



吴桢, 魏雨泉, 徐少奇, 杭胜, 李季, 乔玉辉, 刘东阳, 薛颖昊. 基于文献计量学的乡村能源低碳或零碳化发展[J]. 中国农业大学学报, 2025, 30(8): 156-168.
WU Zhen, WEI Yuquan, XU Shaoqi, HANG Sheng, LI Ji, QIAO Yuhui, LIU Dongyang, XUE Yinghao. Development of low- or zero-carbon rural energy based on bibliometrics[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(8): 156-168.
DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.08.14

基于文献计量学的乡村能源低碳或零碳化发展

吴桢^{1,2} 魏雨泉¹ 徐少奇¹ 杭胜¹ 李季¹ 乔玉辉¹ 刘东阳² 薛颖昊^{2*}

(1. 中国农业大学 资源与环境学院, 北京 100193;

2. 农业农村部 农业生态与资源保护总站, 北京 100125)

摘要 为系统了解国内外乡村地区能源领域低碳或零碳化发展趋势, 检索 2011—2023 年中国知网(CNKI)和 Web of Science 核心合集数据库乡村能源研究领域相关文献, 对得到的共计 3 712 篇文献利用 CiteSpace 软件进行计量和可视化分析, 并对发文量、国家、研究机构、研究热点与趋势进行分析。结果表明: 1) 中、英文文献近年来呈现爆发式增长, 其中中国学者发文量处于领先地位; 国家间合作仍以发达国家为中心, 中国顶尖研究机构与国内外研究机构合作紧密, 影响力较大。2) 国际上研究热点以问题为导向, 侧重碳排放导致环境污染危害人类健康的影响, 而中国研究以政策为导向, 注重政策整合和本土化实践。3) 国际研究演化趋势偏向技术创新优化, 中国研究则在乡村振兴和“双碳”目标耦合政策引导下, 逐步演化为多元融合发展趋势, 未来“能源+资源+减碳+乡村振兴+生态文明”的零碳乡村发展模式将是重点关注的方向。

关键词 零碳乡村; 可再生能源; 节能减排; 乡村振兴; 文献计量学

中图分类号 S210.7; X382

文章编号 1007-4333(2025)08-0156-13

文献标志码 A

Development of low- or zero-carbon rural energy based on bibliometrics

WU Zhen^{1,2}, WEI Yuquan¹, XU Shaoqi¹, HANG Sheng¹, LI Ji¹,

QIAO Yuhui¹, LIU Dongyang², XUE Yinghao^{2*}

(1. College of Resources and Environmental Sciences, China Agricultural University, Beijing 100193, China;

2. Rural Energy & Environment Agency, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Beijing 100125, China)

Abstract To systematically understand the development trends of low- or zero-carbon transitions in rural energy systems at home and abroad, relevant literature in the field of rural energy research in China National Knowledge Infrastructure (CNKI) and Web of Science Core Collection databases from 2011 to 2023 was retrieved, and a total of 3 712 publications were obtained for quantitative and visual analysis by using CiteSpace software. The publication volume, national contributions, research institution, research hotspots and trends were analyzed. The results show that: 1) Both Chinese and English publications have shown explosive growth in recent years, with Chinese scholars leading in terms of publication volume. While international collaborations remain centered around developed countries. China's top research institutions demonstrate extensive collaborations with domestic and international partners, exerting significant influence. 2) International research hotspots are problem-oriented, emphasizing health impacts from pollution caused by carbon emissions, whereas Chinese studies adopt a policy-driven approach, prioritizing policy integration and localized practices. 3) Evolutionary trends analyses reveal

收稿日期: 2024-12-31

基金项目: 全球环境基金“中国零碳村镇促进项目”(PIMS 6431)

第一作者: 吴桢(ORCID: 0009-0009-7951-7590), 硕士研究生, E-mail: S20233030412@cau.edu.cn

通讯作者: 薛颖昊(ORCID: 0000-0001-9981-2014), 博士, 正高级农艺师, 主要从事农业生态环境保护研究, E-mail: xueyinghao@agri.gov.cn

that the international research increasingly focuses on technological innovation optimization, while Chinese studies under the rural revitalization strategies and “dual carbon” goals have evolved into diversified integration. Future research is expected to emphasize the “energy-resource-carbon reduction-rural revitalization-ecological civilization” integrated model for zero-carbon rural development.

Keywords zero-carbon villages; renewable energy; energy conservation and emission reduction; rural revitalization; bibliometrics

全球约70%的碳排放量源自能源系统^[1],而中国由于人口众多和强势的经济增长成为世界最大的能源消费国。中国能源消费从2000年的14.7亿t标准煤增长到2023年的58.3亿t标准煤,成为世界上最大的能源消费国。为了满足不断增长的能源需求,中国从2000年几乎为零的净进口国(国内能源生产14.3亿t标准煤),成为2023年的净进口国(国内能源生产45.6亿t标准煤)^①,这引发了中国对能源安全的担忧,因此,中国政府提出在2030年实现碳达峰,2060年实现碳中和的伟大目标。而在乡村地区,因人口基数大,能源消耗增长速度较快^[2],提高乡村地区可再生能源的开发和利用,并采用可再生能源技术和能源综合管理及节能技术/工艺的乡村低碳或零碳化发展得到了广泛关注。其不仅有助于满足乡村地区日益增长的能源需求,也可加快乡村能源转型,对中国乡村振兴战略中的“生态宜居”建设、促进循环经济具有重要意义,同时也将推动实现中国在《巴黎协定》中自主减排贡献(NDCs)的目标。

全球范围内,乡村能源低碳或零碳化发展研究主要集中在以下领域:在能源系统领域,通过提升能源效率减少需求^[3],开发利用可再生能源扩大能源供给^[4];在农业领域,推动绿色农业模式转型;通过政策工具推广低碳技术的应用。目前相关研究涉及多个交叉维度,但鲜有人对其进行综合性研究,而文献计量、科学知识图谱可视化及空间统计分析,能够通过客观量化分析大量文献数据,系统揭示研究领域的趋势与热点,为乡村能源低碳或零碳化发展研究提供更全面的科学认识。因此,本研究拟采用文献计量法对2011—2023年国内外乡村能源领域研究文献进行全面分析,得到文献发文量变化、国家及机构间合作网络、关键词突现及聚类图谱,从而总结乡村能源领域研究演化趋势与国际差异,以期为当前和未来我国低碳或零碳乡村建设提供建议和参考。

1 数据来源与研究方法

1.1 数据来源

中文文献来自中国知网(CNKI)数据库,英文文献来自Web of Science(WOS)核心集数据库。文献发表时间选取乡村能源领域研究深化密集阶段,即2011—2023年^[5]。在乡村能源需求侧关键词选取“节能(energy conservation)”“建筑(building)”,在供给侧根据国际可再生能源机构(International Renewable Energy Agency)推荐的6类可再生能源^[6]选取“可再生能源(renewable energy)”“生物质能(bioenergy)”“地热能(geothermal energy)”“水电(hydropower)”“海洋(ocean)”“太阳能(solar energy)”“风能(wind energy)”“乡村(rural)”“减碳(carbon reduction)”,检索得到相关文献。

1.2 数据处理及分析方法

为确保数据准确性,剔除检索到的新闻报纸、图书、被撤稿的出版物和会议录论文,经过人工筛选去除重复文献后,得到英文文献2423篇,中文文献1289篇。筛选出的英文文献以纯文本文件格式导出,记录内容为“全记录与引用的参考文献”,中文文献以Refwords格式导出。

利用CiteSpace(6.3.R1版本)软件,对乡村能源低碳或零碳化发展领域研究文献进行可视化分析,分别从该领域文献的作者、国别、所属机构、题目、摘要中提取关键词等信息进行统计,生成知识图谱后进行分析。

2 研究概况

2.1 发文量时序分布

乡村能源研究领域、英文发文量趋势如图1所示。根据发文量变化趋势可分为2个时期:第一时期(2011—2019年),CNKI数据库发文量呈波动下降趋势,2011年发文量较多可能是由于2009年中国楼市量价齐涨,房地产在当时成为新的投资需求^[3],同时

① 数据来自美国能源信息署, <https://www.eia.gov/international/data/country/CHN>

《可再生能源建筑应用城市示范实施方案》《绿色建筑评价技术细则补充说明(运行使用部分)》等建筑节能相关领域政策相继发布,对乡村地区也造成了一定影响;WOS发文量则一直处于稳步上升趋势。第二时期(2020—2023年),CNKI和WOS数据库发文量均

呈爆发式增长,可能是自中国在2020年第75届联合国大会上提出“双碳”目标,2021年《国务院关于印发2030年前碳达峰行动方案的通知》后,乡村能源领域问题日益受到关注,表明政府通过政策引导社会及学者对新能源领域问题的关注取得了明显效果。

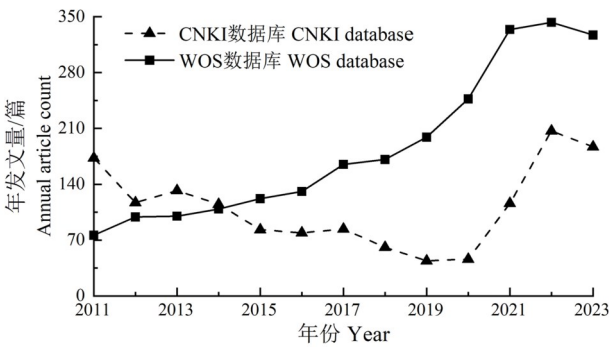


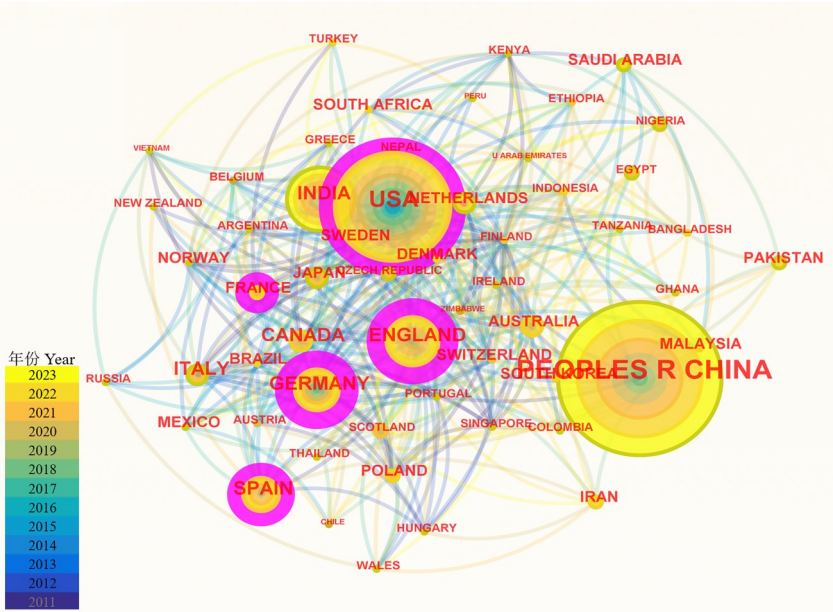
图1 2011—2023年乡村能源研究领域文献发文量变化

Fig. 1 Number of Chinese and English publications in the field of rural energy research from 2011 to 2023

2.2 发文国家与机构合作分析

利用CiteSpace软件,节点类型选取“Institution”“Country”,时间切片为1年,节点筛选方式为每个切片选取最高频次节点数据,结合各时间段及路径搜索精简等技术处理生成发文国家与机构合作图谱,对乡村能源低碳或零碳化发展研究领域国家与机构间进

行合作分析,结果分别见图2和图3。由图2可知:中国发文量最多,美国次之,印度排第3位,然而中国和印度的中心性均较弱,分别为0.05和0.07,表明与其他国家合作较少,美国的中心性则达到了0.19,表明美国与多国合作密切。其余发文量较高的国家依次是英国、德国、西班牙、加拿大、意大利、澳大利亚和日本。



字体大小和圆圈大小与发文数量成正比;连线表示存在合作关系;紫色外圈表示具有较强中心性。下同。

The font size and circle diameter are proportionally scaled to reflect the number of publications. The connecting lines represent collaborative relationships. The purple outer circle indicates strong centrality. The same below.

图2 乡村能源研究领域国家间合作网络

Fig. 2 National cooperation network in rural energy research

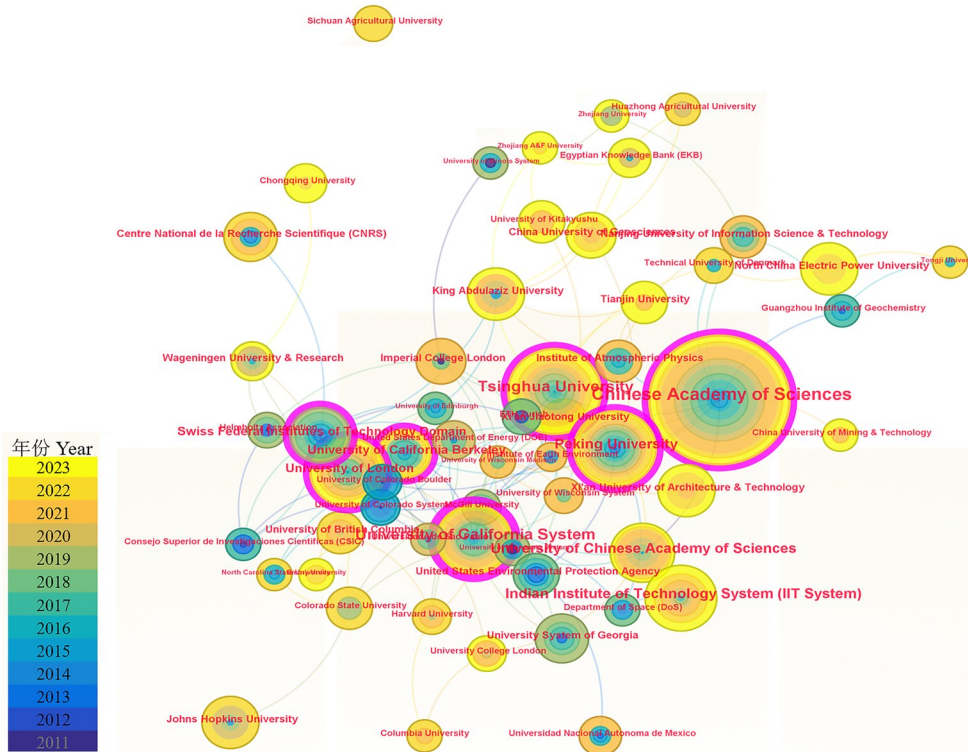


图 3 乡村能源研究领域国际机构间合作网络

Fig. 3 International cooperation network in rural energy research among different research institutions

这些发文量排名处于前列的国家均是经济发展水平较高的国家,GDP排名位于世界前15,可见经济水平是影响当地发展能源清洁化及节能减排的关键因素。同时,中心性较高的节点主要集中在欧美发达国家,且国家间合作主要在2011—2019年,为《巴黎协定》签署的前后2个时期。发达国家与周围节点连线的复杂度进一步展现出《巴黎协定》的核心思想,即国家“自主贡献”的减排模式^[7],强调发达国家继续带头减排,加强对发展中国家的资金、技术和能力建设支持。

对发文量排名前12的研究机构及中心性进行统计,结果见表1。可知:中国研究机构在国际领域占据了大多数,发文量排名第1、2和4位的研究机构分别是中国科学院、清华大学和北京大学,这些均是中国知名研究机构,且具有较强的中心性,在国际上具有较大影响力。从图3年轮和连线颜色上可以看出,中心性较强的研究机构如美国加州大学,同样也是2011—2019年与其他机构合作较多,在早期形成了密切的合作网络,中国其余研究机构对该领域研究大多自2020年以后才逐步深入。

总体上,中国中心性在国家间合作网络中较低,出现这一情况的原因可能是中国研究机构较

多,虽然顶尖学府或者研究院在国际上知名度较高、合作较多,但是其余研究机构对该领域研究起步较晚,大多集中在2020年以后,且仅与国内研究机构合作,与国际上高影响力研究机构的合作仍有待加强。

3 研究热点与趋势

3.1 关键词突现分析

利用CiteSpace软件,节点类型选取“Keyword”,时间切片为1年,节点筛选方式为每个切片选取最高频次节点数据结合寻径网络算法及修剪合并网络精简等技术处理生成可视化图谱,对CNKI和WOS数据库2011—2023年乡村能源低碳或零碳化发展领域研究文献的关键词及进行可视化分析。选取“Burstness”选项对关键词进行突现检测,得到某一时间段出现次数突然增加的关键词,并计算出突现强度^[8],1篇文献出现多次同种关键词只计算1次,得到的CNKI和WOS数据库排名前20个关键词突现相关数据如表2和表3。由表2可知,国内各关键词整体突现强度较小,但突现强度较大(>8)的关键词数量与国际上相同,均为4个,表明国内关键词间突现强度差异性较大。国内突现

表1 发文量排名前12的国家和研究机构及中心性

Table 1 Top 12 countries and research institutions in terms of publication volume and their centrality

排序 Sort	国家 Country	发文量/篇 Number of publications	中心性 Centrality	排序 Sort	研究机构 Research institution	发文量/篇 Number of publications	中心性 Centrality
1	中国	129	0.05	1	中国科学院	18	0.16
2	美国	69	0.19	2	清华大学	16	0.15
3	印度	65	0.07	3	美国加州大学	14	0.21
4	英国	51	0.21	4	北京大学	9	0.15
5	德国	41	0.20	5	印度理工学院	9	0.01
6	西班牙	37	0.15	6	中国科学院大学	8	0.03
7	加拿大	33	0.09	7	伦敦大学	7	0.10
8	意大利	25	0.05	8	瑞士联邦理工学院	6	0.14
9	澳大利亚	23	0.06	9	加利福尼亚大学伯克利分校	6	0.13
10	日本	18	0.02	10	中国地质大学	6	0.05
11	荷兰	17	0.07	11	西安交通大学	5	0.02
12	瑞典	17	0.04	12	瓦格宁根大学	5	0.07

强度较大的关键词按照节点出现年份排序分别为低碳农业、乡村振兴、碳中和、碳达峰。其中低碳农业实际上属于低碳经济的一部分^[9],2003年英国政府发布的能源白皮书《我们能源的未来:创建低碳经济》中首次提出低碳经济一词^[10]。2007年联合国气候变化峰会开幕式上,胡锦涛同志发表了题为《携手应对气候变化挑战》的重要讲话,明确提出要发展低碳经济^[11]。乡村振兴和“双碳”均是2020年前后国内政策热点词汇,可以推测我国乡村能源领域研究热点受政策导向性较大。

英文关键词整体突现强度较大,但近几年突现强度呈下降趋势,突现较大(>8)的关键词主要集中在2015年以前,为carbon monoxide(一氧化碳)、developing country(发展中国家)、indoor air pollution(室内空气污染)、elemental carbon(元素碳),早期对元素碳、一氧化碳及室内空气污染的研究较多,可能的原因在于此前乡村烹饪炊事仍然较多采用传统明火炉灶,在这一过程中采用的民用低效燃料的不完全燃烧极易产生一氧化碳、颗粒物等室内空气污染物危害人类身体健康^[12]。同时,突现图谱中的元素碳和有机碳是大气颗粒物,即大气气溶胶主要含碳组分,占比通常能达到10%~70%,室内空气污染也早已被确定为最大的环境风险因素之一^[13]。而中国在政府干预、技术进步和社会经济发展的推动下,家用炉具已经从明火和传统炉具为主升级为节能、清洁炉灶和燃气灶/电炉^[14]。虽然传统炉灶使用带来的室内空气污染问

题主要发生在发展中国家,但在部分发达国家乡村地区同样也有这方面问题。因此,了解这部分大气气溶胶的来源和形成机制,对于研究区域空气质量对气候及人类健康影响是十分重要的^[15]。

总的来说,英文关键词由于其研究人员、机构来源的复杂性,研究热点的突现通常以问题为导向,在室内空气污染方面涉及较多,包括污染物的组成性质、形成机制、对人类健康的危害等;中文关键词则更多以中国的宏观政策为导向,在乡村振兴和“双碳”领域进行综合性的研究。

3.2 关键词聚类分析

利用CiteSpace软件对“Keyword”进行可视化处理后,选取聚类标签优化生成CNKI和WOS数据库在乡村能源清洁化及节能减排领域关键词聚类图谱,结果分别见图4和图5。CNKI数据库关键词聚类效果较为显著,聚类模块值Q为0.7037,聚类评价轮廓值S为0.8971,均远大于参考值0.3和0.5,说明聚类结果较为可靠。由于该研究领域的复杂性和学科交叉性,即使通过软件分离聚类后,聚类之间实际上仍然存在较为明显的联系。如图4所示,在中文文献研究领域中,聚类#0碳排放,按关键词出现频次与中介中心性划分主要关键词有低碳农业、低碳农村、低碳建设、碳足迹、碳汇和碳循环等;聚类#1节能减排,主要包含的关键词有低碳经济、农村能源、生物质能、沼气;聚类#2低碳,主要包含的关键词有乡村旅游、美丽乡村、太阳能、光伏

表 2 CNKI数据库乡村能源研究领域关键词(前 20 名)突现

Table 2 Burst terms of keywords (Top 20) in rural energy research in CNKI database

关键词 Keyword	节点出现 年份 Node appearance year	强度 Strength	突现开始 年份 Burst begin year	突现结束 年份 Burst end year	2011—2023 年突现年份 Burst year from 2011 to 2023
低碳农业	2011	9.29	2011	2013	
低碳经济	2011	6.81	2011	2014	
低碳农村	2011	2.91	2011	2013	
发展模式	2011	2.43	2011	2012	
能源	2012	2.63	2012	2015	
城镇化	2013	3.16	2013	2014	
指标体系	2013	3.02	2013	2014	
乡村旅游	2011	3.19	2014	2015	
清洁能源	2012	2.63	2014	2015	
美丽乡村	2014	2.23	2014	2015	
能源消费	2011	2.54	2015	2018	
节能减排	2011	7.82	2017	2020	
碳排放	2011	6.66	2018	2021	
乡村振兴	2020	13.08	2020	2023	
绿色发展	2016	3.44	2020	2023	
农村能源	2011	3.06	2020	2023	
绿色建筑	2020	2.52	2020	2023	
碳中和	2021	12.78	2021	2023	
碳达峰	2021	8.68	2021	2023	
情景分析	2021	3.49	2021	2023	

注：红色部分表示关键词持续的时间，浅蓝色部分表示其尚未进入突现阶段的年份。下同。

Note: The red portion indicates the duration of the keywords, and the light blue portion indicates the years in which it has not yet entered the prominence phase. The same bellow.

发电等；聚类#8 农村住宅，主要包含的关键词有新农村、冷气循环、低碳节能；聚类#11 农村沼气，主要包含的关键词有碳减排、定价策略等。上述聚类更侧重节能减排，且从节点颜色上可以看出，2015 年以前研究较多，均是从能源角度对清洁能源、建筑节能等技术方面对降低碳排放进行研究。事实上，从碳排放本身节点颜色可知该领域的研究是不断推陈出新的过程，零碳技术乃至负碳技术均在强有力地引导该领域发展^[16]，但当前的研究已与传统减碳技术产生明显区别，因此不再进行聚类。

聚类#4 乡村振兴，主要包含的关键词有碳中和、新能源、能源发展、绿色低碳等；聚类#5 生态文明，包含绿色发展、建筑设计、低碳建筑等关键词；聚类#6 循环农业，主要包含的关键词有规模种养

等；聚类#7 环境保护，主要关键词有清洁能源、生态农业、低碳生活、污染控制等；聚类#9 西北欠发达地区，主要包含的关键词有乡村社区、碳排放量等。以上聚类侧重乡村振兴，发挥减污降碳的协同效应，在不影响或是促进乡村经济发展的同时保护环境，表明兼顾能源需求的满足和环境的可持续发展成为了学者们研究的重点。

聚类#3 低碳乡村，主要包含的关键词有乡村规划、指标体系、碳达峰、建筑节能、驱动因素、探索等；聚类#12 零碳乡村，主要包含的关键词有未来社区、工程应用、碳交易等。这 2 个聚类是节能减排与乡村振兴的进一步整合，是乡村降碳实践的 2 个阶段。过去发展低碳乡村过程中遇到许多矛盾和阻碍，如乡村脱贫攻坚和环境保护的矛盾、城市低碳

表3 WOS数据库乡村能源研究领域关键词(前20名)突现
Table 3 Burst terms of keywords (Top 20) in rural energy research in WOS database

关键词 Keyword	节点出现 年份 Node appearance year	强度 Strength	突现开始 年份 Burst begin year	突现结束 年份 Burst end year	2011—2023年突现年份 Burst year from 2011 to 2023
indoor air pollution	2011	9.83	2011	2017	
elemental carbon	2011	9.50	2011	2017	
emissions	2011	7.82	2011	2015	
chemical composition	2011	7.05	2011	2017	
air pollution	2011	6.02	2011	2014	
carbon dioxide	2011	5.94	2011	2019	
developing country	2012	10.86	2012	2018	
organic carbon	2012	7.12	2012	2017	
atmospheric aerosols	2012	6.76	2012	2014	
carbon monoxide	2013	13.64	2013	2015	
particulate matter	2011	5.35	2013	2018	
bioenergy	2013	4.86	2013	2015	
sustainability	2014	6.57	2014	2018	
nitrogen	2011	4.95	2015	2016	
emission factors	2015	4.65	2015	2017	
combustion	2016	5.17	2016	2020	
greenhouse gas emissions	2018	6.75	2018	2019	
electricity	2018	4.81	2018	2023	
wind energy	2021	4.69	2021	2023	
carbon emission	2021	4.68	2021	2023	

技术不适配乡村、驱动因素不明确、低碳技术不成熟等^[17],导致低碳乡村建设是一次不完整的探索过程。因此,零碳乡村作为最新的研究热点,其相关研究是依托“双碳”目标,利用乡村先天资源禀赋优势,整合政策、理论、技术手段,从而实现零碳乡村目标的同时解决乡村贫困问题。

WOS关键词聚类模块值 Q 为0.459 7,聚类评价轮廓值 S 为0.777 1,说明聚类结果同样具有较高可靠性。如图5所示,在对英文文献关键词聚类分析中,聚类#0 renewable energy(可再生能源),主要包含的关键词有rural electrification(乡村电气化)、design(设计)、optimization(优化)、storage(储存)、sustainable development(可持续发展)等;聚类#4 energy saving(节能),主要包含的关键词有energy efficiency(能源效率)、buildings(建筑)、simulation(模拟)等;聚类#5 energy consumption(能源消耗),

主要包含的关键词有life cycle assessment(生命周期评价)、carbon emissions(碳排放)、greenhouse gas emissions(温室气体排放)等;聚类#6 anaerobic digestion(厌氧消化)主要包含的关键词有temperature(温度)、waste(废弃物)等。上述聚类侧重能源领域,研究内容包括以各个国家的实际情况,肯定了可再生能源和建筑节能在碳减排、抑制气候风险方面的贡献^[18],同时研究者们也给出了一些建议,如充分利用乡村丰富资源禀赋、优化清洁能源配比、平衡可再生能源技术创新与能源消费效率的比例^[19]、确保乡村人员在参与推广可再生能源起到至关重要的作用^[20]等。

聚类#1 ecosystem services(生态系统服务),主要包含的关键词有biomass(生物质能)、climate change(气候变化)、land use(土地利用)、policy(政策)等;聚类#2 black carbon(黑碳),主要包含的关

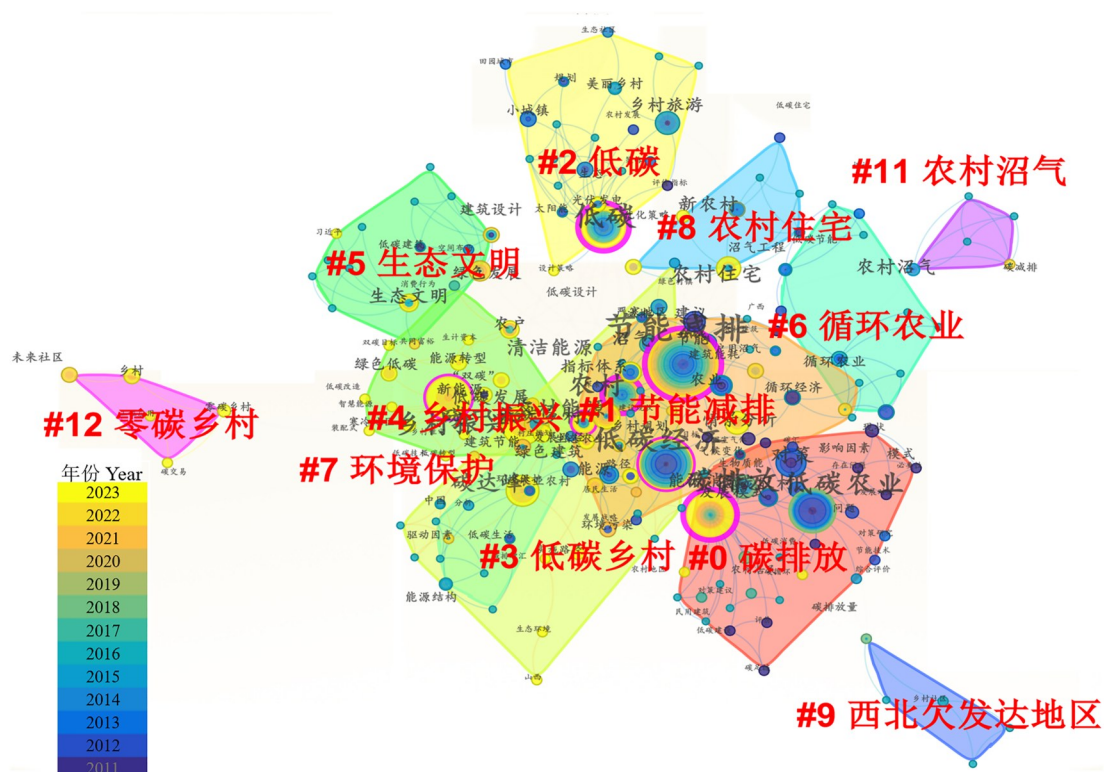


图 4 CNKI数据库乡村能源研究领域关键词聚类图谱

Fig. 4 Clustering map of keywords in rural energy research in CNKI database

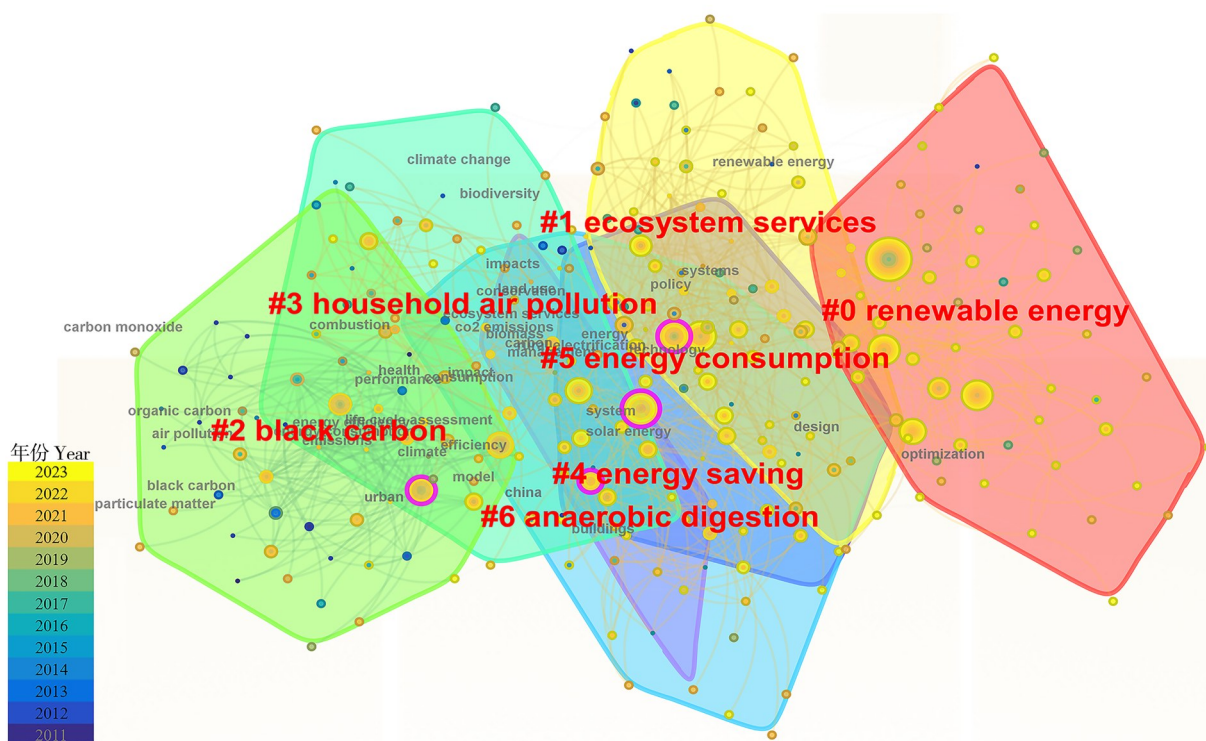


图 5 WOS数据库研究领域关键词聚类图谱

Fig. 5 Clustering map of keywords in rural energy research in WOS database

关键词有 particulate matter(颗粒物)、emissions(排放量)、air pollution(大气污染)、source apportionment(源头分配)等;聚类#3 household air pollution(室内空气污染),主要包含的关键词有 carbon monoxide(一氧化碳)、combustion(燃烧)、developing country(发展中国家)、health(健康)等。上述聚类侧重大气污染对气候变化乃至人类健康的影响,特别是一些生态脆弱区,例如中国西北部地区,生态系统稳定性差,易发生退化,自然恢复能力有限。同时西部地区由于可再生资源丰富,又是推广发展清洁能源的重要地区,因此这些地区受到学者广泛关注。已有研究表明,生态系统服务与乡村居民幸福感提升存在着密不可分的联系^[21]。居民能源选择行为受到环境责任感与环境污染健康焦虑等心理因素的多重平行中介作用影响,其中羊群效应展现出最强的中介效应强度。强制性的指挥控制型政策则对农户接受清洁能源具有反向调节作用。因此,通过经济激励和宣传能更好地辅助政策工具引导农户接受清洁能源^[22]。

3.3 研究演化趋势分析

利用 CiteSpace 软件生成 CNKI 和 WOS 数据库在乡村能源清洁化及节能减排领域关键词聚类图谱后,进一步绘制时间线视图,结果分别如图 6 和

图 7 所示。综合关键词突现图谱和聚类图谱对研究演化趋势进行分析。由图 6 可知,CNKI 数据库的文献研究主要针对国内情况,可以将研究路径分为 2 个阶段:

1)2011—2019 年为第一阶段。可以看出随着低碳经济的提出,围绕其为主要政策理念,低碳农业、低碳乡村相继出现。当时我国 GDP 增速较快,正处统筹城乡发展关键时期,农户收入一度超过 GDP 增长,然而乡村地区由于一直处于粗放式的经营模式,发展尚不完善、经济结构不合理、资源利用不合理使得生态环境遭到破坏。其中农户生活消费方式是导致资源的浪费的一大原因^[23],例如农户能源利用方式上仍然以拾取薪柴为主,心理上不愿使用电器,造成木材资源浪费和环境污染;为促进作物生长大量使用化肥、农药等。此后低碳理念逐步引入乡村地区,紧抓能源消费、经济发展、农业生产与碳排放关系领域难点^[24],使得决策者们更加注重农户的能源、资源的可持续利用模式,一定程度上缓解了以上问题。因此,低碳乡村实施路径通常采用清洁能源替代传统化石能源,尤其是利用乡村丰富的生物质资源,如发展乡村沼气、秸秆综合利用等,一定程度上将过去乡村小农经济的粗放式经营转变为集约式,资源浪费型转变为节约型。农村

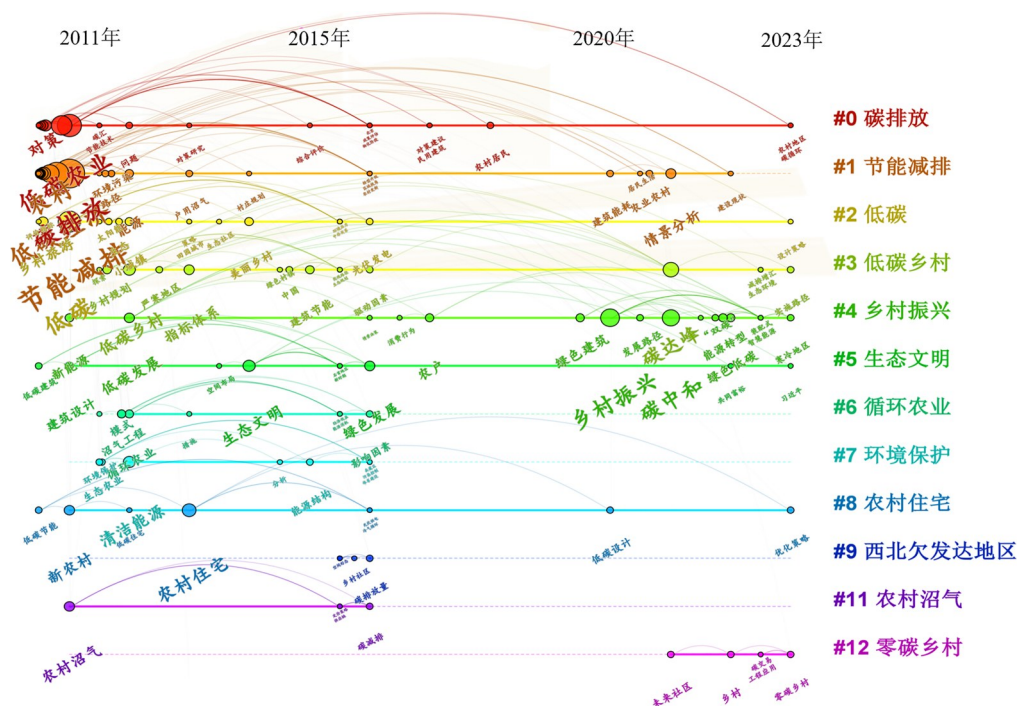


图 6 CNKI 数据库乡村能源领域研究时间线视图

Fig. 6 Timeline view of keywords in rural energy research in CNKI database

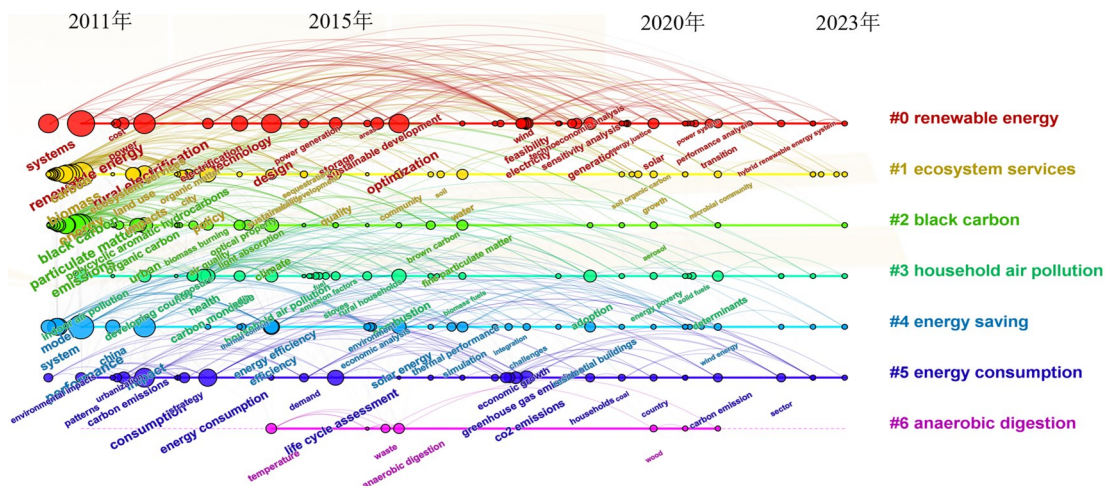


图 7 WOS数据库乡村能源领域研究时间线视图

Fig. 7 Timeline view of keywords in rural energy research in CNKI database

住宅整体改造有助于提高村容村貌,农民生活水平的提高也更易于推广低碳理念,此外新农村建设也是缩小城乡差距、解决“三农”问题的重大战略举措。在这些基础上低碳乡村旅游由于脱贫致富效应明显且使环保观念深入乡村,成为了当时的热点,发展势头较为迅猛^[25]。然而,在2015—2020年,个别研究聚类出现了断层现象,可能的原因在于:一是低碳理念仍然不成熟,其在全国尚在起步阶段,乡村地区居民受教育程度普遍较低、消费观念落后,难以接受新的生产生活方式;二是乡村地区经济发展水平较低,乡村落后的基础设施条件做全面改造升级难度大^[26];三是低碳技术也仍待提高,我国碳减排技术对乡村转型改造也形成了一定掣肘,乡村生产生活的废弃物不能完全处理,又会造成新的污染。因此,零碳乡村的发展与社会发展水平息息相关,政府应加大宣传力度,向公众普及低碳生活相关常识,引导公众做出改变。

2)2020—2023年为第二阶段。此阶段是在低碳技术基础上进一步的零碳乡村具体实践过程。尽管乡村振兴是2017年提出的,标志着我国从单纯的经济转向人与自然可持续、高质量发展,是我国解决“三农”问题又一重大决策部署,但此后少有人将乡村振兴与低碳联合研究,直至2020年“碳达峰、碳中和”目标提出后,两大目标耦合为我国零碳乡村建设提供更具体完善的目标取向和政策理念支撑。零碳乡村实施路径在第一阶段的基础上,还注重了市场机制,将碳排放交易市场作为双目标的嵌入载体,此外,还通过引入绿色金融来提高农

业生态效率助力乡村振兴^[27]。同时,可以看出环境保护已经融入生态文明思想,并与共同富裕相耦合,但由于各地经济发展差异大,空间异质性问题仍然突出,其协同程度在不同区域还存在差异,也为下一步精准政策制定提供了方向^[28]。在低碳技术创新层面,已有试点乡村建立起了能源互补的“智慧能源”体系^[29],开发针对乡村用能及碳排特点的碳监测和评估交易平台,开展碳交易和绿电交易试点,建设智慧生态示范模块等。新技术的研究将有力推动低碳村镇的发展,同时促进未来管理的效率与智能化水平。

WOS数据库的研究主要针对国际情况,由于国际情况复杂,各国发展情况差异较大,缺乏系统的政策引导。如图7关键词时间线视图所示,可将研究路径分为2个阶段:

1)2011—2017年为第一阶段。首先在能源方面, renewable energy(可再生能源)研究此前更多关注于农村电气化、储能等问题,特别是乡村电气化直到2012年才受到关注,其对于提高经济、生产力和乡村生活质量是十分必要的,这也为后续乡村电气脱碳提供了基础。van Gevelt^[30]对韩国电气化进程的研究发现,发展中国家应谨慎选择地区实行电气化,因为其可能会加重最贫困地区的经济负担。energy saving(节能)的研究目标为提高能源效率和经济效益, Harmsen等^[31]采用情景研究的方法量化了可再生能源的节能影响,发现其有助于欧洲实现节能目标,其中的协同效应此前并未得到决策者的承认。energy consumption(能源消耗)从所属聚类

的关键词特点来看是由于能源消耗带来的碳排放、污染物排放等环境问题。black carbon(黑碳)是大气颗粒物成分之一,是秸秆、化石燃料等不完全燃烧的产物,如集中供暖、露天生物质燃烧、露天焚烧、家庭煤炉等都会大量产生此类物质,尤其在中国乡村人口密集区普遍存在。Ji等^[32]对北京城镇乡村过渡地带进行黑碳监测,发现燃煤、燃木、烟花燃放等居民源以及交通源对大气污染的贡献较大。household air pollution(室内空气污染)则是关注由于家庭炊事、取暖等产生的室内污染物排放造成人类健康问题,同样也是在一些发展中国家,如中国乡村地区较为严重。Yang等^[33]对中国乡村地区常见室内空气污染物包括颗粒物、一氧化碳、二氧化硫和多环芳烃进行了调查,发现存在显著的地区差异,并且PM_{2.5}造成了主要的健康负担和经济负担。为此中国也开展了长达30余年的家庭炉灶改造升级和制定适应不同地方的控制型政策改善室内空气质量。ecosystem services(生态系统服务)的研究旨在减少发展过程中由于建筑改造、土地利用等对生态环境造成的负面影响。Rosin等^[34]的研究表明,在农村可持续发展目标下应更好地将农村现代化与生物多样性保护措施联系起来,如节能建筑改造的同时通过为当地鸟类建造筑巢地等避免生物多样性遭到破坏。

2)2018—2023年为第二阶段。此阶段可再生能源的研究逐步转向清洁能源,开发利用太阳能^[35]、风能、生物质能等助力农村能源转型。anaerobic digestion(厌氧消化)和中文聚类关键词农村沼气类似,单独分离为一种聚类,其作为一种利用乡村地区丰富生物质资源的可再生能源开发技术手段被广泛运用。而对黑碳的研究在气候变化、碳循环和环境健康领域仍在快速增长。Shu等^[36]对黑碳在雪/冰、海洋、土壤、沉积物等介质中的标准化分析方法进行了全面综述,并提出了未来的展望,如建立适用不同技术的黑碳标准物、构建黑碳源解析方法框架、发展黑碳生化过程监测技术。brown carbon(褐碳)同样作为大气含碳气溶胶组分之一却并未像黑碳一样得到广泛评估,其对应于有机碳的吸收部分,通常是由于生物质不完全燃烧产生的。Chen等^[37]基于多波长热/光分析和光谱质量平衡,实现了黑碳的定量检测和有机碳的棕色指数开发,以说明美国吸光褐碳含量的时空趋势。黑碳减排策略的制定对于缓解全

球变暖具有重要的意义。

4 结论与建议

4.1 结论

本研究基于2011—2023年国内外乡村能源研究领域相关文献,从研究概况、热点与演化趋势多方面进行深入探讨和文献计量学分析,主要结论如下:

1)CNKI和WOS数据库发文量在2020年中国提出“双碳”目标后均呈现爆发式增长,其中中国学者长期处于领先地位。然而,该领域研究受发达国家主导,中国在国际上仍缺乏影响力。中国科学院、清华大学等顶尖机构的中心性较强,与国际机构间形成密切合作网络,中国的其余研究机构近年来也逐步加大了对该领域的研究。

2)中国研究热点的出现具有明显的政策导向性,关键词聚类发现研究主题多集中于乡村振兴与低碳建设的协同路径,注重政策驱动下的减碳技术,体现出政策导向与区域发展特色。而国际上的研究更多以问题为导向,关注气候风险对环境造成的污染和人类健康的危害。同时,国内和国际对可再生能源的研究均更偏向太阳能、风能和生物质能,尤其是乡村沼气的发展。

3)中文文献研究从过去仅有单一技术支撑的低碳乡村建设,演化为2019年后的“能源+资源+减碳+乡村振兴+生态文明”的零碳乡村多元融合发展趋势。英文文献研究过去注重基础能源和人类健康问题,2018年后逐步开展清洁能源技术优化研究,强调技术创新对气候风险的缓解作用。

4.2 建议

基于以上研究结论,对未来以零碳乡村建设为目标的乡村能源领域研究提出以下建议:

1)政策工具创新。中国地理区域情况和发展程度差异较大,可探索区域差异化政策设计,加强跨国政策比较,建立精准治理模型。

2)技术创新。需重点突破适用于乡村地区的低零碳技术,如利用乡村资源优势建立多能互补系统、低成本的碳监测技术。

3)智慧能源管理体系。需研发基于高新技术的碳排放实时监测、探索绿电交易,以及用能行为动态优化手段。

4)社会行为学研究。需破解乡村地区居民低

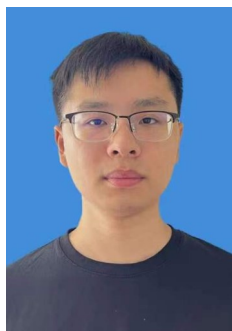
碳意识薄弱、技术采纳意愿低等问题,如研究村民心理认知干预机制等。

参考文献 References

- [1] 魏一鸣,韩融,余碧莹,康佳宁,刘丽静,廖华. 全球能源系统转型趋势与低碳转型路径:来自于IPCC第六次评估报告的证据[J]. 北京理工大学学报:社会科学版, 2022, 24(4):163-188
Wei Y M, Han R, Yu B Y, Kang J N, Liu L J, Liao H. Global energy systems transition trend and low-carbon transformation pathways: Evidences from the IPCC AR6 [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology: Social Sciences Edition*, 2022, 24(4):163-188 (in Chinese)
- [2] 冯凯辉,李琼慧,黄碧斌,闫湖,张红宪. 中国农村能源发展关键问题[J]. 中国电力, 2022, 55(6):1-8
Feng K H, Li Q H, Huang B B, Yan H, Zhang H X. Key issues on rural energy development in China[J]. *Electric Power*, 2022, 55(6):1-8 (in Chinese)
- [3] Liu S W, Liu H X, Mauzerall D L. Improving building envelope efficiency lowers costs and emissions from rural residential heating in China[J]. *Environmental Science & Technology*, 2023, 57(1):595-605
- [4] Peng L Q, Liu F Q, Zhou M, Li M W, Zhang Q, Mauzerall D L. Alternative-energy-vehicles deployment delivers climate, air quality, and health co-benefits when coupled with decarbonizing power generation in China[J]. *One Earth*, 2021, 4(8):1127-1140
- [5] 魏亿钢,石佳伟,许冠南. 中国低碳政策演进、阶段特征与治理模式变革[J]. 中国科学院院刊, 2024, 39(4):761-770
Wei Y G, Shi J W, Xu G N. Evolution, stage characteristics and governance model transformation of China's low-carbon policy [J]. *Bulletin of Chinese Academy of Sciences*, 2024, 39(4):761-770 (in Chinese)
- [6] 张雪洁,王侃宏,刘伟,宋雪萌. “双碳”目标下乡村可再生能源研究热点文献可视化分析[J]. 河北省科学院学报, 2023, 40(5):25-34
Zhang X J, Wang K H, Liu W, Song X M. Visualization analysis of research hotspots on rural renewable energy under China's dual carbon goals based on bibliometrics [J]. *Journal of the Hebei Academy of Sciences*, 2023, 40(5):25-34 (in Chinese)
- [7] Wu L Y, Liu C X, Ma X Z, Liu G B, Miao C H, Wang Z. Global carbon reduction and economic growth under autonomous economies [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 224:719-728
- [8] 李娜. 国内阅读推广研究知识图谱分析[J]. 图书馆工作与研究, 2018(2):77-86
Li N. Analysis on the knowledge map of domestic reading promotion research[J]. *Library Work and Study*, 2018(2):77-86 (in Chinese)
- [9] 邓水兰,温诒忠. 我国发展低碳农业存在的问题及对策[J]. 南昌大学学报:人文社会科学版, 2011, 42(5):88-92
Deng S L, Wen Y Z. Problems and countermeasures of low-carbon agriculture in current China [J]. *Journal of Nanchang University: Humanities and Social Sciences*, 2011, 42(5):88-92 (in Chinese)
- [10] UK government. Energy white paper: Our energy future-creating a low carboneconomy[R]. London: Department of Trade and Industry, 2003.
- [11] 胡锦涛. 携手应对气候变化挑战:在联合国气候变化峰会开幕式上的讲话[J]. 资源与人居环境, 2009(20):14-15
Hu J T. Working together to tackle climate change challenges: Address at the opening ceremony of the united nations climate change summit[J]. *Resources and Habitant Environment*, 2009(20):14-15 (in Chinese)
- [12] Lai A M, Clark S, Carter E, Shan M, Ni K, Yang X D, Baumgartner J, Schauer J J. Impacts of stove/fuel use and outdoor air pollution on chemical composition of household particulate matter [J]. *Indoor Air*, 2020, 30(2):294-305
- [13] Shen G F. Quantification of emission reduction potentials of primary air pollutants from residential solid fuel combustion by adopting cleaner fuels in China[J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2015, 37:1-7
- [14] Meng W J, Shen G F, Shen H Z, Chen Y L, Yun X, Li J X, Ma J M, Liu J F, Cheng H F, Hu J Y, Wan Y, Tao S. Synergistic health benefits of household stove upgrading and energy switching in rural China [J]. *Environmental Science & Technology*, 2021, 55(21):14567-14575
- [15] Golly B, Waked A, Weber S, Samake A, Jacob V, Conil S, Rangognio J, Chrétien E, Vagnot M P, Robic P Y, Besombes J L, Jaffrezo J L. Organic markers and OC source apportionment for seasonal variations of PM_{2.5} at 5 rural sites in France [J]. *Atmospheric Environment*, 2019, 198:142-157
- [16] Nie Y Z, Deng M S, Shan M, Yang X D. Clean and low-carbon heating in the building sector of China: 10-Year development review and policy implications[J]. *Energy Policy*, 2023, 179:113659
- [17] 周成. “双碳”政策的知识图谱、研究热点与理论框架[J]. 北京理工大学学报:社会科学版, 2023, 25(4):94-112
Zhou C. Knowledge mapping, research hotspots and theoretical framework of “dual-carbon” policy [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology: Social Sciences Edition*, 2023, 25(4):94-112 (in Chinese)
- [18] Feng H C, Wang R N, Zhang H. Research on carbon emission characteristics of rural buildings based on LMDI-LEAP model [J]. *Energies*, 2022, 15(24):9269
- [19] Zhao C Y, Wang J D, Dong K Y, Wang K. Is renewable energy technology innovation an excellent strategy for reducing climate risk? The case of China[J]. *Renewable Energy*, 2024, 223:120042
- [20] Suman A. Role of renewable energy technologies in climate change adaptation and mitigation: A brief review from Nepal[J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2021, 151:111524
- [21] Yan Y, Zhao C L, Quan Y, Lu H T, Rong Y, Wu G. Interrelations of ecosystem services and rural population wellbeing in an ecologically-fragile area in North China[J]. *Sustainability*, 2017, 9(5):709
- [22] Li L Y, Fan F M, Liu X D. Determinants of rural household clean energy adoption intention: Evidence from 72 typical villages in ecologically fragile regions of western China[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2022, 347:131296
- [23] Wang Z H, Wang Y L, Huang F B, Shuai C M, Li J X, Ding L P, Cheng X. The environmental impact of household domestic energy consumption in rural areas: Empirical evidence from China's photovoltaic poverty alleviation regions[J]. *Sustainable Production and Consumption*, 2022, 30:1019-1031
- [24] 赵其国,钱海燕. 低碳经济与农业发展思考[J]. 生态环境学报, 2009, 18(5):1609-1614
Zhao Q G, Qian H Y. Low carbon economy and thinking of agricultural development [J]. *Ecology and Environmental Sciences*, 2009, 18(5):1609-1614 (in Chinese)
- [25] 柯福艳,张杜梅,徐红玳. 生态立县背景下山区跨越式新农村建设路径研究:以安吉“中国美丽乡村”建设为例[J]. 生态经济, 2011, 27(5):113-116
Ke F Y, Zhang S M, Xu H D. Study on the great-leap-forward developmental road of new countryside construction in mountainous rural areas: A case study in Anji County, Zhejiang Province [J]. *Ecological*

- Economy*, 2011, 27(5): 113-116 (in Chinese)
- [26] Wu Y N, Xu M J, Tao Y, He J M, Liao Y J, Wu M. A critical barrier analysis framework to the development of rural distributed PV in China [J]. *Energy*, 2022, 245:123277
- [27] 谢婷婷, 冯梅菊. 绿色金融赋能乡村振兴路径研究: 兼论农业生态效率的中介效应[J]. *价格理论与实践*, 2023, (6):174-178, 212
- Xie T T, Feng M J. Research on the path of empowering rural revitalization with green finance: On the mediating effect of agricultural ecological efficiency [J]. *Price: Theory & Practice*, 2023 (6): 174-178, 212 (in Chinese)
- [28] 李俊明, 周佳卉, 李杰, 高佳源. 基于贝叶斯统计的黄河流域生态文明与共同富裕的时空协同演进研究[J]. *地球信息科学学报*, 2023, 25(4): 766-782
- Li J M, Zhou J H, Li J, Gao J Y. Spatio-temporal evolution and synergy of ecological civilization and common prosperity in the yellow river basin based on bayesian statistics [J]. *Journal of Geo-information Science*, 2023, 25(4): 766-782 (in Chinese)
- [29] 俞阳. 乡镇智慧能源低碳规划与运行研究及应用[D]. 杭州: 浙江大学, 2023
- Yu Y. Research and application on low carbon planning and operation of smart energy in villages and towns [D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2023 (in Chinese)
- [30] Van Gevelt T. Rural electrification and development in South Korea [J]. *Energy for Sustainable Development*, 2014, 23:179-187
- [31] Harmsen R, Wesselink B, Eichhammer W, Worrell E. The unrecognized contribution of renewable energy to Europe's energy savings target [J]. *Energy Policy*, 2011, 39(6):3425-3433
- [32] Ji D S, Li L, Pang B, Xue P, Wang L L, Wu Y F, Zhang H L, Wang Y S. Characterization of black carbon in an urban-rural fringe area of Beijing [J]. *Environmental Pollution*, 2017, 223:524-534
- [33] Yang J L, Lin Z, Shi S S. Household air pollution and attributable burden of disease in rural China: A literature review and a modelling study [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2024, 470:134159
- [34] Rosin Z M, Hiron M, Żmihorski M, Szymański P, Tobolka M, Pärt T. Reduced biodiversity in modernized villages: A conflict between sustainable development goals [J]. *Journal of Applied Ecology*, 2020, 57 (3): 467-475
- [35] Shahsavari A, Akbari M. Potential of solar energy in developing countries for reducing energy-related emissions [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 90: 275-291
- [36] Shu Z, Huang C, Min K, Long C C, Liu L, Tan J H, Liu Q, Jiang G B. Analysis of black carbon in environmental and biological media: Recent progresses and challenges [J]. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 2023, 169:117347
- [37] Chen L W A, Chow J C, Wang X L, Cao J J, Mao J Q, Watson J G. Brownness of organic aerosol over the United States: Evidence for seasonal biomass burning and photobleaching effects [J]. *Environmental Science & Technology*, 2021, 55(13): 8561-8572

责任编辑: 申青苗



第一作者简介: 吴桢, 硕士研究生。2023年9月—2025年7月, 就读于中国农业大学资源与环境学院生态学专业。获2024年中国农业大学硕士一等学业奖学金。



通讯作者简介: 薛颖昊, 男, 博士, 正高级农艺师, 现任农业农村部农业生态与资源保护总站国际交流处处长, 农业资源环境和农村能源生态国际项目办公室副主任。长期从事农业生态环境保护工作, 在生态低碳农业、秸秆综合利用、地膜污染防治等方面开展研究和推广应用, 获省部级奖励7项, 编著书籍20余部, 授权专利28件, 在 *Journal of Cleaner Production*、《农业环境科学学报》等期刊发表论文80篇。