中国农业大学学报 2026,31(12):81-96
Journal of China Agricultural University http://zgnydxxb.ijournals.cn

康霞,高维常,安书怡,孙源辰,刘勤. 中国西南地区农业碳排放研究热点与演进趋势的可视化分析[J]. 中国农业大学学报,2026,31(12):81-96.
KANG Xia, GAO Weichang, AN Shuyi, SUN Yuanchen, LIU Qin. Research hotspots and evolutionary trends of agricultural carbon emissions in Southwest China: A visualization analysis[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2026, 31(12): 81-96.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2026.12.07

中国西南地区农业碳排放研究热点与演进趋势的可视化分析

康 霞[1] 高维常[2] 安书怡[3] 孙源辰[1] 刘 勤[1*]

(1. 中国农业科学院 农业环境与可持续发展研究所/农业农村部农膜污染防控重点实验室,北京 100081;
2. 贵州省烟草科学研究院,贵阳 550081;
3. 山东睿安生物科技有限公司,山东 济宁 272200)

摘 要 为系统梳理中国西南地区农业碳排放研究的发展脉络与前沿趋势,比较中英文文献的研究差异及区域低碳转型重点,运用CiteSpace软件对2005—2025年中国知网(CNKI)数据库中的339篇相关中文文献、Web of Science和Scopus数据库中的330篇相关英文文献进行文献计量与可视化分析。结果表明:1)中文文献发文量在2005—2015年总体处于低位,2016年后在《巴黎协定》、“双碳”目标等农业绿色发展政策推动下增长并于2023年达到峰值65篇;英文文献总体呈持续上升趋势,2025年截至11月30日已达60篇。2)中英文文献高产作者与机构均主要分布于中国西南地区高校和科研院所,已形成多个围绕喀斯特生态、农田碳排放和温室气体调控等研究方向的研究团队,但合作网络整体仍较分散;相较于中文文献,英文文献作者合作网络连接程度更高,跨团队协作有所增强。3)中英文文献的研究热点存在差异,中文文献以“低碳农业”“碳中和”“土地利用变化”“碳汇”和“固碳潜力”等高频关键词为主,侧重区域碳排放、时空差异及低碳发展;英文文献则以“land use”“soil organic carbon”和“greenhouse gas emissions”等为高频关键词,更关注土地利用、土壤碳库及农田温室气体排放过程等田间微观机制。4)研究前沿呈现由早期的碳源/汇识别、土地利用变化和排放核算,逐步扩展到农田生态过程、减排措施及区域差异研究。近年来,“碳中和”“时空变化”“emission control”“spatial distribution”和“sustainability”等主题持续活跃,表明研究开始更多关注碳排放机制、减排效果及可持续性。综上,未来应加强机构协同创新,进一步关注中国西南地区特有地貌下的固碳潜力、农田生态系统减排技术及农业绿色转型的政策激励机制。

关键词 农业碳排放;西南地区;CiteSpace;“双碳”目标;文献计量学

中图分类号 G353.11;S-9 **文章编号** 1007-4333(2026)12-0081-16 **文献标志码** A

Research hotspots and evolutionary trends of agricultural carbon emissions in Southwest China: A visualization analysis

KANG Xia[1], GAO Weichang[2], AN Shuyi[3], SUN Yuanchen[1], LIU Qin[1*]

(1. Institute of Environment and Sustainable Development in Agriculture /Key Laboratory of Agricultural Film Pollution Prevention and Control of Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;
2. Guizhou Academy of Tobacco Science, Guiyang 550081, China;
3. Shandong Ruian Biological Technology Co., Ltd., Jining 272200, China)

收稿日期:2025-12-27;接受日期:2026-05-20
基金项目:国家重点研发计划(2021YFD1700700);中国烟草总公司重点研发项目(110202202030,110202402016);中国烟草总公司贵州省公司重点研发项目(2025XM07);
第一作者:康霞(ORCID:0009-0006-2855-5405),硕士研究生,E-mail:kangxia1014@126.com
通讯作者:刘勤(ORCID:0000-0002-4307-2579),研究员,主要从事地膜应用与农田地膜污染防控研究,E-mail:liuqin02@caas.cn

Abstract To systematically review the development trajectory and emerging trends of agricultural carbon emissions research in Southwest China, and compare the differences between Chinese and English publications as well as regional priorities for low-carbon transition, this study employed CiteSpace software to conduct bibliometric and visualization analyses of 339 relevant Chinese-language publications indexed in the China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and 330 relevant English-language publications indexed in the Web of Science and Scopus databases from 2005 to 2025. The results revealed that: 1) The volume of Chinese-language publications remained relatively low from 2005 to 2015, then increased substantially after 2016, driven by agricultural green development policies such as the Paris Agreement and China's carbon peaking and carbon neutrality ("dual carbon") goals, peaking at 65 publications in 2023. English-language publications exhibited a consistent upward trend, reaching 60 publications by November 30, 2025. 2) Highly productive authors and institutions were predominantly affiliated with universities and research institutes in Southwest China, with multiple research teams formed around themes including karst ecosystems, cropland carbon emissions, and greenhouse gas regulation. However, the overall collaboration network remained relatively dispersed. Compared with Chinese-language publications, English-language publications had a stronger and more interconnected co-authorship network and greater cross-team cooperation. 3) Research hotspots differed between Chinese and English publications. Chinese-language publications were characterized by high-frequency keywords such as low-carbon agriculture, carbon neutrality, land use change, carbon sink and carbon sequestration potential, with an emphasis on regional carbon emissions, spatiotemporal variations, and low-carbon development. English-language publications featured high-frequency keywords including land use, soil organic carbon and greenhouse gas emissions, the literature placed greater emphasis on field-scale processes and mechanisms such as land use, soil carbon pools, and cropland greenhouse gas emission processes. 4) Research frontiers have shifted from early-stage carbon source/sink identification, land use change, and emission accounting to cropland ecological processes, mitigation measures, and regional disparity studies. In recent years, themes including carbon neutrality, spatiotemporal variation, emission control, spatial distribution and sustainability have remained active, indicating increasing attention to carbon emission mechanisms, mitigation effectiveness, and sustainability. In conclusion, future research should strengthen institutional collaboration and foster innovation, with particular emphasis on carbon sequestration potential under the unique geomorphological conditions of Southwest China, emission-mitigation technologies for cropland ecosystems, and policy incentive mechanisms for agricultural green transformation.

Keywords agricultural carbon emissions; Southwest China; CiteSpace; carbon peaking and carbon neutrality goals; bibliometrics

在全球应对气候变化的背景下，降低农业温室气体排放并提升生态系统的固碳能力，是我国实现“双碳”目标的重要组成部分[1]。中国农业生产活动产生的碳排放约占全国温室气体总量的17%，稻田耕作、畜禽养殖和氮肥施用等农业活动均会产生CH_4和N_2O，因此，农业生产方式优化成为减排固碳的重要方向[2]。我国提出2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和的目标[3-4]。在这一宏观战略背景的驱动下，农业绿色低碳转型的重要性进一步体现[5]。西南地区作为我国重要的农业主产区与生态敏感区，山地丘陵广布、喀斯特地貌典型发育，农业生产条件和生态环境具有较强的复杂性与空间不平衡性[6]。闫妍等[7]研究表明，滇桂黔喀斯特地区耕地总体表现为碳汇，但碳汇强度分布复杂不均，同时存在零星碳源区。因此，对中国西南地区农业碳排放研究的知识结构及演进特征进行系统梳理，有助于识别该区域研究关注的主要问题及尚待深化的方向。

现有农业碳排放研究已涉及排放核算、时空演变、驱动因素和减排路径等多个方面。王鹏飞等[8]基于中国知网(CNKI)和Web of Science(WOS)双数据库对全国农业碳排放研究进行了文献计量分析，归纳出当前的研究热点正逐步向探究经济发展与碳排放之间深层关联的方向转变。Huang等[9]从全国尺度分析了农业碳排放的时空演变与影响因素，指出排放重心呈现向中西部迁移的特征。Meng等[10]研究表明，农村数字化水平、农业技术进步及产业结构升级对我国西南地区农业碳排放强度具有显著影响，且排放重心近年来出现明显的空间迁移。

与全国尺度研究相比，西南地区现有成果多围绕单一省域、特定农业生态系统或具体碳氮过程展开，对不同主题之间的知识关联及其长期演进缺乏系统归纳，尤其是在喀斯特地貌背景下各碳源的排放效应尚不明确。文献计量研究多以CNKI和WOS等单一或双数据库为基础，中文文献与WOS和Scopus数据库收录文献在关注尺度、研究对象和方法路径上的差异尚未得到充分比较，相关研究还需进一步关注城市尺度农业碳排放效率的空间关联及其驱动机制[11]。本研究基于CNKI、WOS和Scopus数据库收录的2005—2025年中国西南地区农业碳排放相关文献，采用文献计量学方法，利用CiteSpace软件分析发文时序，作者与机构合作网络，高被引文献，关键词共现、聚类及突现特征，旨在从中文与英文文献2个维度梳理中国西南地区农业碳排放研究的知识结构与演进路径，以期为中国西南地区农业减排固碳研究和高质量发展决策提供文献数据参考。

1　数据来源与研究方法

1.1　数据来源

文献数据来源于CNKI、WOS和Scopus数据库。检索时间范围设为2005年1月1日—2025年11月30日。CNKI检索式为：主题=（“农业碳排放”或“农业碳中和”或“农业碳足迹”或“农业碳核算”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”或“温室气体”）AND主题=（“西南”或“四川”或“云南”或“贵州”或“重庆”或“川渝”或“云贵”或“川南”或“喀斯特”）；WOS检索式为：TS=（（“agricultural carbon emission*” OR “agricultural carbon neutral*” OR “agricultural carbon footprint” OR “agricultural carbon accounting” OR “agricultural carbon sink” OR “agricultural net carbon sink” OR “agricultural carbon source” OR “agricultural carbon budget” OR “agricultural carbon uptake” OR “agricultural carbon absorption” OR “agricultural emission reduction” OR “agricultural carbon sequestration” OR（（“greenhouse gas*” OR “GHG”）AND（“agriculture” OR “farming”））） AND（“Southwest China” OR “Southwestern China” OR “Sichuan” OR “Yunnan” OR “Guizhou” OR “Chongqing” OR “Sichuan-Chongqing” OR “Yunnan-Guizhou” OR “Karst region”））AND CU=China；Scopus检索式为：TITLE-ABS-KEY（（（“agricultural carbon emission*” OR “agricultural carbon neutral*” OR “agricultural carbon footprint” OR “agricultural carbon accounting” OR “agricultural carbon sink” OR “agricultural net carbon sink” OR “agricultural carbon budget” OR “agricultural carbon source” OR “agricultural carbon uptake” OR “agricultural carbon absorption” OR “agricultural emission reduction” OR “agricultural carbon sequestration” OR（“greenhouse gas*” OR “GHG” OR “carbon” OR “CO_2”）W/5（“agriculture*” OR “farm*” OR “crop*”））AND（“Southwest China” OR “Southwestern China” OR “Sichuan” OR “Yunnan” OR “Guizhou” OR “Chongqing” OR “Sichuan-Chongqing” OR “Chuan-Yu” OR “Yunnan-Guizhou” OR “Yun-Gui” OR “Karst”））。其中，“*”为通配符，用于匹配同一词根的不同词形；“W/5”为Scopus邻近算符，表示2个词组在相距5个词以内出现。文献类型保留期刊论文、综述、硕士和博士学位论文。经检索，共获得1 677条文献，依据题名、摘要和关键词剔除重复文献、非中国西南地区研究文献及与研究主题不相关文献后，最终获得文献共669篇，其中CNKI数据库中文文献339篇、WOS和Scopus数据库英文文献330篇。

1.2　研究方法

本研究采用CiteSpace 6.2.R3软件进行可视化分析。CNKI文献以RefWorks格式导出，WOS文献以纯文本格式导出，Scopus文献以CSV格式导出并转换为CiteSpace可识别格式。CNKI导出文献构成中文文献，WOS和Scopus导出文献构成英文文献，时间切片设为1年，节点类型依次选择Author、Institution、Reference和Keyword，生成作者合作、机构合作、高被引文献及关键词共现、聚类和突现结果。聚类质量采用模块化指数Q（Modularity）[12]和平均轮廓值S（Mean silhouette）[13]评价，计算方法如下[14]：

$$Q=\frac{1}{4m}\sum_{ij}\left(A_{ij}-\frac{k_i k_j}{2m}\right)s_i s_j \tag{1}$$

式中：m为网络中边的总数；i和j均为网络节点索

引；A_{ij}为相邻矩阵元素；k_i和k_j分别是节点i和j的度；s_i和s_j分别为节点i和j所属社团的变量，当节点i和j属于同一聚类时，$s_i s_j=1$，否则为-1。一般认为，$Q>0.3$时聚类结构显著。

$$S=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{b(i)-a(i)}{\max\{a(i),b(i)\}} \tag{2}$$

式中：N为网络节点总数；$a(i)$为节点i与同一聚类中所有其他节点的平均距离；$b(i)$为节点i与最近的非所属聚类中所有节点的平均距离。S值取值范围为$[-1,1]$，一般认为$S>0.5$时聚类合理，$S>0.7$时聚类结果可信。

2 结果与分析

2.1 发文量时序特征

2005—2025 年中国西南地区农业碳排放研究领域的年度发文量变化见图 1。总体来看，该领域发文量呈阶段性增长特征。2005—2015 年，中英文文献数量均处于较低水平，中文文献在 2012 年前后出现小幅增长，与“十二五”时期我国逐步加强温室气体排放控制的政策背景在时间上较为一致[15]。2016 年以后，中文文献数量明显增加，并于 2023 年达到峰值 65 篇。此时期《巴黎协定》[16]、我国“双碳”目标[17]及《“十四五”全国农业绿色发展规划》[18]等相继提出，农业减排固碳和绿色低碳发展受到更多关注[19]。2024—2025 年中文文献数量有所回落，而英文文献仍保持增长，2025 年截至 11 月 30 日已发表 60 篇。由于 2025 年数据仅统计至 11 月 30 日，其年度发文量仍属于阶段性统计结果。总体而言，近年来该领域研究成果持续增加，中文文献与英文文献在发文时序上呈现出一定差异。

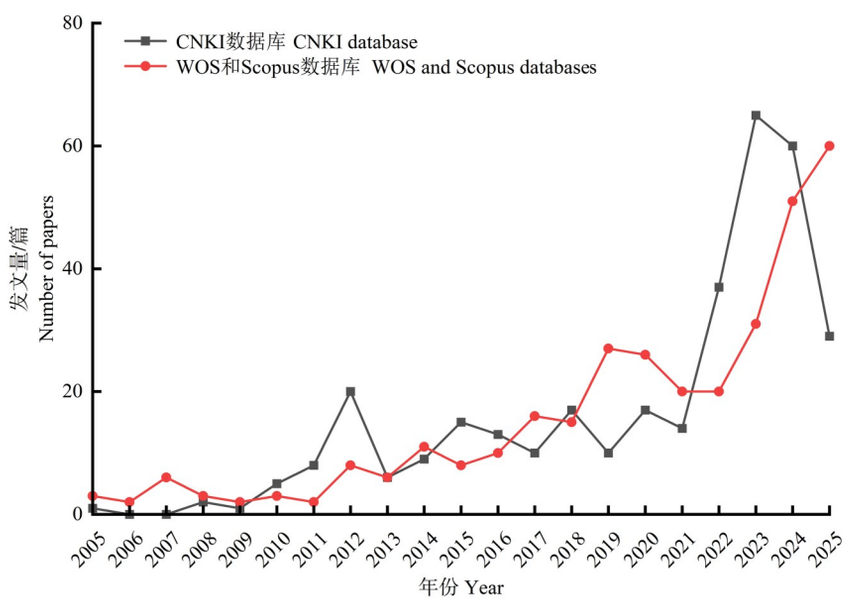
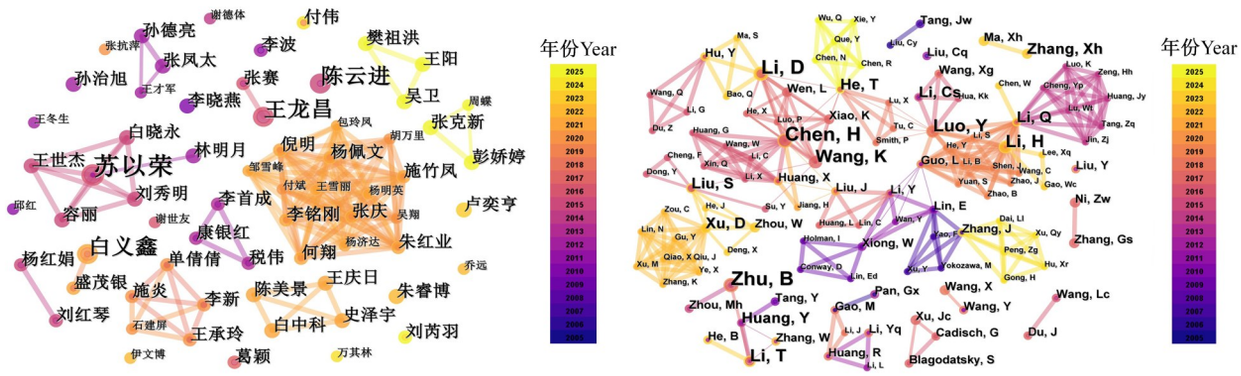


图 1 2005—2025 年中国西南地区农业碳排放领域年度发文量

Fig. 1 Number of publications of agricultural carbon emissions field in Southwest China from 2005 to 2025

2.2 合作团队分析

由图 2(a)可知，CNKI 数据库作者合作网络共有 347 个节点、419 条连线，网络密度为 0.007 0；最大连通子图由 15 位作者构成，仅占全部节点的 4%。由此可见，该领域已形成若干较为稳定的合作群体，但团队规模普遍较小，彼此之间的联系也较少。由表 1 可知，CNKI 数据库中，苏以荣发文量最高（4 篇），陈云进、王龙昌和白义鑫各发文 3 篇，是中文文献中的高产作者。在代表性研究成果上，以苏以荣和白义鑫为代表的团队深入研究喀斯特石漠化治理与植被恢复技术对土壤固碳增汇的影响机理[20-22]；王龙昌团队则聚焦重庆“旱三熟”种植模式及秸秆覆盖的固碳潜力[23]；李铭刚团队则从微观视角解析了稻油轮作下土壤酶与微生物的固碳机制[24-25]。此外，王承玲、税伟、彭娇婷、樊祖洪和陈美景等团队侧重于川、黔等区域尺度的碳排放核算与驱动因素解析[26-29]；陈云进团队则更关注生态农业模式的工程实践推广[30]。



(a) CNKI数据库 CNKI database　　(b) WOS和Scopus数据库 WOS and Scopus databases

节点圆圈大小代表出现频率的高低；节点连线粗细代表合作关系的强弱。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　2005—2025 年中国西南地区农业碳排放研究领域作者合作图谱

Fig. 2　Authorship mapping of agricultural carbon emissions research field in Southwest China from 2005 to 2025

表 1　2005—2025 年中国西南地区农业碳排放研究领域发文量排名前 10 的作者

Table 1　Performance of top 10 most productive authors in agricultural carbon emissions research field in Southwest China from 2005 to 2025

排名 Ranking	CNKI数据库 CNKI database		WOS和Scopus数据库 WOS and Scopus databases	
	作者 Author	发文量/篇 Number of papers	作者 Author	发文量/篇 Number of papers
1	苏以荣	4	Li Dejun	5
2	陈云进	3	Chen Han	5
3	王龙昌	3	Zhu Bo	5
4	白义鑫	3	Li Hong	4
5	王承玲	2	Li Tao	4
6	李铭刚	2	Luo Yong	4
7	税伟	2	Wang Kai	4
8	陈美景	2	Zhou Wenfeng	3
9	彭娇婷	2	He Tengbing	3
10	樊祖洪	2	Liu Shiliang	3

WOS和Scopus数据库文献的作者合作网络包含285个节点和670条连线，网络密度为0.016 6；最大连通子图包含89位作者，占全部节点的31%（图2(b)）。由表1可知，Li Dejun、Chen Han和Zhu Bo均发文5篇，Li Hong、Li Tao、Luo Yong和Wang Kai均发文4篇。上述英文文献高产作者及其合作团队的研究主要沿2条路径展开：一条以喀斯特土地利用、植被恢复及土壤碳氮变化为重点[31-33]；另一条关注稻麦或稻油轮作系统中的温室气体排放、秸秆还田和田间管理效应[34-36]，农户低碳技术采纳等社会经济问题也开始进入合作研究范围[37]。相较于中文作者合作网络，英文作者合作网络的密度和最大连通子图占比更高，说明核心作者之间的合作更为广泛，多个研究团队已通过共同研究对象或试验平台相互连接，但总体来看中文和英文数据库作者合作可视化图谱均显示，目前西南地区农业碳排放研究跨团队合作仍有拓展空间。

2.3　高被引作者分析

表2列出了2005—2025年WOS数据库中中国西南地区农业碳排放研究总被引频次排名前10的作者。被引频次能够反映作者相关成果在样本文献中的受关注程度，但同时受到发表时间、研究主

表 2 2005—2025 年 WOS 数据库中国西南地区农业碳排放研究总被引频次排名前 10 的作者

Table 2 Top 10 most cited authors in WOS-indexed research on agricultural carbon emissions research field in Southwest China from 2005 to 2025

排名 Ranking	被引作者 Cited author	总被引频次/次 Citation counts	篇均被引量/次 Average citations per article	排名 Ranking	被引作者 Cited author	总被引频次/次 Citation counts	篇均被引量/次 Average citations per article
1	Wang Xiaoguo	239	48.60	6	Chen Xingping	110	22.00
2	Wang Yanqiang	236	59.00	7	Zhang Wushuai	97	24.25
3	Xu Jianchu	148	38.50	8	Shi Xiaojun	81	27.00
4	Zhu Bo	147	24.83	9	Tang Jialiang	68	22.67
5	Zhou Minghua	120	24.20	10	Lee Xinqing	67	22.33

题和合作网络等因素影响，因此不宜直接等同于研究质量。Wang Xiaoguo 和 Wang Yanqiang 的总被引频次分别为 239 和 236 次，居前 2 位；Xu Jianchu 和 Zhu Bo 分别为 148 和 147 次；Zhou Minghua 和 Chen Xingping 分别为 120 和 110 次。上述作者构成了该领域总被引频次较高的学者群体，显示出其在该领域深厚的学术积累与稳固的学术地位。从篇均被引量看，Wang Yanqiang、Wang Xiaoguo 和 Xu Jianchu 分别为 59.00、48.60 和 38.50 次，均高于其他作者。篇均被引量可从单篇文献平均受关注程度的角度补充总被引频次，但不同作者的发文时间和论文数量存在差异，因此应与总被引频次结合解读。综上，Wang Xiaoguo、Wang Yanqiang 和 Xu Jianchu 等作者的相关成果在样本文献中受到较多关注，是该领域较具代表性的高被引作者。

2.4 机构共现分析

中国西南地区农业碳排放研究发文量排名前 10 的机构见表 3。CNKI 数据库中，西南地区高校占据主导地位，其中西南大学发文量最高，达 26 篇；四川农业大学紧随其后，发文量达 25 篇；贵州

表 3 CNKI、WOS 和 Scopus 数据库中国西南地区农业碳排放研究领域发文量前 10 的机构

Table 3 Top 10 productive institutions in research on agricultural carbon emissions research field in Southwest China indexed by CNKI, WOS and Scopus databases

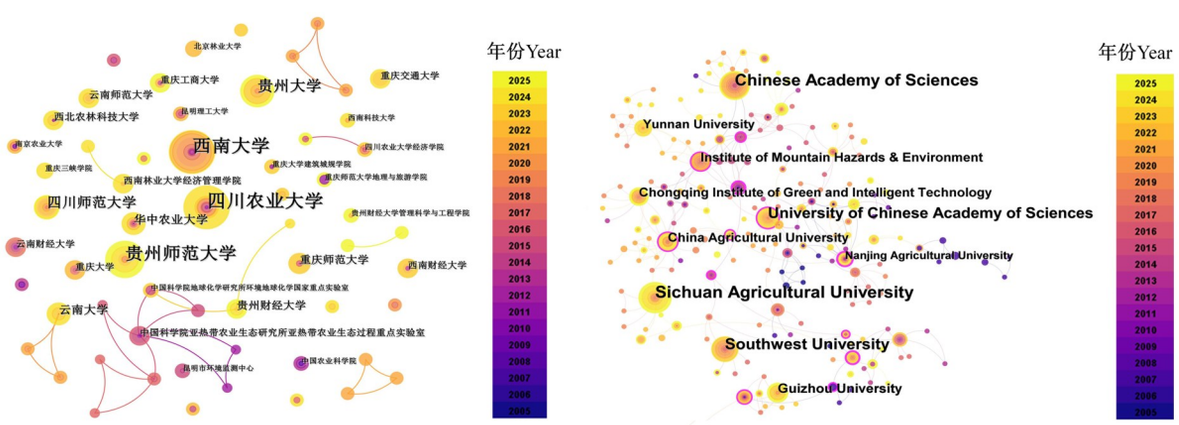
排名 Ranking	CNKI 数据库 CNKI database		WOS 和 Scopus 数据库 WOS and Scopus databases		
	机构 Organization	发文量/篇 Number of papers	机构 Organization	发文量/篇 Number of papers	中心性 Centrality
1	西南大学	26	Sichuan Agricultural University	59	0.10
2	四川农业大学	25	Chinese Academy of Agricultural Sciences	53	0.08
3	贵州师范大学	21	Southwest University	45	0.02
4	贵州大学	14	University of Chinese Academy of Sciences	37	0.12
5	四川师范大学	12	Guizhou University	22	0.01
6	云南大学	7	Institute of Mountain Hazards & Environment	21	0.18
7	华中农业大学	7	Chongqing Institute of Green and Intelligent Technology	21	0.03
8	贵州财经大学	6	China Agricultural University	20	0.17
9	重庆师范大学	6	Yunnan University	17	0.06
10	云南师范大学	5	Nanjing Agricultural University	13	0.26

注：由于 CiteSpace 软件无法对 CNKI 数据库中文献进行机构共现分析时生成中心性指标，故 CNKI 数据库部分仅列示机构发文量；WOS 和 Scopus 数据库部分列示机构发文量及中心性。

Note: Since CiteSpace did not generate centrality values for institutional co-occurrence analysis based on the CNKI database, only the number of publications is reported for institutions in the CNKI database. For the WOS and Scopus databases, both the number of publications and centrality values are presented.

师范大学（21篇）、贵州大学（14篇）和四川师范大学（12篇）等西南地区高校均有较高产出。WOS和Scopus数据库中，Sichuan Agricultural University（四川农业大学）发文59篇、中心性为0.10；Chinese Academy of Agricultural Sciences（中国农业科学院）发文53篇、中心性为0.08；Southwest University（西南大学）发文45篇；Nanjing Agricultural University（南京农业大学）虽然发文量为13篇，但中心性（0.26）最高，在所有机构中协作影响力最强；中国科学院水利部成都山地灾害与环境研究所和中国农业大学的中心性分别为0.18和0.17。由此可见，西南地区高校是主要研究力量，同时南京农业大学、中国农业大学等西南地区以外的科研机构在合作网络中也具有较强的连接作用。

由图3所示的机构共现可视化图谱可知，CNKI数据库机构合作网络（图3(a)）共有222个节点和124条连线，网络密度较低（0.005 1），核心机构间缺乏稳定的学术合作关联。从地域特征看，西南地区以西南大学、四川农业大学及贵州师范大学为代表的科研力量贡献最为突出，但核心机构间连线分布稀疏，引领带动作用相对局限，反映出区域内机构间的协作强度不足，多以独立研究为主。反观WOS和Scopus数据库机构图谱（图3(b)）中节点关联性更强，共有358个节点和415条连线，中心性普遍较高。中心性较高的机构主要有Nanjing Agricultural University（南京农业大学）、China Agricultural University（中国农业大学）等科研强校，其在国际合作网络中承担着枢纽作用。但综合性大学与地方农业院校之间缺乏实质性合作，存在一定学术壁垒。上述高校在国际视角下合作网络的完整协同性整体优于中文文献，呈现出更为多元、开放的学术交流态势。



(a) CNKI数据库 CNKI database　　(b) WOS和Scopus数据库 WOS and Scopus databases

图3　CNKI、WOS和Scopus数据库中中国西南地区农业碳排放研究的主要机构图谱

Fig. 3　Visualization map of institutions of agricultural carbon emissions research field in Southwest China based on the CNKI, WOS and Scopus databases

2.5　研究热点分析

2.5.1　文献高被引分析

高被引文献集中反映了学术共同体的关注焦点[38]，中国西南地区农业碳排放相关的高被引文献详见表4。中文文献中被引频次排首位的是王兴发表于《中国人口·资源与环境》的《西南地区农业碳排放趋势及影响因素研究》（被引104次）[39]，该研究指出农业经济发展水平是主要的碳增排因素，为后续区域农业碳排放系统性研究提供重要框架。被引59次的《桂西北典型喀斯特峰丛洼地退耕还林还草的固碳效益评价》，聚焦于桂西北喀斯特退耕还林还草固碳效益研究[40]。陈勇等[41]和王才军等[42]的相关研究均被引57次。按表4所示高被引文献的研究内容，可大致归纳为3类：一是区域农业碳排放核算、时序变化及驱动因素研究[39,41-45]；二是喀斯特地区土地利用变化、生态恢复与固碳效益研究[40,46]；三是不同轮作和氮素管理条件下的农田温室气体排放研究[47]。这些高被引文献集中发表于2012—2021年，反映出区域碳排放核算、喀斯特固碳和农田管理是该研究领域较早形成并持续受到

表 4 CNKI 数据库中国西南地区农业碳排放研究领域被引频次排名前 10 的文献

Table 4 Top 10 cited publications in CNKI-indexed research on agricultural carbon emissions research field in Southwest China

排名 Ranking	题目 Title	第一作者 First author	文献来源 Source	发表年份 Publication year	被引次数 Citation counts
1	西南地区农业碳排放趋势及影响因素研究	王兴	《中国人口·资源与环境》	2017	104
2	桂西北典型喀斯特峰丛洼地退耕还林还草的固碳效益评价	刘淑娟	《生态学报》	2016	59
3	基于EKC模型的西南地区农业生态系统碳足迹研究	陈勇	《农业技术经济》	2013	57
4	基于农业投入的重庆农业碳排放时序特征及减排措施研究	王才军	《水土保持研究》	2012	57
5	黔中喀斯特地区农业生产碳排放实证研究	白义鑫	《中国农业资源与区划》	2021	51
6	重庆市农田系统碳源/汇特征及碳足迹分析	周陶	《西南大学学报(自然科学版)》	2014	47
7	农业碳排放特征及影响因素分析——以云南为例	杨红娟	《生态经济》	2015	45
8	中国西南地区农田生态系统碳源/汇时空差异研究	林秀群	《江苏农业学报》	2016	32
9	贵州喀斯特农田生态系统碳足迹时空差异研究	白义鑫	《四川农业大学学报》	2019	30
10	四川盆地不同轮作方式和氮素管理对农田温室气体排放及净温室效应的影响	宿敏敏	中国农业大学	2016	29

关注的主题,这与我国生态文明建设及“双碳”目标[4]推进的政策背景密切相关。近年来仍有高被引文献出现,说明该领域持续受到关注,研究议题不断深化。

WOS 和 Scopus 数据库的高被引文献见表 5。Chen 等[48]关于生物炭影响稻田土壤微生物群落的研究被引 315 次,居首位;Werner 等[49]关于西南季节性热带雨林和橡胶林温室气体排放的研究被引 131 次;Huang 等[50]和 Zhou 等[36]的相关研究均被引 81 次。结合被引频次排名前 10 篇文献的研究内容可以看出,英文高被引研究主要集中于 2 类问题:一类是 CH_4、N_2O 和 CO_2 通量的长期监测及其与轮作、排水、免耕和秸秆管理的关系[35,51-52];另一类是生物炭、控释氮肥等管理措施对土壤微生物、温室气体排放、作物产量和环境经济效益的影响[48,50,53-54]。此外,土地利用变化与农户生计效应等社会经济问题也有所涉及。与中文高被引文献相比,英文高被引文献研究更集中于田间过程、管理措施及其作用机制,强调通过肥料革新与耕作改良实现温室气体的精准减排。

2.5.2 关键词共现分析

关键词作为文章核心内容的浓缩与提炼[55],其共现网络分布如图 4 所示。结合表 6 中频次排名前 10 的关键词可知,自 2021 年国务院印发《2030 年前碳达峰行动方案》将“农业农村减排固碳行动”列为“碳达峰十大行动”之一以来[56],西南地区学者迅速响应,围绕农业与土地利用领域的减排路径展开了大量研究。在中文文献中“低碳农业”以 87 次的高频次和 0.47 的高中心度稳居第 1,是回应国家减排固碳任务的重要学术切入点。而“碳中和”“碳达峰”及“‘双碳’目标”等关键词高频出现,深度契合《2030 年前碳达峰行动方案》等国家战略导向。随后在农业农村部、国家发展改革委 2022 年联合印发的《农业农村减排固碳实施方案》的指引下,明确农田甲烷减排、碳汇提升等重点任务[57],进一步深化“固碳潜力”“碳汇”等技术性议题。“土地利用变化”等关键词的高频出现,反映出该区域在土地利用、碳汇和固碳潜力等区域生态问题的持续关注[40,58]。

与中文文献侧重宏观模式不同,WOS 和 Scopus

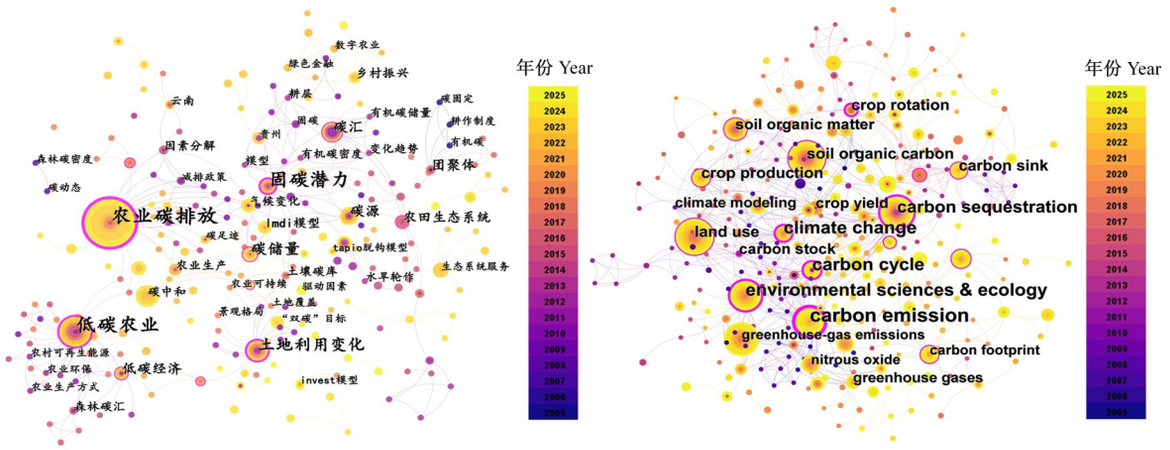
表 5　WOS 和 Scopus 数据库中国西南地区农业碳排放研究领域被引频次排名前 10 的文献

Table 5　Top 10 most cited articles on agricultural carbon emissions research field in Southwest China indexed by WOS and Scopus databases

排名 Ranking	题目 Title	第一作者 First author	文献来源 Source	发表年份 Publication year	被引次数 Citation counts
1	Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China	Chen Junhui	*Applied Soil Ecology*	2013	315
2	N_2O, CH_4 and CO_2 emissions from seasonal tropical rainforests and a rubber plantation in Southwest China	Werner Christian	*Plant and Soil*	2006	131
3	Variation in N_2O emission and N_2O related microbial functional genes in straw- and biochar-amended and non-amended soils	Huang Rong	*Applied Soil Ecology*	2019	81
4	Long-term field measurements of annual methane and nitrous oxide emissions from a Chinese subtropical wheat-rice rotation system	Zhou Minghua	*Soil Biology & Biochemistry*	2017	81
5	Nitrous oxide and methane emissions from a subtropical rice-rapeseed rotation system in China: A 3-year field case study	Zhou Minghua	*Agriculture, Ecosystems & Environment*	2015	76
6	Biochar provided limited benefits for rice yield and greenhouse gas mitigation six years following an amendment in a fertile rice paddy	Liu Xiaoyu	*Catena*	2019	71
7	Fluxes of CH_4 and N_2O from soil under a tropical seasonal rain forest in Xishuangbanna, Southwest China	Yan Yuping	*Journal of Environmental Sciences*	2008	60
8	Agronomic, environmental, and ecosystem economic benefits of controlled-release nitrogen fertilizers for maize production in Southwest China	Yao Zhi	*Journal of Cleaner Production*	2021	58
9	Social and economic impacts of carbon sequestration and land use change on peasant households in rural China: A case study of Liping, Guizhou Province	Xu Wei	*Journal of Environmental Management*	2007	43
10	Drainage, no-tillage and crop rotation decreases annual cumulative emissions of methane and nitrous oxide from a rice field in Southwest China	Hao Qingju	*Agriculture, Ecosystems & Environment*	2016	34

数据库中的研究热点高度聚焦于微观机理与环境过程。“land use”“soil organic carbon”和“carbon emission”揭示了国际视野下的研究重点主要在于解析由土地利用转型所引发的土壤理化性状的响应，寻求区域农业碳排放演变中的平衡。值得注意的是，“carbon emission”虽然频次排名第 5，但其中心度高达 0.45，它将“greenhouse gas emissions”“carbon sequestration”以及“nitrous oxide”等具体环境要素紧密连接。结合代表性文献可以看出，英文文献研究主要聚焦土地利用变化与土壤有机碳积累[31-33,35]，稻田或轮作系统中 CH_4、N_2O 排放及其管理调控[34,36,48,50-54]，并逐步延伸到碳固存、碳足迹和可持续性评价[59]。中文和英文文献均以土地利用、碳源/汇和农业排放为共同基础，但中文文献在低碳农业、碳中和和区域发展等宏观议题上的比重相对较高，而英文文献则对土壤和农田尺度生态过程的关注更为突出。

关键词聚类进一步印证了上述热点判断，详见表 7。CNKI 数据库文献聚类的模块度 Q 为 0.863 8、平均轮廓值 S 为 0.910 7，英文数据库 Q 和 S 分别为 0.690 5 和 0.885 5，说明 2 类聚类均具有较清晰的边界和较好的内部一致性。中文文献中的“‘双碳’



(a) CNKI数据库 CNKI database (b) WOS和Scopus数据库 WOS and Scopus databases

图 4 2005—2025 年西南农业碳排放研究领域关键词共现图谱

Fig. 4 Keywords co-occurrence map of publications on agricultural carbon emissions research field in Southwest China from 2005 to 2025

表 6 CNKI、WOS 和 Scopus 数据库中国西南地区农业碳排放研究领域频次排名前 10 的关键词

Table 6 Top 10 frequent keywords in research on agricultural carbon emissions research field in Southwest China in the CNKI, WOS and Scopus databases

排序 Ranking	CNKI数据库 CNKI database			WOS 和 Scopus 数据库 WOS and Scopus databases		
	关键词 Keywords	频次/次 Frequency	中心度 Centrality	关键词 Keywords	频次/次 Frequency	中心度 Centrality
1	低碳农业	87	0.47	land use	105	0.15
2	碳中和	15	0.05	soil organic carbon	95	0.19
3	土地利用变化	15	0.25	greenhouse gas emissions	81	0.09
4	碳汇	13	0.13	environmental sciences & ecology	76	0.30
5	固碳潜力	11	0.29	carbon emission	76	0.45
6	碳源	9	0.06	carbon sequestration	64	0.21
7	气候变化	7	0.03	soil organic matter	44	0.15
8	碳储量	7	0.15	nitrous oxide	39	0.07
9	碳达峰	6	0.02	carbon footprint	26	0.15
10	“双碳”目标	6	0.04	crop production	26	0.17

目标”“固碳潜力”“低碳农业”“农业碳排放”和“土地利用”等聚类，反映出研究内容由区域碳核算、农田固碳逐步延伸至低碳发展政策与实施路径。英文文献中的“carbon sink”“organic carbon”“global warming”“carbon emission”和“land use”等聚类，则将土地利用、土壤碳过程和温室气体减排连接为较完整的研究链条。可见，2 类文献的研究热点基础相近，均关注农业碳汇、土地利用、碳排放核算等核心主题，但问题尺度有所不同：前者较多回答区域农业如何核算、如何转型，后者更关注农田系统中碳如何变化以及管理措施如何影响排放，共同构建起该领域立体而多元的知识图谱。

2.5.3 突现词分析

采用 CiteSpace 的 Burst 功能识别 CNKI、WOS 和 Scopus 数据库的突现词[60]，结果分别见表 8 和表 9。2010—2015 年，“碳汇”“土地利用变化”“喀斯特地区”和“因素分解”相继突现，研究重点是判定区域农业究竟表现为碳源还是碳汇，并解释不同地区之间的差异[39-44]。此后，“农田生态系统”“固碳潜力”“土壤团聚体”“地膜覆盖”等关键词持续活跃至

表 7　2005—2025 年西南农业碳排放研究领域高频关键词聚类表

Table 7　Clusters of high-frequency keywords in publications on agricultural carbon emissions research field in Southwest China from 2005 to 2025

CNKI 数据库 CNKI database		WOS、Scopus 数据库 WOS and Scopus databases	
聚类名称 Cluster	高频关键词 High-frequency keywords	聚类名称 Cluster	高频关键词 High-frequency keywords
#0“双碳”目标 carbon peaking and carbon neutrality goals	“双碳”目标 驱动因素 STIRPAT 模型 Tapio 脱钩模型 石漠化	#0 carbon sink	carbon sink carbon balance microbial community organic fertilizers environmental policy
#1 固碳潜力 carbon sequestration potential	固碳潜力 土壤有机碳 减排潜力 氮肥利用率 农田管理	#1 organic carbon	organic carbon carbon storage biogeochemical cycling carbon sequestration potential ecosystem function
#2 低碳农业 low-carbon agriculture	低碳农业 时空分异特征 农业生产 低碳发展 农业碳汇量	#2 global warming	global warming greenhouse gas emissions life-cycle assessment CH_4 emissions agricultural robots
#3 农业碳排放 agricultural carbon emissions	农业碳排放 因素分解 IPCC 模型 随机森林 净碳平衡	#3 carbon emission	carbon emission agricultural emission greenhouse effect farming system energy consumption
#4 土地利用 land use	土地利用 土壤碳库 农业可持续 GIS 空间分析 土壤碳源汇	#4 land use	land use sustainable development agricultural production agricultural economy rock desertification

2021 年前后，表明研究开始从区域总量核算深入到土壤碳库、农田生态过程和具体管理措施[22-26,40,45-46]。2021 年后，“碳中和”的突现强度达到 4.51，“碳达峰”“‘双碳’目标”“STIRPAT 模型”和“时空变化”等词持续突现至 2025 年，“三峡库区”等区域词也同步出现。中文文献突现词的演变显示，研究重点由早期的碳源/汇识别和土地利用变化，逐步转向农田生态过程、固碳潜力及低碳发展相关研究方向。由此可见，相关研究已不再满足于测算排放量，而是更加关注排放差异的形成原因、政策目标的区域落实以及减排路径的空间配置[56-58]。

英文文献的突现词呈现出由基础过程研究向管理调控拓展的趋势。2005—2017 年，“carbon dioxide”“carbon sink”“soil carbon”“nitrogen”和“soil organic carbon”等词先后突现，主要围绕碳库构成、土壤碳氮循环及土地利用变化展开[31-33]。2016—2022 年，研究对象逐渐落实到具体土地利用方式和作物系统，“forestry”“wheat”“zea mays”“straw”“methane”“crop yield”和“rice”等词较为集中；“nitrous oxide”在 2018—2021 年的突现强度达到 5.98，反映出农田温室气体通量及其管理效应成为这一时期的重点[34-36,48,50-54]。自 2023 年起，“emission

表 8 2005—2025 年 CNKI 数据库西南农业碳排放研究领域关键词突现信息

Table 8 Keywords burst information in the CNKI database on agricultural carbon emissions research field in Southwest China from 2005 to 2025

关键词 Keywords	年份 Year	强度 Strength	起始年份 Begin year	终止年份 End year	2005—2025 年突现年份 Burst time during 2005-2025
碳汇	2010	3.85	2010	2012	
土地利用变化	2011	1.76	2011	2012	
喀斯特地区	2011	1.51	2011	2012	
因素分解	2011	1.31	2011	2015	
农田生态系统	2012	1.87	2012	2019	
固碳潜力	2009	1.47	2013	2016	
喀斯特	2011	1.87	2015	2021	
土壤团聚体	2016	1.69	2016	2021	
低碳发展	2016	1.41	2016	2020	
地膜覆盖	2018	1.52	2018	2021	
碳中和	2021	4.51	2021	2025	
生态系统服务	2022	3.28	2022	2023	
碳达峰	2022	2.07	2022	2025	
三峡库区	2022	1.94	2022	2025	
“双碳”目标	2022	1.66	2022	2025	
STIRPAT 模型	2022	1.38	2022	2025	
时空变化	2023	1.76	2023	2025	

注：淡蓝色条表示未出现年份；蓝色条表示开始出现年份；红色条表示突现年份。下同。

Note: The light-blue bars indicate non-burst years, the blue bars indicate the beginning year, and the red bars indicate burst years. The same applies below.

control”“spatial distribution”“sustainability”和“carbon cycle”持续突现，研究开始同时关注减排成效、空间差异及农业生产与生态目标的协调。结合关键词共现和聚类结果可以判断，土地利用、土壤有机碳和温室气体排放仍是相对稳定的知识基础，而排放控制、空间分布和可持续性评价构成近年的主要增长方向[59]。英文文献的研究由过程识别走向管理效果和综合效益评价的趋势逐渐显现。

3 结 论

本研究基于 CNKI、WOS 和 Scopus 数据库，对 2005—2025 年中国西南地区农业碳排放研究的发文情况、合作网络、研究热点及主题演变进行了文献计量分析。主要结论如下：

1）该领域研究总体呈增长态势，研究力量主要集中于高校和科研院所。中文文献中，苏以荣、陈云进、王龙昌和白义鑫等作者较为活跃；英文文献中，Li Dejun、Chen Han 和 Zhu Bo 发文量较高。发文量较高的机构中，CNKI 数据库中西南大学和四川农业大学发文量分别为 26 和 25 篇，WOS 和 Scopus 中四川农业大学和中国农业科学院分别为 59 和 53 篇。英文文献作者合作网络较中文文献更紧密，但跨团队、跨机构合作仍有加强空间。

2）区域碳排放核算、喀斯特生态过程和农田减排管理是较稳定的研究内容。CNKI 数据库中被引频次最高的文献为王兴等关于西南地区农业碳排放趋势及影响因素的研究（104 次）；WOS 和 Scopus 数据库中被引频次最高的文献为 Chen Junhui 等关于生物炭影响稻田土壤微生物群落的研究（315 次）。总体来看，中文文献研究更侧重区域尺度的排放核算、时空差异和低碳发展，英文文献研究则更多关注土地利用、土壤有机碳及 CH_4、N_2O 排放等农田生态过程。这些结果表明，区域尺度的排放核算与农田尺度的碳氮过程研究，是中国西南地区农业碳排放研究的 2 个主要方面。

3）中英文文献的关注重点有所不同。中文文

表 9　2005—2025 年 WOS 和 Scopus 数据库西南农业碳排放研究领域关键词突现信息

Table 9　Keywords burst information in the WOS and Scopus databases on agricultural carbon emissions research field in Southwest China from 2005 to 2025

关键词 Keywords	年份 Year	强度 Strength	起始年份 Begin year	终止年份 End year	2005—2025 年突现年份 Burst time during 2005-2025
carbon dioxide	2005	2.12	2005	2011	
carbon sink	2011	4.39	2011	2012	
soil carbon	2011	3.20	2015	2016	
nitrogen	2015	2.49	2015	2016	
forestry	2008	3.89	2016	2020	
soil organic carbon	2005	2.94	2016	2017	
wheat	2016	2.67	2016	2019	
growth	2016	2.42	2016	2017	
zea mays	2014	3.51	2017	2020	
soil organic matter	2011	2.90	2017	2018	
nitrous oxide	2005	5.98	2018	2021	
straw	2018	2.74	2018	2019	
methane	2005	2.53	2018	2021	
crop yield	2006	3.71	2019	2020	
rice	2010	3.55	2019	2021	
landforms	2019	2.84	2019	2022	
vegetation	2020	3.12	2020	2022	
emission control	2016	4.00	2023	2025	
spatial distribution	2023	3.19	2023	2025	
sustainability	2023	2.39	2023	2025	
carbon cycle	2008	2.21	2023	2025	

献中的“低碳农业”出现 87 次，此外“碳中和”“土地利用变化”“碳汇”和“固碳潜力”等关键词也较为突出，研究较多关注农业碳排放的时空差异、影响因素及低碳发展问题。英文文献中，“land use”“soil organic carbon”和“greenhouse-gas emissions”分别出现 105、95 和 81 次，研究重点更多落在土地利用变化、土壤碳库及 CH_4、N_2O 等温室气体排放过程。2 类文献虽然研究尺度不同，但均把土地利用和农业碳源/汇作为重要内容，也反映出西南地区喀斯特地貌和复杂土地利用方式对相关研究选题具有较明显的影响。

4）关键词突现结果反映出不同时期研究关注点的变化。中文文献早期主要围绕“碳汇”“土地利用变化”“喀斯特地区”和“因素分解”等展开，此后“农田生态系统”“固碳潜力”“土壤团聚体”和“地膜覆盖”等关键词相继受到关注。2021 年以后，“碳中和”“碳达峰”“STIRPAT 模型”和“时空变化”等关键词持续突现，区域碳排放差异及其驱动因素逐渐成为研究重点。英文文献的变化有所不同，前期较多涉及“carbon dioxide”“soil carbon”和“nitrogen”等土壤碳氮过程，随后研究对象扩展至“nitrous oxide”“methane”及不同作物系统。2023 年以来，“emission control”“spatial distribution”和“sustainability”等关键词持续出现，由此可见，当前中国西南地区农业碳排放研究更加重视区域差异、减排效果及农业生产与生态目标的协调。后续可结合西南地区山地和喀斯特农业生态特征，进一步加强田间碳氮过程研究与区域碳排放核算、减排措施评价之间的联系。

参考文献　References

[1] 代琳，齐云飞，严若泉. 双碳目标视域下我国农业生态效率对碳减排评价影响分析及对策研究[J]. 生态学报，2026，46(5)：1-18
Dai L，Qi Y F，Yan R Q. Analysis and countermeasure research on the influence of agricultural ecological efficiency on carbon emission reduction evaluation from the perspective of Dual Carbon Goals in China[J]. *Acta*

Ecologica Sinica, 2026, 46(5): 1-18 (in Chinese)

[2] Wu H, Yang Y, Shen Y. Agricultural carbon emissions in China: Estimation, influencing factors, and projection of peak emissions[J]. *Polish Journal of Environmental Studies*, 2024, 33(4): 4791-4806

[3] 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, 宁淼, 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)

[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]. [2025-12-20]. 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]. [2025-12-20]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content_5546168.htm (in Chinese)

[5] 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)

[6] Tang R Y, Chu Y Y, Liu X Q, Yang Z S, Yao J. Driving factors and decoupling effects of non-CO_2 greenhouse gas emissions from agriculture in southwest China[J]. *Atmosphere*, 2024, 15(9): 1084

[7] 闫妍, 杨文娅, 莫金宇, 饶佳娇, 黄玉清, 张建兵. 滇桂黔喀斯特地区耕地碳储量时空格局变化及碳汇区识别[J]. 武汉大学学报:理学版, 2025, 71(1): 53-61
Yan Y, Yang W Y, Mo J Y, Rao J J, Huang Y Q, Zhang J B. Spatio-temporal evolution of cultivated land carbon storage and identification of carbon sink areas in the karst region of Yunnan, Guangxi and Guizhou[J]. *Journal of Wuhan University: Natural Science Edition*, 2025, 71(1): 53-61 (in Chinese)

[8] 王鹏飞, 王英, 刘自广, 何鑫淼, 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 P F, Wang Y, Liu Z G, He X M, Wang J L. 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 (in Chinese)

[9] Huang X J, Wu X Y, Guo X Y, Shen Y. Agricultural carbon emissions in China: Measurement, spatiotemporal evolution, and influencing factors analysis[J]. *Frontiers in Environmental Science*, 2024, 12: 1488047

[10] Meng Y, Shen Y Y, Wang W, Liu Y Q, Wang F, Wang H. Who affects carbon emissions? Drivers and decoupling effects of agricultural carbon emissions: Evidence from Sichuan, China[J]. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 2024, 8: 1441118

[11] Wei X, Chen B H. Spatial association network structure of agricultural carbon emission efficiency in Chinese cities and its driving factors[J]. *Scientific Reports*, 2024, 14: 31810

[12] Newman M E J. Modularity and community structure in networks[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2006, 103(23): 8577-8582

[13] Rousseeuw P J. Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis[J]. *Journal of Computational and Applied Mathematics*, 1987, 20: 53-65

[14] Chen C M, Ibekwe-SanJuan F, Hou J H. The structure and dynamics of cocitation clusters: A multiple-perspective cocitation analysis[J]. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 2010, 61(7): 1386-1409

[15] 中华人民共和国国务院. 国家环境保护"十二五"规划[EB/OL]. [2025-12-20]. http://www.gov.cn/zwgk/2011-12/20/content_2024895.htm
State Council of the People's Republic of China. The 12th Five-Year Plan for National Environmental Protection[EB/OL]. [2025-12-20]. http://www.gov.cn/zwgk/2011-12/20/content_2024895.htm (in Chinese)

[16] 郭霖睿. "双碳"背景下国际气候变化治理探析[J]. 西南林业大学学报: 社会科学, 2025, 9(4): 42-48
Guo L R. Analysis of international climate change governance under the 'dual carbon' goal[J]. *Journal of Southwest Forestry University: Social Sciences*, 2025, 9(4): 42-48 (in Chinese)

[17] 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]. 中国环境科学, 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)

[18] 农业农村部, 国家发展改革委, 科技部, 自然资源部, 生态环境部, 国家林草局. 农业农村部 国家发展改革委 科技部 自然资源部 生态环境部 国家林草局关于印发《"十四五"全国农业绿色发展规划》的通知[EB/OL]. [2025-12-20]. https://www.moa.gov.cn: 10443/govpublic/FZJHS/202109/t20210907_6375844.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology, Ministry of Natural Resources, Ministry of Ecology and Environment, National Forestry and Grassland Administration. Notice of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Development and Reform Commission, Ministry of Science and Technology, Ministry of Natural Resources, Ministry of Ecology and Environment, and National Forestry and Grassland Administration on issuing the *"14th Five-Year Plan" for National Agricultural Green Development*[EB/OL]. [2025-12-20]. https://www.moa.gov.cn: 10443/govpublic/FZJHS/202109/t20210907_6375844.htm (in Chinese)

[19] 农业农村部. 农业农村部关于加快农业发展全面绿色转型促进乡村生态振兴的指导意见[EB/OL]. [2025-12-20]. https://www.moa.gov.cn/govpublic/FZJHS/202412/t20241230_6468640.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Guiding opinions of the Ministry of Agriculture and Rural Affairs on accelerating the comprehensive green transformation of agricultural development and promoting Rural Ecological Revitalization[EB/OL]. [2025-12-20]. https://www.moa.gov.cn/govpublic/FZJHS/202412/t20241230_6468640.htm (in Chinese)

[20] 白义鑫. 基于土壤碳储量和农业活动碳排放的喀斯特石漠化增汇型植被修复技术模式的构建[D]. 贵阳: 贵州师范大学, 2020
Bai Y X. Model construction of vegetation restoration technology with sink-increasing effects for karst rock desertification control based on soil carbon storage and carbon emissions of agricultural activities[D]. Guiyang: Guizhou Normal University, 2020 (in Chinese)

[21] 白义鑫, 王霖娇, 盛茂银. 黔中喀斯特地区农业生产碳排放实证研究[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(3): 150-157
Bai Y X, Wang L J, Sheng M Y. Empirical study on carbon emission of agricultural production in karst region of Guizhou Province[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(3): 150-157 (in Chinese)

[22] 林明月, 邓少虹, 苏以荣, 刘坤平, 李伏生. 施肥对喀斯特地区植草土壤活性有机碳组分和牧草固碳的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2012, 18(5): 1119-1126
Lin M Y, Deng S H, Su Y R, Liu K P, Li F S. Effects of fertilization on soil active organic carbon and carbon sequestration of forage in Karst region[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2012, 18(5): 1119-1126 (in Chinese)

[23] 张赛，王龙昌，杜娟，赵琳璐，陈娇，石超，黄召存，熊瑛，贾会娟．西南“旱三熟”区不同作物和秸秆覆盖对土壤团聚体及固碳潜力的影响[J]．草业学报，2016，25(1)：98-107
Zhang S，Wang L C，Du J，Zhao L L，Chen J，Shi C，Huang Z C，Xiong Y，Jia H J．Effects of different crops and straw mulching on soil aggregate and carbon sequestration potential in the dryland，triple cropping systems of Southwest China[J]．*Acta Prataculturae Sinica*，2016，25(1)：98-107 (in Chinese)

[24] 张庆，付斌，李铭刚，吴翔，何翔，邹雪峰，施竹凤，倪明，朱红业，胡万里，杨佩文．洱海流域稻油轮作农田土壤水解酶活性特征[J]．环境科学与技术，2020，43(2)：1-7
Zhang Q，Fu B，Li M G，Wu X，He X，Zou X F，Shi F Z，Ni M，Zhu H Y，Hu W L，Yang P W．Activity characteristics of soil hydrolase in rape-rice rotations farmland of the Erhai River Basin[J]．*Environmental Science & Technology*，2020，43(2)：1-7 (in Chinese)

[25] 邹雪峰，何翔，李铭刚，包玲凤，王雪丽，张庆，施竹凤，倪明，杨济达，杨明英，朱红业，杨佩文．稻油轮作农田土壤碳氮微生物群落多样性特征[J]．环境科学与技术，2021，44(10)：27-35
Zou X F，He X，Li M G，Bao L F，Wang X L，Zhang Q，Shi Z F，Ni M，Yang J D，Yang M Y，Zhu H Y，Yang P W．Diversity of carbon and nitrogen microbial communities in soil of rice-rape rotation farmland [J]．*Environmental Science & Technology*，2021，44(10)：27-35 (in Chinese)

[26] 陈勇，税伟，李首成，康银红．四川兴文县农田生态系统碳源/汇现状特征研究[J]．西南农业学报，2012，25(2)：584-588
Chen Y，Shui W，Li S C，Kang Y H．Study on current characteristics of carbon sink/source in farm and ecosystem in Xingwen County[J]．*Southwest China Journal of Agricultural Sciences*，2012，25(2)：584-588 (in Chinese)

[27] 樊祖洪，王阳，吴卫，覃达，杨贵洁，张繁．贵州省农业碳排放驱动因素与脱钩效应研究[J]．安徽农业科学，2025，53(3)：64-69，81
Fan Z H，Wang Y，Wu W，Qin D，Yang G J，Zhang F．Study on driving factors and decoupling effect of agricultural carbon emissions in Guizhou Province[J]．*Journal of Anhui Agricultural Sciences*，2025，53(3)：64-69，81 (in Chinese)

[28] 李新，石建屏，王承玲，施炎，单倩倩，罗珊．农业低碳发展水平及驱动因子研究：以四川省为例[J]．东北农业科学，2020，45(2)：77-82
Li X，Shi J P，Wang C L，Shi Y，Shan Q Q，Luo S．Study on the development level and driving factors of low carbon agriculture in Sichuan Province[J]．*Journal of Northeast Agricultural Sciences*，2020，45(2)：77-82 (in Chinese)

[29] 申丽，康雄，彭娇婷，袁玉婷，张克新，申菊．农业碳排放与经济增长的动态关系研究：基于低碳政策视角的分析[J]．农业与技术，2025，45(14)：62-66
Shen L，Kang X，Peng J T，Yuan Y T，Zhang K X，Shen J．Study on the dynamic relationship between agricultural carbon emissions and economic growth：Based on the perspective of low-carbon policy[J]．*Agriculture and Technology*，2025，45(14)：62-66 (in Chinese)

[30] 王劲，陈云进．昆明生态农业模式研究及节能减排实效分析[J]．环境科学导刊，2015，34(2)：56-60
Wang J，Chen Y J．Study on ecological agriculture pattern and analysis of the effects of energy-saving and emission-reduction in Kunming [J]．*Environmental Science Survey*，2015，34(2)：56-60 (in Chinese)

[31] Chen H，Yu C Q，Li C S，Xin Q C，Huang X，Zhang J，Yue Y L，Huang G R，Li X C，Wang W．Modeling the impacts of water and fertilizer management on the ecosystem service of rice rotated cropping systems in China[J]．*Agriculture，Ecosystems & Environment*，2016，219：49-57

[32] Li D J，Wen L，Yang L Q，Luo P，Xiao K C，Chen H，Zhang W，He X Y，Chen H S，Wang K L．Dynamics of soil organic carbon and nitrogen following agricultural abandonment in a karst region [J]．*Journal of Geophysical Research：Biogeosciences*，2017，122(1)：230-242

[33] Liu S L，Dong Y H，Cheng F Y，Yin Y J，Zhang Y Q．Variation of soil organic carbon and land use in a dry valley in Sichuan Province，Southwestern China[J]．*Ecological Engineering*，2016，95：501-504

[34] Wang X G，Luo Y．Crop residue incorporation and nitrogen fertilizer effects on greenhouse gas emissions from a subtropical rice system in Southwest China[J]．*Journal of Mountain Science*，2018，15(9)：1972-1986

[35] Wang X G，Zhou M H，Li T，Ke Y，Zhu B．Land use change effects on ecosystem carbon budget in the Sichuan Basin of Southwest China：Conversion of cropland to forest ecosystem [J]．*Science of the Total Environment*，2017，609：556-562

[36] Zhou M H，Zhu B，Wang X G，Wang Y Q．Long-term field measurements of annual methane and nitrous oxide emissions from a Chinese subtropical wheat-rice rotation system[J]．*Soil Biology and Biochemistry*，2017，115：21-34

[37] Zhou W F，He J，Liu S Q，Xu D D．How does trust influence farmers' low-carbon agricultural technology adoption？ Evidence from rural southwest，China[J]．*Land*，2023，12(2)：466

[38] Balaid A，Abd Rozan M Z，Hikmi S N，Memon J．Knowledge maps：A systematic literature review and directions for future research [J]．*International Journal of Information Management*，2016，36(3)：451-475

[39] 王兴，马守田，濮超，赵鑫，王钰乔，张海林．西南地区农业碳排放趋势及影响因素研究[J]．中国人口·资源与环境，2017，27(S2)：231-234
Wang X，Ma S T，Pu C，Zhao X，Wang Y Q，Zhang H L．Study on the trend and influencing factors of agricultural carbon emission in southwest China[J]．*China Population，Resources and Environment*，2017，27(S2)：231-234 (in Chinese)

[40] 刘淑娟，张伟，王克林，苏以荣．桂西北典型喀斯特峰丛洼地退耕还林还草的固碳效益评价[J]．生态学报，2016，36(17)：5528-5536
Liu S J，Zhang W，Wang K L，Su Y R．Evaluation of carbon sequestration after conversion of cropland to forest and grassland projection in karst peak-cluster depression area of northwest Guangxi，China[J]．*Acta Ecologica Sinica*，2016，36(17)：5528-5536 (in Chinese)

[41] 陈勇，李首成，税伟，康银红．基于EKC模型的西南地区农业生态系统碳足迹研究[J]．农业技术经济，2013(2)：120-128
Chen Y，Li S C，Shui W，Kang Y H．Study on the carbon footprint of agroecosystem in southwest China based on the EKC model[J]．*Journal of Agrotechnical Economics*，2013(2)：120-128 (in Chinese)

[42] 王才军，孙德亮，张凤太．基于农业投入的重庆农业碳排放时序特征及减排措施研究[J]．水土保持研究，2012，19(5)：206-209
Wang C J，Sun D L，Zhang F T．Research on temporal characteristics and reduction policy based on input in Chongqing municipality[J]．*Research of Soil and Water Conservation*，2012，19(5)：206-209 (in Chinese)

[43] 周陶，高明，谢德体，魏朝富．重庆市农田系统碳源/汇特征及碳足迹分析[J]．西南大学学报：自然科学版，2014，36(1)：96-102
Zhou T，Gao M，Xie D T，Wei C F．Research on carbon source/sink and carbon footprint of cropland ecosystem in Chongqing [J]．*Journal of Southwest University：Natural Science Edition*，2014，36(1)：96-102 (in Chinese)

[44] 杨红娟，李明云，刘红琴．农业碳排放特征及影响因素分析：以云南为例[J]．生态经济，2015，31(10)：76-78
Yang H J，Li M Y，Liu H Q．Analysis on characteristics and affecting factors of agricultural carbon emissions：A case study in Yunnan[J]．*Ecological Economy*，2015，31(10)：76-78 (in Chinese)

[45] 林秀群，葛颖．中国西南地区农田生态系统碳源/汇时空差异研究[J]．江苏农业学报，2016，32(5)：1088-1093
Lin X Q，Ge Y．Temporal-spatial variation of carbon source-sink of farmland ecosystem in the Southwestern China[J]．*Jiangsu Journal of Agricultural Sciences*，2016，32(5)：1088-1093 (in Chinese)

[46] 白义鑫，盛茂银，胡琪娟，高梦迪．贵州喀斯特农田生态系统碳足迹时空差异研究[J]．四川农业大学学报，2019，37(5)：685-694

Bai Y X, Sheng M Y, Hu Q J, Gao M D. Study on spatial and temporal differences of carbon footprint of karst farmland ecosystem in Guizhou[J]. *Journal of Sichuan Agricultural University*, 2019, 37(5): 685-694 (in Chinese)

[47] 宿敏敏. 四川盆地不同轮作方式和氮素管理对农田温室气体排放及净温室效应的影响[D]. 北京: 中国农业大学, 2016
Su M M. Greenhouse gases emissions and net global warming potential in croplands as affected by different rotation systems and Nitrogen management in Sichuan basin[D]. *Beijing*: *China Agricultural University*, 2016 (in Chinese)

[48] Chen J H, Liu X Y, Zheng J W, Zhang B, Lu H F, Chi Z Z, Pan G X, Li L Q, Zheng J F, Zhang X H, Wang J F, Yu X Y. Biochar soil amendment increased bacterial but decreased fungal gene abundance with shifts in community structure in a slightly acid rice paddy from Southwest China[J]. *Applied Soil Ecology*, 2013, 71: 33-44

[49] Werner C, Zheng X H, Tang J W, Xie B H, Liu C Y, Kiese R, Butterbach-Bahl K. N_2O, CH_4 and CO_2 emissions from seasonal tropical rainforests and a rubber plantation in Southwest China[J]. *Plant and Soil*, 2006, 289(1/2): 335-353

[50] Huang R, Wang Y Y, Liu J, Li J C, Xu G X, Luo M, Xu C, Ci E, Gao M. Variation in N_2O emission and N_2O related microbial functional genes in straw- and biochar-amended and non-amended soils[J]. *Applied Soil Ecology*, 2019, 137: 57-68

[51] Zhou M H, Zhu B, Brueggemann N, Wang X G, Zheng X H, Butterbach-Bahl K. Nitrous oxide and methane emissions from a subtropical rice-rapeseed rotation system in China: A 3-year field case study[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2015, 212: 297-309

[52] Hao Q J, Jiang C S, Chai X S, Huang Z, Fan Z W, Xie D T, He X H. Drainage, no-tillage and crop rotation decreases annual cumulative emissions of methane and nitrous oxide from a rice field in Southwest China[J]. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2016, 233: 270-281

[53] Liu X Y, Zhou J S, Chi Z Z, Zheng J F, Li L Q, Zhang X H, Zheng J W, Cheng K, Bian R J, Pan G X. Biochar provided limited benefits for rice yield and greenhouse gas mitigation six years following an amendment in a fertile rice paddy[J]. *CATENA*, 2019, 179: 20-28

[54] Yao Z, Zhang W S, Wang X B, Zhang L, Zhang W, Liu D Y, Chen X P. Agronomic, environmental, and ecosystem economic benefits of controlled-release nitrogen fertilizers for maize production in Southwest China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 312: 127611

[55] 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

[56] 中华人民共和国国务院. 国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知[EB/OL]. [2025-12-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm
State Council of the People's Republic of China. Circular of the State Council on printing and distributing the Action Plan for Carbon Peaking Before 2030 [EB/OL]. [2025-12-20]. http://www.gov.cn/zhengce/content/2021-10/26/content_5644984.htm (in Chinese)

[57] 农业农村部, 国家发展改革委. 农业农村部 国家发展改革委关于印发《农业农村减排固碳实施方案》的通知[EB/OL]. [2025-12-20]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-06/30/content_5698623.htm
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Development and Reform Commission. Circular on printing and distributing the *Implementation Plan for Agricultural and Rural Emission Reduction and Carbon Sequestration* [EB/OL]. [2025-12-20]. http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-06/30/content_5698623.htm (in Chinese)

[58] Mo J, Chen Y, Mo W H, Zhang Y. Realization and prediction of ecological restoration potential of vegetation in karst areas[J]. *Sustainability*, 2022, 14(19): 12525

[59] Fan M M, Yang W Y, Wu J T, Zhang H, Ye Z W, Shaukat M. Soil organic carbon research and hotspot analysis based on web of science: A bibliometric analysis in CiteSpace[J]. *Agriculture*, 2024, 14(10): 1774

[60] Chen C M, Song M. Visualizing a field of research: A methodology of systematic scientometric reviews[J]. *PLoS One*, 2019, 14(10): e0223994

责任编辑: 申青苗



第一作者简介: 康霞,硕士研究生,中国农业科学院农业环境与可持续发展研究所资源利用与植物保护专业。当前研究重点围绕西南地区典型烟草种植区覆膜栽培过程中的碳排放特征、影响因素及低碳减排路径展开,研究思路侧重于将文献计量分析、生命周期评价和区域农业生产实际相结合,以期为西南地区烟草种植绿色低碳转型及农田生态系统固碳减排研究提供基础数据支撑和方法参考。曾获2020年度国家励志奖学金。



通讯作者简介: 刘勤,博士,研究员,博士生导师,农业农村部农膜污染防控重点实验室主任,中国农科院节水新材料与农膜污染防控团队执行首席,国家地膜科学使用回收试点工作专家组和重点流域面源污染防控专家组成员。长期从事地膜应用与农田地膜污染绿色防控方面的研究。主持国家自然科学基金项目、科技部全球变化重大科学研究计划课题、国家重点研发计划课题、中德农村塑料升级管理项目等10余项,获省部级成果奖励3项,编写有关生物降解地膜应用技术的农业行业标准4项,地方标准4项。以通讯作者发表SCI论文50余篇,主编(副主编)出版专著15部。