2</sub>排放占据总CO<sub>2</sub>排放的71%<sup>[6]</sup>。预测如不采取有力措施减少农业碳排放,2050年农业碳排放量将再增加30%<sup>[7]</sup>。作为世界上人口众多、农业生产规模庞大的大国,中国农业碳排放量在总量中占比高达11%<sup>[8]</sup>。农业具有碳源和碳汇双重效应<sup>[9]</sup>,为此,研究农业碳排放是减少温室气体排放,实现碳中和任务的重要方面。

已有研究从多个角度对农业碳排放研究进行了分析。刘波等<sup>[10]</sup>对土壤固碳研究进展进行计量分析,得出目前国内学术研究聚焦于“土壤微生物群落结构”对土壤固碳的影响;周咪等<sup>[11]</sup>对国内外农业有机碳进程进行梳理,得出以土壤有机碳储量和农业管理为核心的土壤固碳封存研究是国内外土壤有机碳研究领域的研究热点;李瑞瑞等<sup>[12]</sup>对生物炭在农业利用领域进行可视化分析,得出生物炭对重金属、有机污染物的矿化、降解机理是当前国内研究前沿;胡永浩

等<sup>[13]</sup>、吴嘉莘等<sup>[14]</sup>通过分析历年来农业碳汇、农业碳排放测算方法,得出当前研究存在遗漏排放源等诸多不足。对农业碳排放研究发现,目前关于农业碳排放研究多集中于农业某一个具体方面展开,没有将国内外文献进行对比,受限于文献相关数据过少,数据涵盖不够全面,未能对农业领域碳排放研究内容、热点、趋势进行综合比较分析。因此,为了解农业碳排放发展现状,构建农业碳排放研究领域框架,探索农业碳排放领域中最新研究热点与进展,本研究基于CNKI和WOS两大数据库,对2010—2023年农业碳排放核心期刊进行统计分析,应用科学知识图谱和CiteSpace理论对农业碳排放相关文献进行对比分析与可视化呈现,以期对未来农业碳排放研究提供参考。

## 1 数据来源与方法

### 1.1 数据来源

文献数据来源于中国知网(CNKI)和WOS数据库。学术期刊包括SCI源期刊、EI期刊、北大核心期刊、中国社会科学引文索引(CSSCI)、中国科学引文数据库(CSCD)五大核心数据库。中文检索主题为“农业碳排放”或“农业碳中和”或“农业碳汇”或“农业净碳汇”或“农业碳源汇”或“农业碳收支”或“农业碳源”或“农业碳吸收”或“农业减排”或“农业固碳”。检索时间:2010-01-01—2023-02-28,得原始文献2 254篇,经过进一步筛选,剔除重复、与主题无关的学术文献以及会议综述、新闻等非学术文献,最终得到有效文献1 114篇,构成本研究的基础数据。

国外文献以WOS核心集为数据源。搜索公式为:  $TS=(agriculture*) AND (TS=(GHG) OR TS=(carbon emission) OR TS=(carbon neutral) OR TS=(carbon sink) OR TS=(carbon budget) OR TS=(carbon source) OR TS=(carbon sequestration) OR TS=(emission reduction))$ 。文献类型为研究文献和综述,共获得文献9 535篇。剔除无效文献和低相关性文献,共收集有效文献9 240篇,其中,国内1 837篇,国外7 403篇。

## 1.2 研究方法

本研究主要以CiteSpace(6.2. R2版本)、VOSviewer分析软件为基础,使用文献计量分析方法对农业碳排放研究领域核心文献进行定量研究,包括文献产出时序分析、作者共现分析、机构共现分析、热点与前沿分析等<sup>[15]</sup>,确定农业碳排放研究领域核心作者、核心机构、热点问题及研究趋势。

## 2 结果与分析

### 2.1 文献产出时序分析

文献发文量数据可以快速了解该领域的整体发展变化,2010—2023年发文量变化趋势详见图1。可见:中国农业碳排放领域相关文献数量呈现阶段性变化,2010—2016年整体波动较小,呈缓慢上升趋势。2016—2020年为快速增长时期,主要原因为2016年11月《巴黎协定》推动了碳排放领域相关研究<sup>[3]</sup>;同时期,中国作者在农业碳排放领域研究的国外发文量超过国内发文量。2020—2023年,中国政府提出碳达峰和碳中和目标<sup>[16]</sup>。伴随着《“十四五”全国农业绿色发展规划》<sup>[17]</sup>等相关政策密集出台,再次推动农业碳排放领域相关文献数量直线上升,2022年国内外发文总量达到1636篇,其中,中国作者612篇、外文作者1024篇(图1)。

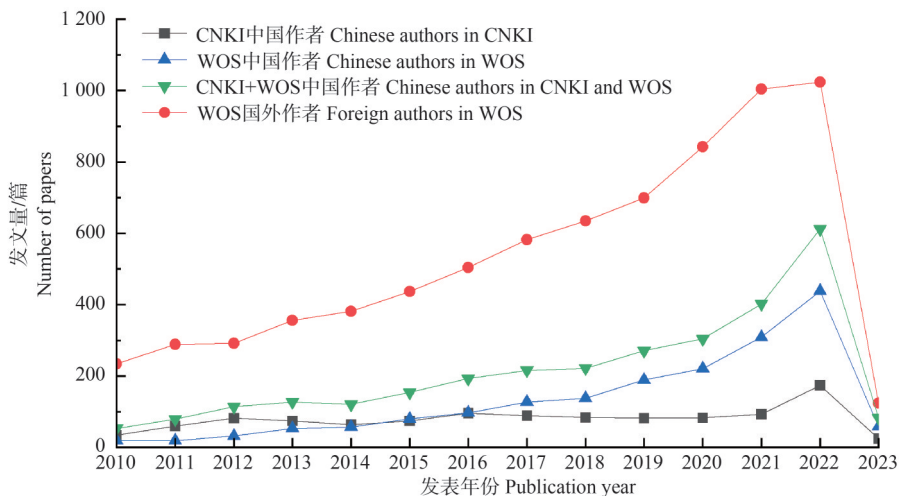


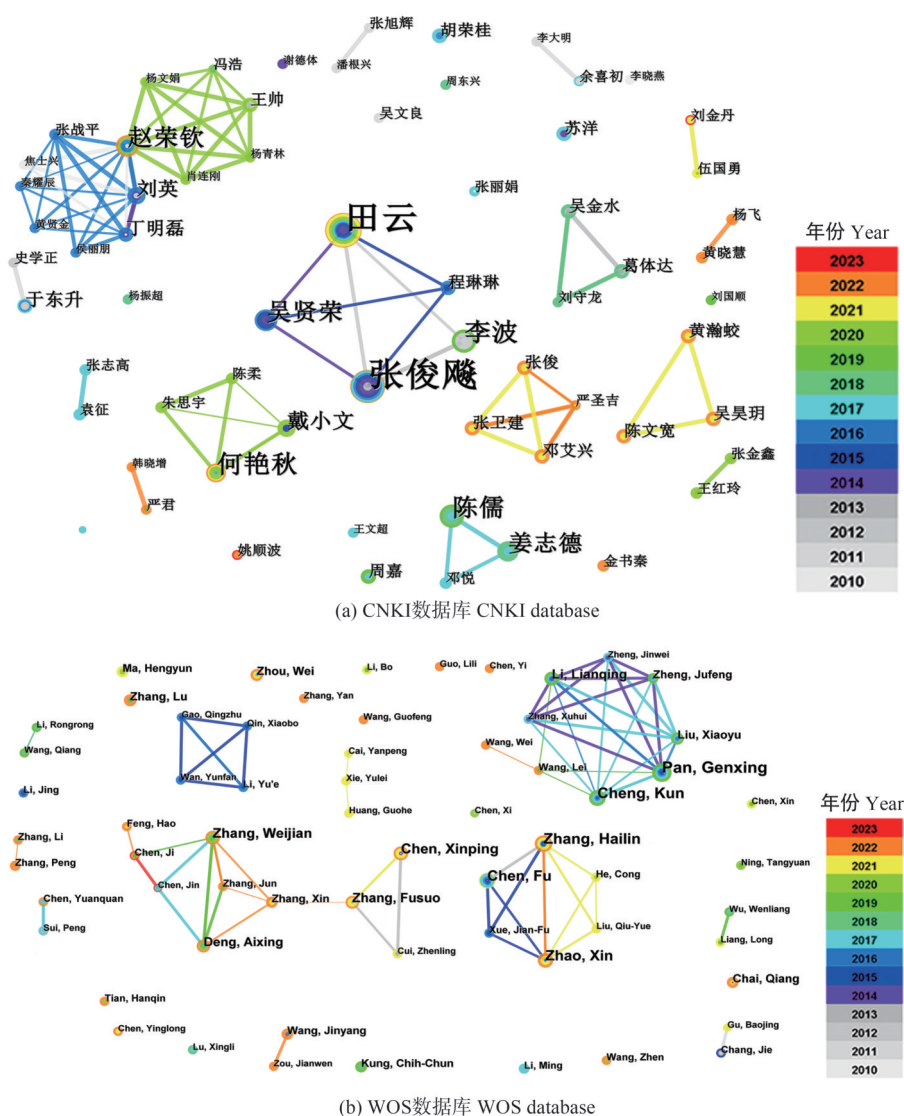
图1 2010—2023年农业碳排放发文量变化趋势

Fig. 1 Change trend in the number of publications of agricultural carbon emission from 2010 to 2023

### 2.2 合作团队分析

利用CiteSpace软件对国内外农业碳排放领域研究作者团队(第一作者)数据进行分析,详见图2。通过作者共现合作图谱,可以更加直观了解作者发文时间与合作关系,节点与节点之间的连线和颜色代表作者之间合作情况。由图2可见:合作关系密切的中国团队主要有:田云团队、张俊飏团队和吴贤荣团队;何艳秋团队和戴小文团队;Pan Genxing团队、Cheng Kun团队和Li Lianqing团队;Zhang Hailin团队、Chen Fu团队和Zhao Xin团队;陈儒团队和姜志德团队等。其中,田云团队在中国期刊上

发表文献最多,Pan Genxing团队在英文期刊上发表文献最多(表1)。田云团队重点从经济学角度,研究中国各省份农业碳排放与农业经济关系<sup>[18-19]</sup>,探索不同区域碳排放权分配方法<sup>[20]</sup>。何艳秋团队引入空间杜宾模型研讨农业区域协同减排方式<sup>[21-22]</sup>,并分析了农业碳排放的相关驱动机理<sup>[23]</sup>;Pan Genxing团队多年以生物炭为主要研究重点,研究生物炭土壤改良剂对土壤物理性质<sup>[24]</sup>、微生物性质<sup>[25]</sup>、经济效益<sup>[26]</sup>的影响,并分析生物炭复合肥与农业温室气体、作物产量的关系<sup>[27-28]</sup>;Zhang Hailin团队从保护性农业角度出发,比较不同耕作模式下



节点圆圈大小表示出现频率的高低;节点连线粗细表示关联性强弱。下同。

The size of the node circle represents the frequency, and the thickness of the node line indicates the strength of the correlation. The same below.

图2 农业碳排放中国研究作者图谱

Fig. 2 The authorship mapping of Chinese authors in agricultural carbon emission

不同作物与其碳足迹的关系<sup>[29-30]</sup>,探索气候适应性耕作方法<sup>[31]</sup>;赵荣钦团队基于河南省,探究农业碳排放强度对生产效率的作用机理与农业碳收支核算机制<sup>[32-33]</sup>。CNKI与WOS数据库发文量靠前的10位作者,均为图2中高产作者合作团队成员,表明中国农业碳排放领域高产作者之间存在密切合作关系。中国农业碳排放领域研究作者分布呈现“局部集中,整体分散”的特点。

国外作者(WOS数据库)共现合作图谱如图3所示。可见:国际高发文量作者包括Smith Pete(66次)、Lal Rattan(63次)和Popp Alexander

(25次)。农业碳排放领域研究主要以Smith Pete研究团队为核心,Lal Rattan、Havlik Petr等研究团队为主导。Lal Rattan团队主要探究可持续性农业与保护性耕作的最佳方法,涉及土地利用与土壤管理<sup>[34-35]</sup>、耕作制度<sup>[36,37]</sup>、气候变化<sup>[38]</sup>、土壤改良剂<sup>[39-40]</sup>、畜牧业<sup>[41]</sup>多个研究方向,并与印度<sup>[42-43]</sup>、中国<sup>[44-45]</sup>、巴西<sup>[46]</sup>等多个国家与团队展开合作;Havlik, Petr团队研究了畜牧业温室气体减排策略<sup>[47]</sup>,并评估了非二氧化碳气体减排潜力<sup>[48]</sup>。与中国作者共现合作图谱不同,农业碳排放领域国外作者合作网络密集,高产作者合作关系密切,并形成

表 1 2010—2023 年文献发表量前 10 的国内外作者

Table 1 The performance of top 10 most productive Chinese and foreign authors from 2010 to 2023

| 排名<br>Ranking | CNKI 中国作者<br>Chinese author in CNKI |                           | WOS 中国作者<br>Chinese author in WOS |                           | WOS 国外作者<br>Foreign author in WOS |                           |
|---------------|-------------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|---------------------------|
|               | 作者<br>Author                        | 发文量/篇<br>Number of papers | 作者<br>Author                      | 发文量/篇<br>Number of papers | 作者<br>Author                      | 发文量/篇<br>Number of papers |
| 1             | 田云                                  | 35                        | Pan Genxing                       | 20                        | Smith Pete                        | 66                        |
| 2             | 张俊飏                                 | 31                        | Zhang Hailin                      | 16                        | Lal Rattan                        | 63                        |
| 3             | 何艳秋                                 | 12                        | Cheng Kun                         | 15                        | Popp Alexander                    | 25                        |
| 4             | 陈儒                                  | 12                        | Chen Fu                           | 14                        | Havlik Petr                       | 22                        |
| 5             | 吴贤荣                                 | 11                        | Zhao Xin                          | 14                        | Lotze-campen Hermann              | 19                        |
| 6             | 姜志德                                 | 10                        | Chen Xinping                      | 13                        | Das Anup                          | 17                        |
| 7             | 赵荣钦                                 | 10                        | Zhang Weijian                     | 11                        | Bodirsky Benjamin Leon            | 15                        |
| 8             | 戴小文                                 | 9                         | Zhang Fusuo                       | 10                        | Ciais Philippe                    | 15                        |
| 9             | 丁明磊                                 | 7                         | Li Lianqing                       | 10                        | Mueller Christoph                 | 15                        |
| 10            | 刘英                                  | 6                         | Deng Aixing                       | 9                         | Bhattacharyya Ranjan              | 14                        |

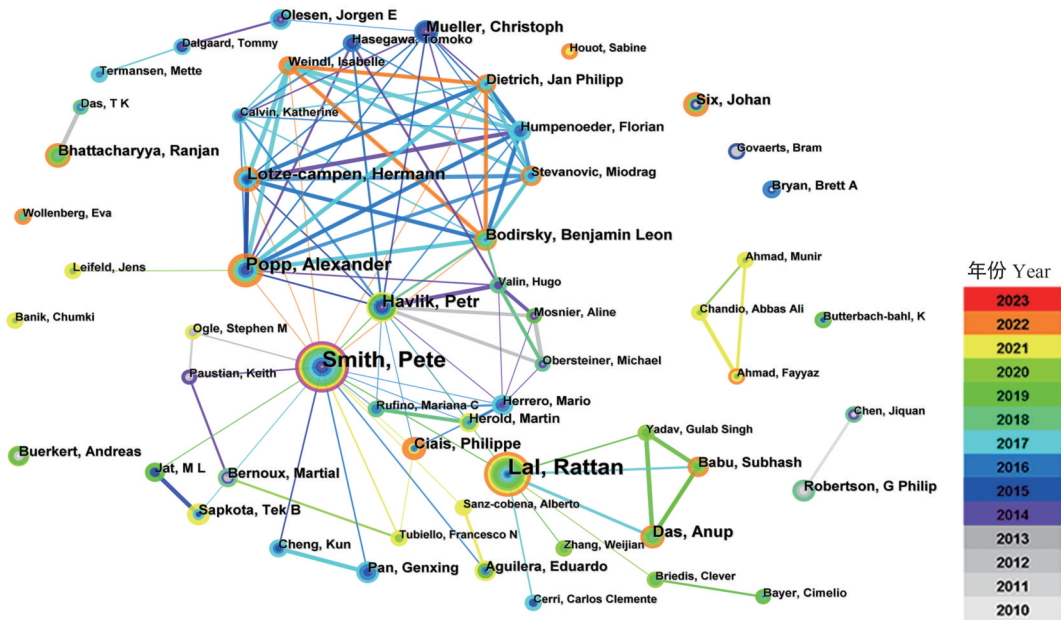


图 3 国外农业碳排放研究作者合作图谱

Fig. 3 Authorship mapping of foreign authors in agricultural carbon emission

多位高产作者合作网络，呈现“整体集中，局部分散”的特点。

2.3 作者高被引分析

作者高被引分析的目的在于寻找该领域研究较为集中且具有重要影响力的优秀作者，确定研究领域的关键潜在方向<sup>[49]</sup>。表 2 列出了 WOS 数据库中

文献被引量前 10 的作者，其中 2 名是机构，分别是联合国粮食及农业组织 (FAO) 和国际政府间气候变化专门委员会 (IPCC)，通过引用 FAO 和 IPCC 的文献，体现了当前发文作者对农业碳排放研究中国际权威性和全球视角的关注。个人作者中 Lal Rattan 被引量最高 (1 508 次)，其次是 Smith

表2 2010—2023年文献被引量前10的作者

Table 2 The performance of top 10 most cited authors from 2010 to 2023

| 排名<br>Ranking | 被引作者<br>Cited author | 被引量/篇<br>Citation count<br>for the paper | 中心度<br>Centrality | 排名<br>Ranking | 被引作者<br>Cited author | 被引量/篇<br>Citation count<br>for the paper | 中心度<br>Centrality |
|---------------|----------------------|------------------------------------------|-------------------|---------------|----------------------|------------------------------------------|-------------------|
| 1             | Lal, Rattan          | 1 508                                    | 0.02              | 6             | Six, Johan           | 571                                      | 0.04              |
| 2             | Smith, Pete          | 1 122                                    | 0.03              | 7             | Tilman, David        | 561                                      | 0.02              |
| 3             | FAO                  | 1 092                                    | 0.02              | 8             | Paustian, Keit       | 447                                      | 0.02              |
| 4             | IPCC                 | 996                                      | 0                 | 9             | Powlson, David S     | 430                                      | 0.02              |
| 5             | West, Tristram O     | 598                                      | 0.04              | 10            | Davidson, Eric A     | 400                                      | 0.03              |

Pete(1 122次),对比其他国家作者图谱(图3),Lal Rattan和Smith Pete 2位作者的高发文量和高被引频次突显了他们在该领域的学术权威性和研究领导地位,表明他们在农业碳排放研究中扮演着重要的全球性角色。

2.4 机构共现分析

从机构发文量可以看出(表3),在国际期刊上,发文量最多的机构是中国科学院(Chinese Academy of Sciences),其次是中国农业大学(China Agricultural University)、中国科学院大学

(University of Chinese Academy of Sciences)。在国内期刊中,中国科学院依然发表文献数量最多,达81篇,其次是中国农业大学、华中农业大学等高校。总体而言,农业碳排放领域研究机构数量较多,但连线都是以高产机构为主导,以一种辐射状的合作关系向外引出,高产机构之间鲜有合作,尚未形成大型的机构合作集群,在机构合作方面不平衡(图4)。其中,中国科学院整体期刊发文量处于第一位(427篇),中国农业科学院整体期刊中心度处于第一位(0.04、0.07),这2所科研机构在农业碳排

表3 CNKI和WOS数据库中发文量前10的机构

Table 3 Top 10 institutions according to the citation counts based on the CNKI and WOS database

| CNKI数据库<br>CNKI database     |                   |                    | WOS数据库<br>WOS database       |                   |                                           |
|------------------------------|-------------------|--------------------|------------------------------|-------------------|-------------------------------------------|
| 发文量/篇<br>Number of<br>papers | 中心度<br>Centrality | 机构<br>Organization | 发文量/篇<br>Number of<br>papers | 中心度<br>Centrality | 机构<br>Organization                        |
| 81                           | 0.04              | 中国科学院              | 346                          | 0.05              | Chinese Academy of Sciences               |
| 60                           | 0.02              | 中国农业大学             | 158                          | 0.05              | China Agricultural University             |
| 59                           | 0.02              | 华中农业大学             | 146                          | 0                 | University of Chinese Academy of Sciences |
| 59                           | 0.04              | 中国农业科学院            | 109                          | 0.07              | Chinese Academy of Agricultural Sciences  |
| 36                           | 0                 | 西北农林科技大学           | 101                          | 0.05              | Aarhus University                         |
| 34                           | 0                 | 中南财经政法大学           | 99                           | 0.03              | Northwest A&F University                  |
| 26                           | 0.01              | 东北农业大学             | 98                           | 0.02              | USDA Agricultural Research Service        |
| 22                           | 0.04              | 中国科学院大学            | 95                           | 0.06              | The Ohio State University                 |
| 22                           | 0                 | 四川农业大学             | 94                           | 0.04              | University of Aberdeen                    |
| 15                           | 0.03              | 中国地质大学             | 86                           | 0.04              | Nanjing Agricultural University           |

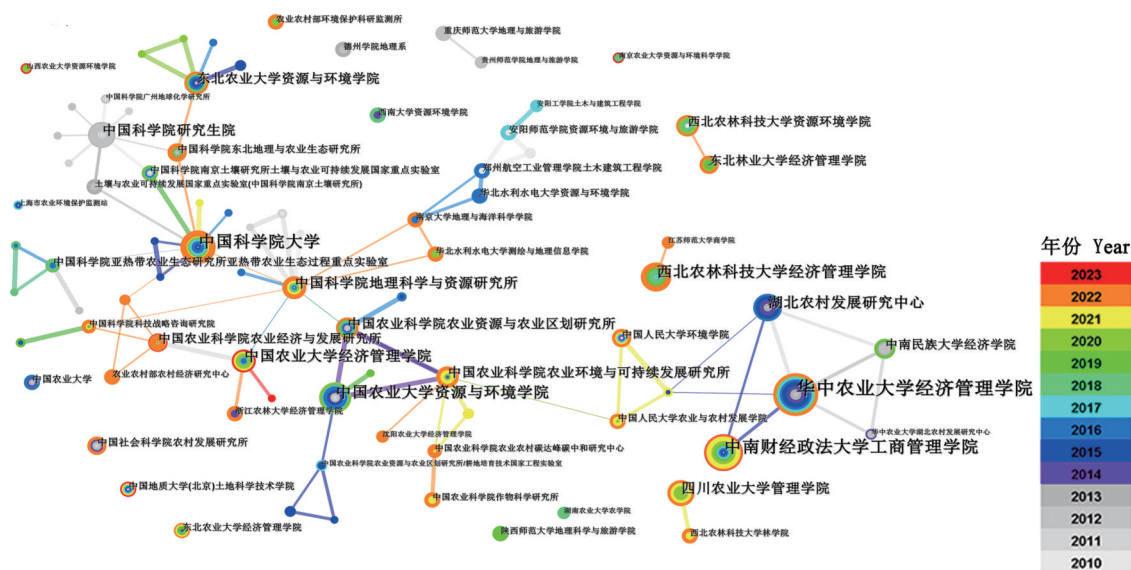


图 4 CNKI 数据库中农业碳排放研究的主要机构图谱

Fig. 4 Visualization map of institutions of agricultural carbon emission based on CNKI database

放研究具有一定的影响力。值得注意的是, WOS 数据库中发文数量最多的前 10 位机构, 中国机构占 6 个, 其余 4 个机构分别是美国的农业部农业研究局 (USDA Agricultural Research Service)、美国的俄亥俄州立大学 (The Ohio State University)、丹麦的奥胡斯大学 (Aarhus University) 和英国的阿伯丁大学 (University of Aberdeen)。这很大程度上与中国国情密切相关, 伴随着中国改革开放的飞速发展, 中国对碳排放日益重视, 各机构发文量也如井喷式增长。

## 2.5 热点及前沿分析

### 2.5.1 文献高被引分析

高被引文献可以说明其在农业碳排放领域相关认可程度, 是快速了解该领域的重点文献<sup>[50]</sup>。CNKI 数据库中, 被引次数最高的文献是中南民族大学李波等<sup>[51]</sup>在 2011 年发表的《中国农业碳排放时空特征及影响因素分解》, 引用高达 969 次 (见表 4), 该文献对我国农业碳排放量进行了测算, 并通过对农业碳排放影响因素的分解研究, 揭示了经济发展在促进农业碳排放方面的显著作用; 其次 2012 年中南财经政法大学田云等<sup>[52]</sup>发表的《中国农业碳排放研究: 测算、时空比较及脱钩效应》, 被引频次 471 次, 该文献除测算我国农业碳排放量外, 横向对比了不同省份农业碳排放量, 在此基础上对我国农业碳排放与农业经济发展间的脱钩关系进行了分析, 得出我国在农业碳减排方面已取得了一定成效。

### 2.5.2 文献共被引分析

2 篇 (或多篇文献) 同时被一篇或多篇文献所引证, 则称这 2 篇文献构成共被引关系<sup>[53]</sup>, 文献共被引分析了研究对象的知识结构和演变。基于现有文献中的被引文献构建农业碳排放文献共被引知识图谱, 揭示农业碳排放中的各个关键阶段与重要研究成果。如表 5 所示, 文献强度的大小代表文献的重要性, 由于 CiteSpace 目前仅支持英文文献共被引分析, 本研究仅对 WOS 核心数据库中的英文文献进行分析。

2015 年以前, 被引强度最高的文献是 “Greenhouse gas mitigation in agriculture”, 也是整个数据集中引文爆发最强的文献。该文献强调了农业在全球温室气体排放中的重要性以及在减缓气候变化方面的潜在作用, 研究指出制定有效政策和提供激励, 可以最大程度地发挥农业在实现全球气候目标方面的潜力, 为应对气候变化做出重要贡献<sup>[54]</sup>。Smith Pete 于 2014 年发表在 IPCC 的报告 “Climate change 2014: Mitigation of climate change” 是 2015 年以后引文爆发最强的文献, 近 2 年引文爆发最强的是 Crippa 等<sup>[6]</sup>于 2021 年发表在 *Nature Food* 上的文献 “Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions”, 通过建立新的全球粮食系统碳排放数据库 (EDGAR-FOOD), 估算温室气体 (GHG、CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、氟化气体) 排放量, 得出全球粮食温室气体排放的 34% 是 CO<sub>2</sub>, 其中来自农业和土地利用变化活动的

表4 CNKI数据库中高被引强度前15的文献

Table 4 Top 15 articles according to the citation counts in the CNKI database

| 第一作者         | 出版物         | 标题                                                      | 年份   | 被引次数/次          |
|--------------|-------------|---------------------------------------------------------|------|-----------------|
| First author | Publication | Title                                                   | Year | Citation counts |
| 李波           | 中国人口·资源与环境  | 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解                                      | 2011 | 969             |
| 田云           | 资源科学        | 中国农业碳排放研究：测算、时空比较及脱钩效应                                  | 2012 | 471             |
| 吴贤荣          | 资源科学        | 中国省域农业碳排放：测算、效率变动及影响因素研究：基于DEAMalmquist指数分解方法与Tobit模型运用 | 2014 | 405             |
| 段华平          | 水土保持学报      | 中国农田生态系统的碳足迹分析                                          | 2011 | 384             |
| 黄祖辉          | 农业经济问题      | 农业碳足迹研究：以浙江省为例                                          | 2011 | 311             |
| 李国志          | 农业技术经济      | 中国农业能源消费碳排放因素分解实证分析：基于LMDI模型                            | 2010 | 304             |
| 潘根兴          | 生态与农村环境学报   | 农业废弃物生物黑炭转化还田作为低碳农业途径的探讨                                | 2010 | 281             |
| 李飞跃          | 农业工程学报      | 中国粮食作物秸秆焚烧碳排放量及转化生物炭固碳量的估算                              | 2013 | 262             |
| 许广月          | 经济学家        | 中国低碳农业发展研究                                              | 2010 | 260             |
| 张广胜          | 农业经济问题      | 中国农业碳排放的结构、效率及其决定机制                                     | 2014 | 242             |
| 逯非           | 应用生态学报      | 稻田秸秆还田：土壤固碳与甲烷增排                                        | 2010 | 235             |
| 李成芳          | 农业环境科学学报    | 秸秆还田对免耕稻田温室气体排放及土壤有机碳固定的影响                              | 2011 | 229             |
| 孙凤霞          | 应用生态学报      | 长期施肥对红壤微生物生物量碳氮和微生物碳源利用的影响                              | 2010 | 228             |
| 田云           | 自然资源学报      | 中国农业生产净碳效应分异研究                                          | 2013 | 227             |
| 李波           | 干旱区资源与环境    | 中国农业碳排放与经济发展的实证研究                                       | 2011 | 222             |

CO<sub>2</sub>排放占总CO<sub>2</sub>排放的71%；其次是Willett等<sup>[55]</sup>于2019年发表在*Lancet*上的文献“Food in the Anthropocene: The EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems”，强调了人们日常饮食与全球环境问题之间的密切关系，提出一种既能促进个体健康又有助于地球可持续发展的饮食方案。

基于数据集，采用对数似然比算法进行聚类，共被引文献可分为18个共被引聚类群(图5)。根据图谱聚类词，可将农业碳排放研究划分为5个大类，即：土壤碳管理相关类，包含反硝化作用(denitrification)、土壤有机碳(soil organic carbon)、耕作(tillage)、生物炭(biochar)、泥炭地(peatland)；畜牧业相关类，包含牲畜(livestock)、甲烷生成(methanogenesis)、牛肉(beef)；土地利用管理相关类，包含redd计划(redd)、森林砍伐(deforestation)、能源利用效率(energy use efficiency)；新兴技术相关类，包含生物燃料(biofuels)、气候智慧型农业(climate smart agriculture)；农业经济相关类，包含经济增长(economic growth)、碳足迹(carbon footprint)。涉及

自然科学、气象学、动物学、环境科学、农业经济学和管理科学6个学科在内的核心领域。

2.5.3 核心关键词及突现词分析

关键词代表着文献的核心与精髓，是文献主题的高度概括<sup>[56]</sup>。突现词是指一个变量的值在短期内发生巨变，是CiteSpace软件运用突变算法，从文献的题目、摘要、关键词以及文献记录的标志符中提取的突变术语<sup>[57]</sup>。关键词的突现和相应聚类可以反映一段时间内的研究热点。突现值越高，说明关注度越高。聚类分析可以揭示关键词之间的时间关系与关联关系，一定程度反映各个研究热点的形成与发展<sup>[58]</sup>。由表6可见：在国际期刊上发表的高频关键词包括“保护性农业(conservation agriculture)”“土壤有机碳(soil organic carbon)”“温室气体排放(greenhouse gas emissions)”“经济增长(economic growth)”等。国内农业碳排放研究关键词聚类整体与国外一致，新增关键词“农户行为”“影响因素”“时空特征”等。

从突现词爆发的比较来看(表7和8)：“碳中和”(27.26)和“经济增长(economic growth)”(15.57)

表 5 WOS 数据库中 20 篇被引强度最高的文献  
Table 5 Top 20 articles according to the co-citation counts in the WOS database

| 参考文献<br>Reference                                                                                                        | 年份<br>Year | 强度<br>Strength | 起始<br>年份<br>Begin year | 终止<br>年份<br>End year | 2010—2023 年突现年份 <sup>①</sup><br>Burst time 2010-2023 <sup>①</sup> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------|------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| Greenhouse gas mitigation in agriculture                                                                                 | 2008       | 38.79          | 2010                   | 2013                 |                                                                   |
| Use of U. S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change                    | 2008       | 33.98          | 2010                   | 2013                 |                                                                   |
| Land clearing and the biofuel carbon debt                                                                                | 2008       | 30.77          | 2010                   | 2013                 |                                                                   |
| Tillage and soil carbon sequestration: What do we really know?                                                           | 2007       | 18.33          | 2010                   | 2012                 |                                                                   |
| Greenhouse gas mitigation by agricultural intensification                                                                | 2010       | 19.85          | 2011                   | 2015                 |                                                                   |
| Food Security: The challenge of feeding 9 billion people                                                                 | 2010       | 18.92          | 2011                   | 2015                 |                                                                   |
| solutions for a cultivated planet                                                                                        | 2011       | 27.39          | 2012                   | 2016                 |                                                                   |
| Global food demand and the sustainable intensification of agriculture                                                    | 2011       | 26.93          | 2013                   | 2016                 |                                                                   |
| How much land-based greenhouse gas mitigation can be achieved without compromising food security and environmental goals | 2013       | 20.86          | 2014                   | 2018                 |                                                                   |
| The knowns, known unknowns and unknowns of sequestration of soil organic carbon                                          | 2013       | 18.99          | 2014                   | 2018                 |                                                                   |
| Limited potential of no-till agriculture for climate change mitigation                                                   | 2014       | 27.05          | 2015                   | 2019                 |                                                                   |
| Climate change 2013: The physical science basis                                                                          | 2014       | 22.54          | 2015                   | 2019                 |                                                                   |
| Climate change 2014: Mitigation of climate change                                                                        | 2014       | 31.45          | 2016                   | 2019                 |                                                                   |
| Climate change 2014                                                                                                      | 2014       | 20.3           | 2016                   | 2019                 |                                                                   |
| Global diets link environmental sustainability and human health                                                          | 2014       | 18.73          | 2016                   | 2019                 |                                                                   |
| climate-smart soils                                                                                                      | 2016       | 29.32          | 2017                   | 2021                 |                                                                   |
| Productivity limits and potentials of the principles of conservation agriculture                                         | 2015       | 19.99          | 2017                   | 2020                 |                                                                   |
| Carbon sequestration in agricultural soils via cultivation of cover crops: A meta-analysis                               | 2015       | 19.72          | 2017                   | 2020                 |                                                                   |
| Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions                                           | 2021       | 18.77          | 2021                   | 2023                 |                                                                   |
| Food in the Anthropocene: The EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems                       | 2019       | 18.74          | 2021                   | 2023                 |                                                                   |

注：①淡蓝色表示未出现年份，蓝色条表示开始出现年份，红色条表示突现的年份。  
Note: ① The light blue color signifies the absence of publication years, blue stripe indicates the initiation of publication years, and red stripe denotes the abrupt emergence year. The same below.

这些突现词在一段时间内是热门主题，“固碳潜力”“土地利用变化(land use change)”“农业集约化(agricultural intensification)”“土壤有机碳(soil organic carbon)”等突现词在一段时间内持续时间较长,并且一直延续,说明在相应时间内持续受到学

术界关注;2019年至今,“碳平衡”“碳中和”“碳达峰”等关键词对应中国力争 2030 年之前实现碳达峰、2060 年之前实现碳中和的郑重承诺<sup>[4]</sup>;“金融发展(financial development)”“循环经济(circular economy)”等关键词的集中爆发体现了经济在农业

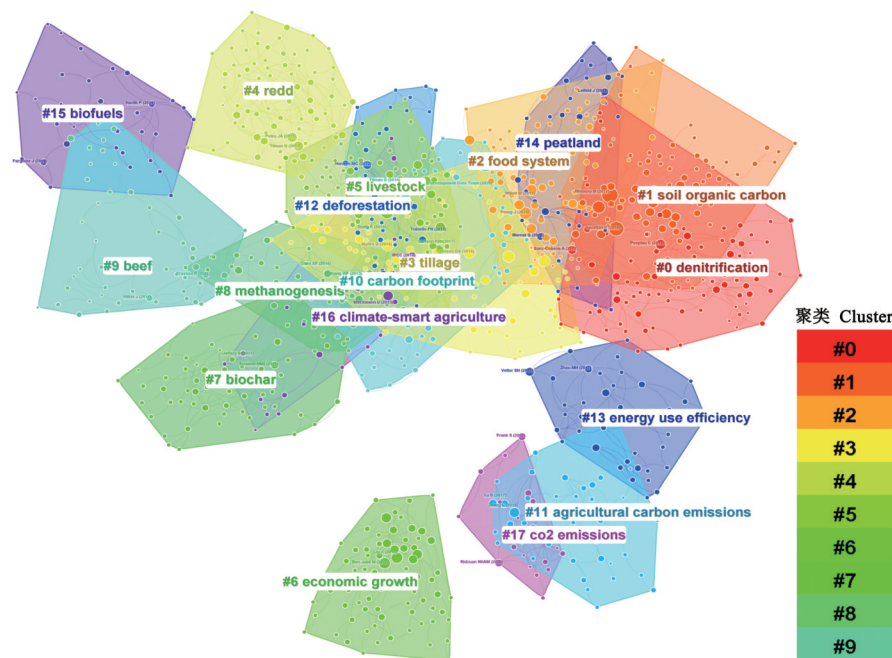


图5 农业碳排放共被引文献图谱

Fig. 5 Mapping of co-cited studies in agricultural carbon emission research literature

表6 高频关键词聚类表

Table 6 Cluster of high-frequency keywords

| CNKI数据库<br>CNKI database |                                  | WOS数据库<br>WOS database      |                                  |
|--------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| 聚类名称<br>Cluster          | 高频关键词<br>High frequency keywords | 聚类名称<br>Cluster             | 高频关键词<br>High frequency keywords |
| 0#低碳农业                   | 低碳农业                             | 0# Conservation agriculture | Conservation agriculture         |
|                          | 碳排放                              |                             | Soil organic carbon              |
|                          | 低碳经济                             |                             | Carbon sequestration             |
|                          | 农户行为                             |                             | Soil organic matter              |
|                          | 收敛性                              |                             | Tillage                          |
| 1#温室气体                   | 温室气体                             | 1# Climate change           | Climate change                   |
|                          | 秸秆还田                             |                             | Ecosystem services               |
|                          | 农田                               |                             | Deforestation                    |
|                          | 免耕                               |                             | Food security                    |
|                          | 有机碳                              |                             | Land use                         |
| 2#碳源                     | 碳源                               | 2# Nitrous oxide            | Nitrous oxide                    |
|                          | 碳汇                               |                             | Methane                          |
|                          | 土地利用变化                           |                             | Carbon dioxide                   |
|                          | 技术进步                             |                             | Greenhouse gas emissions         |
|                          | 京津冀                              |                             | Denitrification                  |
| 3#影响因素                   | 影响因素                             | 3# Economic growth          | Economic growth                  |
|                          | LMDI模型                           |                             | CO <sub>2</sub> emissions        |
|                          | 农业碳排放                            |                             | Energy consumption               |
|                          | 农地利用                             |                             | Renewable energy                 |
|                          | 时空特征                             |                             | Environmental kuznets curve      |

表 7 CNKI 数据库突发性关键词  
Table 7 Keywords Burst Information in the CNKI database

| 关键词<br>Keyword | 年份<br>Year | 强度<br>Strength | 起始年份<br>Start year | 终止年份<br>End year | 2010—2023 年突现年份<br>Burst time 2010-2023 |
|----------------|------------|----------------|--------------------|------------------|-----------------------------------------|
| 低碳农业           | 2010       | 8.54           | 2010               | 2013             |                                         |
| 温室气体           | 2010       | 4.66           | 2010               | 2011             |                                         |
| 节能减排           | 2010       | 3.95           | 2010               | 2012             |                                         |
| 对策             | 2011       | 3.24           | 2011               | 2012             |                                         |
| 固碳潜力           | 2010       | 3.04           | 2012               | 2017             |                                         |
| 碳吸收            | 2010       | 4.02           | 2013               | 2015             |                                         |
| 土壤             | 2011       | 3.15           | 2015               | 2016             |                                         |
| 有机碳            | 2013       | 4.59           | 2016               | 2019             |                                         |
| 碳收支            | 2014       | 3.59           | 2016               | 2017             |                                         |
| 长期施肥           | 2011       | 3.39           | 2017               | 2019             |                                         |
| 生物炭            | 2013       | 3.06           | 2017               | 2018             |                                         |
| 碳平衡            | 2019       | 4.09           | 2019               | 2021             |                                         |
| 土壤养分           | 2019       | 3.06           | 2019               | 2021             |                                         |
| 碳中和            | 2021       | 27.26          | 2021               | 2023             |                                         |
| 碳达峰            | 2021       | 9.43           | 2021               | 2023             |                                         |

表 8 WOS 数据库突发性关键词  
Table 8 Keywords Burst Information in the WOS database

| 关键词<br>Keyword               | 年份<br>Year | 强度<br>Strength | 起始年份<br>Start year | 终止年份<br>End year | 2010 — 2023 年突现时年份<br>Burst time 2010-2023 |
|------------------------------|------------|----------------|--------------------|------------------|--------------------------------------------|
| Land use change              | 2010       | 11.38          | 2010               | 2015             |                                            |
| Agricultural intensification | 2010       | 8.2            | 2010               | 2015             |                                            |
| Soil organic carbon          | 2010       | 6.48           | 2010               | 2017             |                                            |
| Global change                | 2010       | 7.4            | 2010               | 2011             |                                            |
| Sequestration                | 2011       | 11.87          | 2011               | 2016             |                                            |
| Cattle                       | 2011       | 11.74          | 2011               | 2014             |                                            |
| Cycle                        | 2011       | 10.91          | 2011               | 2015             |                                            |
| Costs                        | 2011       | 9.6            | 2011               | 2014             |                                            |
| Methane oxidation            | 2012       | 6.75           | 2014               | 2018             |                                            |
| Spatial distribution         | 2018       | 7.22           | 2018               | 2020             |                                            |
| Pyrolysis temperature        | 2019       | 8.88           | 2019               | 2021             |                                            |
| Source apportionment         | 2019       | 7.73           | 2019               | 2021             |                                            |
| Circular economy             | 2018       | 7.4            | 2019               | 2023             |                                            |
| Economic growth              | 2015       | 15.57          | 2021               | 2023             |                                            |
| Financial development        | 2018       | 9.43           | 2021               | 2023             |                                            |

碳排放的关键地位。国内农业碳排放研究虽然起步较晚,但发展迅速。

为具体阐述农业碳排放研究发展脉络,将农业碳排放研究方向划分为农业碳排放测算、农业碳减排相关方法与政策和经济发展与农业碳排放相互

关系 3 个研究方向。

农业碳排放测算方面,2010—2015 年,农业碳排放测算主要以氧化亚氮(nitrous oxide)、二氧化碳(carbon dioxide)相关温室气体、土壤有机碳(soil organic carbon)等为重点,此类关键词目前依然为农

业碳排放测算对象;2016—2019年,随着研究范围的扩大,温室气体测算不再局限于传统因素,考虑“水足迹(water footprint)”、“土壤微生物生物量(soil microbial biomass)”等其他与碳排放相关的影响因素,探讨农业活动对整个产业链的气体排放影响;2020—2023年,除早期高频关键词外,出现了新的关键词,如“覆盖作物(cover crop)”、“农业系统排放强度(farming systems emission intensity)”、“气候智慧型农业(climate smart agriculture)”等。

农业碳减排相关方法与政策方面,2010—2015年研究主要集中于发展有效的测量和监测方法,主要关注于碳排放的量化,进行“土地利用变化(land use)”和“作物(crop)”的监测;2015年之后,巴黎气候协定的达成推动了国家采取更具体的政策,形成了一些全球性碳减排倡议。“经济增长(economic growth)”逐渐成为国家制定政策的考虑重点,相关关键词为“气候变化(climate change)”、“改变适应性(change adaptation)”、“循环经济(circular economy)”；当前“碳股票(carbon stock)”、“碳信额(carbon credits)”、“小农户(smallholder farmers)”、“可再生能源消耗(renewable energy consumption)”、“水分利用效率(water use efficiency)”等一系列关键词体现了农业碳减排政策的综合性,为实现农业碳减排明确了方向。

经济发展与农业碳排放相互关系方面,早期农业碳排放的研究主要集中在传统农业生产系统的碳排放水平和其对气候变化的影响上,与经济直接关联较弱,相关关键词为“二氧化碳排放(CO<sub>2</sub> emissions)”、“气候变化(climate change)”；随着时间的推移,经济增长逐渐融入农业碳排放研究范畴。“循环经济(circular economy)”、“投入产出分析(input-output analysis)”、“环境库兹涅茨曲线(environmental kuznets curve)”等系统性经济学分析方法为科学分析经济发展对农业碳排放的影响奠定理论方法基础;2020—2023年,“环境可持续性(environmental sustainability)”、“碳中和(carbon neutrality)”、“可持续农业(sustainable agriculture)”等关键词说明当前研究着眼于可持续农业实践,以实现经济、社会、环境协同发展的碳中和目标。

综上所述,这3个阶段的研究呈现了从基础到复杂、从局部到全球的发展趋势,呈现了研究的演进过程。高频关键词和研究热点分析表明:农业碳

排放研究已从过去的单一学科研究逐步演变为农学、经济学、管理科学等多学科综合研究;研究方法由单一方法逐步演变为多种方法融合。总体而言,农业碳排放研究体系正在深化和完善,形成了更为综合的研究框架。

### 3 结 论

本研究对WOS和CNKI两大数据库2010—2023年农业碳排放领域的文献进行统计分析,主要结论如下:

1)从发文量来看,2010—2023年,农业碳排放领域文献产出量呈线性增长趋势,国外年产出量始终高于中国年产出量。中国作者更倾向于在WOS外文数据库发表自己的科研成果,中国农业碳排放研究虽然起步较晚,但整体发展迅速。

2)从作者合作网络与合作机构来看,研究核心力量有田云团队、Pan, Genxing团队、Smith, Pete团队,中国当前仍然是农业碳排放研究领域的主要发文国家,中国科学院、中国农业科学院、农业大学、华中农业大学是主要研究机构,但当前国内不同课题组之间、高产研究机构之间在农业碳排放领域间的合作相对较少,未来应当加强国内各科研院所、不同高校之间的合作,不断促进与其他国家(地区)开展学术交流和合作活动,既要提高本土成果数量,也要提高质量。

3)从关键词共现和相关聚类映射角度看,大尺度上,农业碳排放研究主要围绕自然科学、气象学、动物学、环境科学、农业经济学和管理科学6个学科在内的核心领域;小尺度上,重点侧重于相关方法与理论,如生命周期评估、投入产出分析、结构分解分析等。2010—2023年大体分为2个阶段,第一阶段,主要以农业、生物研究方向主导,碳排放量测算、农业碳减排相关方法与政策依然是重点研究方向。第二阶段,引入经济学、管理学研究方法探究农业碳排放问题,探究经济发展与农业碳排放量之间关系。农业碳排放研究整体呈现学科交叉特性。

4)农业碳排放领域的研究前沿主要聚焦于:一是土壤碳减排与碳封存研究,包括生物炭土壤改良剂的制备与研发、免耕覆秸、轮耕轮作等可持续耕作技术;二是土地利用变化碳排与碳汇研究,包括泥炭地的管理与保护、农业动植物集约化、减少土

地开垦等相关研究;三是气候变化中非CO<sub>2</sub>类温室气体研究,重点关注农业生产释放的N<sub>2</sub>O等氮类气体与反刍动物引起的CH<sub>4</sub>气体;四是碳足迹测算研究,完善投入产出法、生命周期评价方法等现有经济学核算机制,探寻减排关键方法;五是智慧农业研究,包括农作物培育良种、大力发展精准农业与循环农业。此外,政府出台系列改良政策,建立跨学科会议和交流也需提上日程。

## 参考文献 References

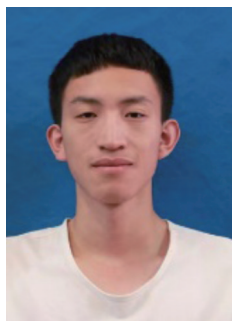
- [1] 董红敏,李玉娥,陶秀萍,彭小培,李娜,朱志平. 中国农业源温室气体排放与减排技术对策[J]. 农业工程学报, 2008(10): 269-273  
Dong H M, Li Y E, Tao X P, Peng X P, Li N, Zhu Z P. China greenhouse gas emissions from agricultural activities and its mitigation strategy [J]. *Transactions of the CSAE*, 2008, 24(10): 269-273 (in Chinese)
- [2] 王志轩.《京都议定书》与中国电力行业的应对措施建议[J]. 中国电力, 2003(1): 75-78  
Wang Z X. <Kyoto Protocol> and suggestions on the countermeasures of China's power industry [J]. *Electric power*, 2003(1): 75-78 (in Chinese)
- [3] 邹才能,薛华庆,熊波,张国生,潘松圻,贾成业,王影,马锋,孙倩,关春晓,林敏捷. “碳中和”的内涵、创新与愿景[J]. 天然气工业, 2021, 41(8): 46-57  
Zou C N, Xue H Q, Xiong B, Zhang G X, Pan S Q, Jia C Y, Wang Y, Ma F, Sun Q, Guan C X, Lin M J. Connotation, innovation and vision of "carbon neutral" [J]. *Natural Gas Industry*, 2021, 41(8): 46-57 (in Chinese)
- [4] 中国政府网. 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话 [EB/OL]. [2020-09-22] [http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content\\_5546168.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content_5546168.htm).  
Portal of the Central People's Government of the People's Republic of China. Xi Jinping Delivers an Important Speech at the General Debate of the 75th Session of the United Nations General Assembly [EB/OL]. [2020-09-22] [http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content\\_5546168.htm](http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content_5546168.htm).
- [5] 蔡博峰,曹丽斌,雷宇,王灿,张立,朱建华,李明煜,杜梦冰,吕晨,蒋含颖,宁森,王金南. 中国碳中和目标下的二氧化碳排放路径[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(1): 7-14  
Cai B F, Cao L B, Lei Y, Wang C, Zhang L, Zhu J H, Li M Y, Du M B, Lv C, Jiang H Y, Ning M, Wang J N. China's carbon emission pathway under the carbon neutrality target [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(1): 7-14 (in Chinese)
- [6] Crippa M, Solazzo E, Guizzardi D, Monforti-Ferrario F, Tubiello F N, Leip A. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions[J]. *Nature Food*, 2021, 2:198-209
- [7] Tubiello F N. Agriculture, forestry and other land use emissions by sources and removals by sinks: 1990 - 2011 analysis[M]. *FAO Statistics Division*, 2014
- [8] 国家发展和改革委员会应对气候变化司. 中华人民共和国气候变化第二次国家信息通报: 北京·2013[M]. 北京: 中国经济出版社, 2013  
National Development and Reform Commission. *The Peoples Republic of China second national communication on climate change* [M]. Beijing: China Economic Press, 2013 (in Chinese)
- [9] 王英,杨娟,王佳丽. 农田生态系统碳排放时空格局及趋势分析[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(1): 89-101  
Wang Y, Yang J, Wang J L. Spatial-temporal pattern and trend analysis of carbon emission from farmland ecosystem [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(1): 89-101 (in Chinese)
- [10] 刘波,李学斌,陈林,庞丹波,祝忠有,刘丽贞,吴梦瑶. 基于文献计量分析的土壤固碳研究进展[J]. 土壤通报, 2021, 52(1): 211-220  
Liu B, Li X B, Chen L, Pang D B, Zhu Z Y, Liu L Z, Wu M Y. Research progress on soil carbon sequestration based on bibliometric analysis [J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2021, 52(1): 211-220 (in Chinese)
- [11] 周咪,肖海兵,聂小东,李忠武,邓楚雄,刘俊宇,张宇婷. 近30年国内外土壤有机碳研究进程解析与展望[J]. 水土保持研究, 2020, 27(3): 391-400  
Zhou M, Xiao H B, Nie X D, Li Z W, Deng C X, Liu J Y, Zhang Y T. Analysis and prospect of soil organic carbon research process in recent 30 years at home and abroad [J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2020, 27(3): 391-400 (in Chinese)
- [12] 李瑞瑞,党佩佩,李琛. 生物炭农田利用领域的研究热点与趋势:基于文献计量学的可视化分析[J]. 科学技术与工程, 2021, 21(33): 14440-14450  
Li R R, Dang P P, Li C. Hotspots and emerging trends in the research area of agricultural application of biochar: Visualization analysis based on bibliometrics [J]. *Science Technology and Engineering*, 2021, 21(33): 14440-14450 (in Chinese)
- [13] 胡永浩,张昆扬,胡南燕,武拉平. 中国农业碳排放测算研究综述[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(2):163-176  
Hu Y H, Zhang K Y, Hu N Y, Wu L P. Review on measurement of agricultural carbon emission in China [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2023, 31(2): 163-176 (in Chinese)
- [14] 吴嘉莘,杨红娟. 农业净碳汇测算方法研究综述[J]. 农业经济, 2020(10): 29-31  
Wu J X, Yang H J. Summary of research on calculation methods of agricultural net carbon sink [J]. *Agricultural Economy*, 2020(10): 29-31 (in Chinese)
- [15] 陈悦,陈超美,刘则渊,胡志刚,王贤文. CiteSpace知识图谱的方法论功能[J]. 科学学研究, 2015, 33(2): 242-253  
Chen Y, Chen C M, Liu Z Y, Hu Z G, Wang X W. The methodology function of Cite Space mapping knowledge domains [J]. *Studies in Science of Science*, 2015, 33(2): 242-253 (in Chinese)
- [16] 宋鹏,张慧敏,毛显强. 面向碳达峰目标的重庆市碳减排路径[J]. 环境科学, 2022, 42(3): 1446-1455  
Song P, Zhang H M, Mao X Q. Research on Chongqing's carbon emission reduction path towards the goal of carbon peak [J]. *China Environmental Science*, 2022, 42(3): 1446-1455 (in Chinese)
- [17] 金书秦,林煜,栾健. 农业绿色发展有规可循:《“十四五”全国农业绿色发展规划》解读[J]. 中国发展观察, 2021(21): 47-49  
Jin S Q, Lin Y, Luan J. Sustainable agricultural development with established guidelines: Interpretation of the '14th Five-Year Plan for National Agricultural Green Development' [J]. *Observations on China's Development*, 2021(21): 47-49
- [18] 吴贤荣,张俊彪,田云,李鹏. 中国省域农业碳排放:测算、效率变动及影响因素研究:基于DEA-Malmquist指数分解方法与Tobit模型运用[J]. 资源科学, 2014, 36(1): 129-138  
Wu X R, Zhang J B, Tian Y, Li P. Provincial agricultural carbon emissions in China: Calculation, performance change and influencing factors [J]. *Resources Science*, 2014, 36(1): 129-138 (in Chinese)

- [19] 田云, 尹志昊. 中国农业碳排放再测算: 基本现状、动态演进及空间溢出效应[J]. 中国农村经济, 2022(3): 104-127  
Tian Y, Yin M H. Re-evaluation of China's agricultural carbon emissions: Basic status, dynamic evolution and spatial spillover effects [J]. *Chinese Rural Economy*, 2022(3): 104-127 (in Chinese)
- [20] 田云, 林子娟. 巴黎协定下中国碳排放权省域分配及减排潜力评估研究[J]. 自然资源学报, 2021, 36(4): 921-933  
Tian Y, Lin Z J. Provincial distribution of China's carbon emission rights and assessment of its emission reduction potential under the Paris Agreement[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(4): 921-933 (in Chinese)
- [21] 何艳秋, 王鸿春, 刘云强. 产业集聚视角下农业碳排放的空间效应[J]. 资源科学, 2022, 44(12): 2428-2439  
He Y Q, Wang H C, Liu Y Q. Spatial effects of agricultural carbon emissions from the perspective of industrial agglomeration[J]. *Resources Science*, 2022, 44(12): 2428-2439 (in Chinese)
- [22] 何艳秋, 陈柔, 朱思宇, 夏顺洁, 王芳. 策略互动和技术溢出视角下的农业碳减排区域关联[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(6): 102-112  
He Y Q, Chen R, Zhu S Y, Xia S J, Wang F. Regional correlation of agricultural carbon emission reduction from the perspective of strategic interaction and technology spillover [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(6): 102-112 (in Chinese)
- [23] 何艳秋, 戴小文. 中国农业碳排放驱动因素的时空特征研究[J]. 资源科学, 2016, 38(9): 1780-1790  
He Y Q, Dai X W. Phase characteristics and regional differences in agriculture carbon emissions in China [J]. *Resources Science*, 2016, 38(9): 1780-1790 (in Chinese)
- [24] Omondi M O, Xia X, Nahayo A, Liu X Y, Korai P K, Pan G X. Quantification of biochar effects on soil hydrological properties using meta-analysis of literature data[J]. *Geoderma*, 2016, 274: 28-34
- [25] Zhou H M, Zhang D X, Wang P, Liu X Y, Cheng K, Li L Q, Zheng J W, Zheng X H, Zheng J F, Crowley D, van Zwieten L, Pan G X. Changes in microbial biomass and the metabolic quotient with biochar addition to agricultural soils: A Meta-analysis [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2017, 239: 80-89
- [26] Zheng J F, Han J M, Liu Z W, Xia W B, Zhang X H, Li L Q, Liu X Y, Bian R J, Cheng K, Zheng J W, Pan G X. Biochar compound fertilizer increases nitrogen productivity and economic benefits but decreases carbon emission of maize production [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2017, 241: 70-78
- [27] Zhang D X, Pan G X, Wu G, Kibue G W, Li L Q, Zhang X H, Zheng J W, Zheng J F, Cheng K, Joseph S, Liu X Y. Biochar helps enhance maize productivity and reduce greenhouse gas emissions under balanced fertilization in a rainfed low fertility inceptisol[J]. *Chemosphere*, 2016, 142: 106-113
- [28] Qian L, Chen L, Joseph S, Pan G X, Li L Q, Zheng J W, Zhang X H, Zheng J F, Yu X Y, Wang J F. Biochar compound fertilizer as an option to reach high productivity but low carbon intensity in rice agriculture of China[J]. *Carbon Management*, 2014, 5(2): 145-154
- [29] Zhang X Q, Pu C, Zhao X, Xue J F, Zhang R, Nie Z J, Chen F, Lal R, Zhang H L. Tillage effects on carbon footprint and ecosystem services of climate regulation in a winter wheat-summer maize cropping system of the North China Plain[J]. *Ecological Indicators*, 2016, 67: 821-829
- [30] Chen Z D, Dikgwatlhe S B, Xue J F, Zhang H L, Chen F, Xiao X P. Tillage impacts on net carbon flux in paddy soil of the Southern China [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2015, 103: 70-76
- [31] Zhang H L, Zhao X, Yin X G, Liu S L, Xue J F, Wang M, Pu C, Lal R, Chen F. Challenges and adaptations of farming to climate change in the North China Plain[J]. *Climatic Change*, 2015, 129(1): 213-224
- [32] 王帅, 赵荣钦, 杨青林, 肖连刚, 杨文娟, 余娇, 朱瑞明, 揣小伟, 焦士兴. 碳排放约束下的农业生产效率及其空间格局: 基于河南省65个村庄的调查[J]. 自然资源学报, 2020, 35(9): 2092-2104 (in Chinese)  
Wang S, Zhao R Q, Yang Q L, Xiao L G, Yang W J, Yu J, Zhu R M, Chuai X W, Jiao S X. Agricultural production efficiency and spatial pattern under carbon emission constraint: Based on 65 villages of Henan Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2020, 35(9): 2092-2104 (in Chinese)
- [33] 赵荣钦, 刘英, 马林, 李宇翔, 侯丽朋, 张战平, 丁明磊. 基于碳收支核算的河南省县域空间横向碳补偿研究[J]. 自然资源学报, 2016, 31(10): 1675-1687  
Zhao R Q, Liu Y, Ma L, Li Y X, Hou L P, Zhang Z P, Ding M L. County-level carbon compensation of Henan Province based on carbon budget estimation [J]. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(10): 1675-1687 (in Chinese)
- [34] Sá J C, Lal R, Cerri C C, Lorenz K, Hungria M, de Faccio Carvalho P C. Low-carbon agriculture in South America to mitigate global climate change and advance food security[J]. *Environment International*, 2017, 98: 102-112
- [35] Lal R, Bouma J, Brevik E, Dawson L, Field D J, Glaser B, Hatano R, Hartemink A E, Kosaki T, Lascelles B, Monger C, Muggler C, Ndzana G M, Norra S, Pan X C, Paradelo R, Reyes-Sánchez L B, Sandén T, Singh B R, Spiegel H, Yanai J T, Zhang J B. Soils and sustainable development goals of the United Nations: An International Union of Soil Sciences perspective[J]. *Geoderma Regional*, 2021, 25: e00398
- [36] Xu J, Han H F, Ning T Y, Li Z J, Lal R. Long-term effects of tillage and straw management on soil organic carbon, crop yield, and yield stability in a wheat-maize system[J]. *Field Crops Research*, 2019, 233: 33-40
- [37] Yadav G S, Das A, Lal R, Babu S, Meena R S, Saha P, Singh R, Datta M. Energy budget and carbon footprint in a no-till and mulch based rice-mustard cropping system[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2018, 191: 144-157
- [38] Zhang H L, Zhao X, Yin X G, Liu S L, Xue J F, Wang M, Pu C, Lal R, Chen F. Challenges and adaptations of farming to climate change in the North China Plain[J]. *Climatic Change*, 2015, 129(1): 213-224
- [39] Srinivasarao C, Lal R, Kundu S, Prasad Babu M B B, Venkateswarlu B, Singh A K. Soil carbon sequestration in rainfed production systems in the semiarid tropics of India [J]. *The Science of the Total Environment*, 2014, 487: 587-603
- [40] Zhang H Y, Liu R Q, Lal R. Optimal sequestration of carbon dioxide and phosphorus in soils by gypsum amendment[J]. *Environmental Chemistry Letters*, 2016, 14(4): 443-448
- [41] Liang L, Lal R, Du Z L, Wu W L, Meng F Q. Estimation of nitrous oxide and methane emission from livestock of urban agriculture in Beijing [J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2013, 170: 28-35
- [42] Yadav G S, Lal R, Meena R S, Datta M, Babu S, Das A, Layek J, Saha P. Energy budgeting for designing sustainable and environmentally clean/safer cropping systems for rainfed rice fallow lands in India[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2017, 158: 29-37
- [43] Das A, Lyngdoh D, Ghosh P K, Lal R, Layek J, Idapuganti R G. Tillage and cropping sequence effect on physico-chemical and biological properties of soil in Eastern Himalayas, India [J]. *Soil and Tillage*

- Research*, 2018, 180: 182-193
- [44] Xue J F, Liu S L, Chen Z D, Chen F, Lal R, Tang H M, Zhang H L. Assessment of carbon sustainability under different tillage systems in a double rice cropping system in Southern China [J]. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 2014, 19(9): 1581-1592
- [45] Zhao X, Xue J F, Zhang X Q, Kong F L, Chen F, Lal R, Zhang H L. Stratification and storage of soil organic carbon and nitrogen as affected by tillage practices in the North China Plain [J]. *PLoS One*, 2015, 10(6): e0128873
- [46] Souza L H C, da Silva Matos E, de Souza Magalhães C A, de la Torre É R, Lamas F M, Lal R. Soil carbon and nitrogen stocks and physical properties under no-till and conventional tillage cotton-based systems in the Brazilian Cerrado [J]. *Land Degradation & Development*, 2018, 29(10): 3405-3412
- [47] Havlik P, Valin H, Herrero M, Obersteiner M, Schmid E, Rufino M C, Mosnier A, Thornton P K, Böttcher H, Conant R T, Frank S, Fritz S, Fuss S, Kraxner F, Notenbaert A. Climate change mitigation through livestock system transitions [J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2014, 111(10): 3709-3714
- [48] Frank S, Havlik P, Stehfest E, van Meijl H, Witzke P, Pérez-Domínguez I, van Dijk M, Doelman, J C, Fellmann T, Koopman J F L, Tabeau A, Valin H. Agricultural non-CO<sub>2</sub> emission reduction potential in the context of the 1.5°C target [J]. *Nature Climate Change*, 2019, 9(1): 66-72
- [49] Geng Y Q, Zhang N G, Zhu R J. Research progress analysis of sustainable smart grid based on CiteSpace [J]. *Energy Strategy Reviews*, 2023, 48: 101111
- [50] 侯博, 刘强, 王志威. 我国食品安全风险治理研究的时空分布与热点研判 [J]. *食品科学*, 2022, 43(13): 237-245
- Hou B, Liu Q, Wang Z W. A review of studies on Food Safety Risk Governance in China: Analysis of Temporal and Spatial Distribution and Hot Topics [J]. *Food Science*, 2022, 43(13): 237-245 (in Chinese)
- [51] 李波, 张俊彪, 李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解 [J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(8): 80-86
- Li B, Zhang J B, Li H P. Research on spatial-temporal characteristics and affecting factors decomposition of agricultural carbon emission in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2011, 21(8): 80-86 (in Chinese)
- [52] 田云, 张俊彪, 李波. 中国农业碳排放研究: 测算、时空比较及脱钩效应 [J]. *资源科学*, 2012, 34(11): 2097-2105
- Tian Y, Zhang J B, Li B. Agricultural carbon emissions in China: Calculation, spatial-temporal comparison and decoupling effects [J]. *Resources Science*, 2012, 34(11): 2097-2105 (in Chinese)
- [53] 李科科, 于文兵, 李硕奇, 焦乾鑫, 鞠明晓, 高丽丽, 王彩霞. 基于CiteSpace的大学生社交焦虑研究的热点与前沿趋势分析 [J]. *中国全科医学*, 2022, 25(33): 4217-4226
- Li K K, Yu W B, Li S Q, Jiao Q X, Ju M X, Gao L L, Wang C X. Hot spots and cutting edge trends in CiteSpace based research on social anxiety among college students [J]. *Chinese General Practice*, 2022, 25(33): 4217-4226 (in Chinese)
- [54] Smith P, Martino D, Cai Z C, Gwary D, Janzen H, Kumar P, McCarl B, Ogle S, O'Mara F, Rice C, Scholes B, Sirotenko O, Howden M, McAllister T, Pan G X, Romanenkov V, Schneider U, Towprayoon S, Wattenbach M, Smith J. Greenhouse gas mitigation in agriculture [J]. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London Series B, Biological Sciences*, 2008, 363(1492): 789-813
- [55] Willett W, Rockström J, Loken B, Springmann M, Lang T, Vermeulen S, Garnett T, Tilman D, DeClerck F, Wood A, Jonell M, Clark M, Gordon L J, Fanzo J, Hawkes C, Zurayk R, Rivera J A, De Vries W, Sibanda L M, Afshin A, Chaudhary A, Herrero M, Agustina R, Branca F, Lartey A, Fan S G, Crona B, Fox E, Bignet V, Troell M, Lindahl T, Singh S, Cornell S E, Reddy K S, Narain S, Nishtar S, Murray C J L. Food in the Anthropocene: The EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems [J]. *Lancet*, 2019, 393(10170): 447-492
- [56] Geng Y Q, Zhu R J, Maimaituerxun M. Bibliometric review of carbon neutrality with CiteSpace: Evolution, trends, and framework [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(51): 76668-76686
- [57] 李杰, 陈超美. *CiteSpace: 科技文本挖掘及可视化* [M], 3版. 北京: 首都经济贸易大学出版社, 2022
- Li J, Chen C M. *CiteSpace: text mining and visualization in scientific literature* [M]. 3rd ed. Beijing: Capital University of Economics & Business press, 2022 (in Chinese)
- [58] 任海伟, 蔡早宁, 王希, 王永刚, 田辉, 范文广, 李彦涛, 张丙云. 基于文献计量学的白酒窖泥研究进展与发展态势分析 [J]. *食品科学*, 2023, 44(7): 267-275
- Ren H W, Cai Z N, Wang X, Wang Y G, Tian H, Fan W G, Li Y T, Zhang B Y. Research progress and development trends of Baijiu pit mud: A bibliometric analysis [J]. *Food Science*, 2023, 44(7): 267-275 (in Chinese)
- [59] Rowntree J E, Stanley P L, Maciel I C F, Thorbecke M, Rosenzweig S T, Hancock D W, Guzman A, Raven M R. Ecosystem impacts and productive capacity of a multi-species pastured livestock system [J]. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2020, 4: 544984
- [60] 陈雪, 袁紫仪, 林湘岷, 沈宗专, 李荣. 基于Web of Science文献计量的我国节水农业研究态势分析 [J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(8): 198-207
- Chen X, Yuan Z Y, Lin X M, Shen Z Z, Li R. Research progress and developing trend of water-saving agricultural in China using bibliometric analysis based on Web of Science database [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(8): 198-207 (in Chinese)
- [61] 李凯, 李泽宇, 梁月荣, 陆建良, 郑新强. 基于文献计量的国内外茶树干旱研究进展 [J]. *中国农业大学学报*, 2023, 28(6): 50-62
- Li K, Li Z Y, Liang Y R, Lu J L, Zheng X Q. Research progress of tea tree drought based on bibliometrics [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(6): 50-62 (in Chinese)
- [62] 沈良英, 蒋红明, 黎梅杰, 余超, 蔡明, 罗富成, 薛世明, 黄必志. 基于文献计量的果园生草栽培技术研究进展 [J]. *中国农业大学学报*, 2023, 28(2): 74-89
- Shen L Y, Jiang H M, Li M J, Yu C, Cai M, Luo F C, Xue S M, Huang B Z. Research progress of cultivation technology for interplanting grass in orchard based on bibliometrics [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(2): 74-89 (in Chinese)
- [63] Geng Y Q, Zhu R J, Maimaituerxun M. Bibliometric review of carbon neutrality with CiteSpace: Evolution, trends, and framework [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2022, 29(51): 76668-76686
- [64] Xu H, Lin X Y, Shi K L, Lin S M, Zheng G R, Wang Q Y, Dong J W, Wang M H. Research progress and hotspot evolution analysis of landscape microclimate: Visual analysis based on CNKI and WOS [J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, 19(22): 15118
- [65] Wang X J, Zhang Y, Zhang J, Fu C L, Zhang X L. Progress in urban

- metabolism research and hotspot analysis based on CiteSpace analysis[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 281: 125224
- [66] 李浩宁,张啸燕,马爱红,魏凡华. H5亚型禽流感研究势态: 基于Citespace的文献计量分析[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(12): 111-123
- Li H N, Zhang X Y, Ma A H, Wei F H. Research trends in avian influenza subtype H5: Citespace based bibliometric analysis[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(12): 111-123 (in Chinese)
- [67] 段海煦,曾维华,陈家军. 基于可视化分析的“生态、环境、资源”承载力研究[J]. 中国环境科学, 2023, 43(9): 5031-5040
- Duan H X, Zeng W H, Chen J J. Study on the carrying capacity of “ecology, environment and resources” based on visualization analysis[J]. *China Environmental Science*, 2023, 43(9): 5031-5040 (in Chinese)
- [68] 许智勇, 金安江, 马爱民. 世界食品营养学研究文献计量分析[J]. 中国食品学报, 2023, 23(7): 442-454
- Xu Z Y, Jin A J, Ma A M. Bibliometric analysis of global trends in food nutrition research[J]. *Journal of Chinese Institute of Food Science and Technology*, 2023, 23(7): 442-454 (in Chinese)
- [69] 马凯, 饶良懿. 我国土壤盐碱化问题研究脉络和热点分析[J]. 中国农业大学学报, 2023, 28(11): 90-102
- Ma K, Rao L Y. Research lineage and hot spot analysis of soil salinization in China[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2023, 28(11): 90-102 (in Chinese).

责任编辑: 杨爱东



**第一作者简介:** 王鹏飞, 硕士研究生, 东北农业大学农业系统工程与管理工程专业。现任东北农业大学工程学院研究生会主席、校研究生团委办公室主任。本科期间曾获东北农业大学改善创意大赛二等奖、IE亮剑全国工业工程应用案例大赛工业工程创新方法专赛总决赛三等奖; 研究生期间获得二等学业奖学金, 优秀共青团员等荣誉称号。参与了科研项目“机械-土壤-作物”系统耦合关系研究、寒区黑土坡耕地典型机械化耕种方式研究。



**通讯作者简介:** 王英, 博士, 东北农业大学教授, 博士生导师。教育部高等学校物流管理与工程类专业教学指导委员会物流工程专业建设指导组委员, 中国农业工程学会农业系统工程专业委员会副主任。主要研究领域为农产品供应链、农业物流、农业系统工程与管理工程等。近年来, 主持十三五科技部国家重点研发计划项目子课题等7项, 以第一作者在国内刊物上发表学术论文15篇, 其中SSCI、SCI收录2篇, EI收录3篇, 制定省地方标准1项, 副主编国家级教材3部。