

DOI: 10.20103/j.stxb.202502150306

刘亦文, 李彦德, 石彪, 颜建军. 基于文献计量分析的碳公平研究热点与趋势展望. 生态学报, 2025, 45(22): - .

Liu Y W, Li Y D, Shi B, Yan J J. Analysis of research hotspots and trends in carbon equity based on bibliometrics. Acta Ecologica Sinica, 2025, 45(22): - .

基于文献计量分析的碳公平研究热点与趋势展望

刘亦文¹, 李彦德², 石 彪^{3,*}, 颜建军⁴

1 湖南工商大学国际商学院, 长沙 410205

2 湖南工商大学数学与统计学院, 长沙 410205

3 湖南工商大学资源环境学院, 长沙 410205

4 湖南工商大学经济与贸易学院, 长沙 410205

摘要: 碳公平作为应对气候变化和实现可持续发展的关键议题, 日益受到国际社会的广泛关注。但是当前尚缺乏对碳公平领域的系统性综述。使用 2000 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日期间 Web of Science (WoS) 和中国知网 (CNKI) 数据库中有关碳公平的学术论文作为数据来源, 采用 CiteSpace 知识图谱分析与 R 语言中的 bibliometric 主题演变方法, 对该领域的研究现状、热点主题与发展趋势进行了系统梳理。研究结果表明: (1) 碳公平研究成果持续增长, 已成为一个多学科交叉的研究领域; (2) 主要高产作者和机构集中于中国、美国、英国和德国, 研究议题涵盖碳排放权分配、碳足迹追踪、减排责任公平性、碳交易市场机制设计等, 广泛关联可持续发展与气候治理议题; (3) 实证研究呈现增长趋势, 越来越多的学者通过案例分析探索碳公平的现实路径。未来研究将进一步聚焦碳公平的理论建构与实践机制, 推动公平成效评估体系的建立, 综合考虑影响因素, 为国家政策制定提供科学支持, 并助力全球碳公平目标的实现。

关键词: 碳公平; Citespace; 文献计量; 可视化分析; 趋势研究

Analysis of research hotspots and trends in carbon equity based on bibliometrics

LIU Yiwen¹, LI Yande², SHI Biao^{3,*}, YAN Jianjun⁴

1 International Business School, Hunan University of Technology and Business, Changsha 410205, China

2 School of Mathematics and Statistics, Hunan University of Technology and Business, Changsha 410205, China

3 School of Resource and Environment, Hunan University of Technology and Business, Changsha 410205, China

4 School of Economics and Trade, Hunan University of Technology and Business, Changsha 410205, China

Abstract: Carbon equity, as a key issue in addressing climate change and achieving sustainable development, increasingly received widespread international attention. However, systematic reviews in this field remained lacking. This study utilized academic papers on carbon equity from the Web of Science (WoS) and China National Knowledge Infrastructure (CNKI) databases (January 12000 to December 312024) as data sources. Employing CiteSpace knowledge graph analysis and R-based bibliometric topic evolution methods, we systematically reviewed the research status, hot topics, and development trends in this field. The research results indicated that: ① Carbon equity research had continued to grow and had emerged as a multidisciplinary field; ② The most prolific authors and institutions were concentrated in China, the United States, the United Kingdom, and Germany, with research topics covering carbon emission rights allocation, carbon footprint tracking, fairness of emission reduction responsibilities, and carbon trading market mechanism design, all of which demonstrated significant connections to sustainable development and global climate governance challenges; ③ Empirical studies

基金项目: 国家社会科学基金一般项目 (24BTJ032)

收稿日期: 2025-02-15; **网络出版日期:** 2025-00-00

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: stonebiao@163.com

demonstrated a growing trend, with an increasing number of scholars exploring practical pathways to carbon equity through case study analyses. Future research was projected to further focus on the theoretical construction and practical mechanisms of carbon equity. It aimed to promote the establishment of an equity effectiveness evaluation system, comprehensively consider influencing factors, provide scientific support for national policy-making, and assist in achieving global carbon equity goals.

Key Words: ey Words: carbon equity; Citespace; bibliometrics; visual analysis; trend research

气候变化及其负面影响已成为当前人类社会可持续发展面临的最严峻挑战之一。在合力应对全球气候变化过程中,如何实现碳减排责任的公平分配备受关注。其中,确保碳排放配额和减排责任分配机制的高效性与公平性至关重要。随着 2025 年美国特朗普政府宣布再次退出应对气候变化的《巴黎协定》,一场关于全球升温控制在 1.5℃ 以内的有限碳排放预算空间公平分配问题的讨论再次引起全球各界广泛关注。有限的碳排放空间的科学公平分配不仅关乎《巴黎协定》温控目标的顺利实现,更是对发展中国家未来排放空间和发展空间的有效保障,已成为应对全球气候变化和实现可持续发展目标的核心议题,日益成为国际社会关注的焦点^[1]。碳公平的本质是碳排放权的空间分配差异,关系到全球环境资源的合理分配,还深刻影响着各国经济发展模式、社会公平正义以及国际合作格局,并逐渐成为一种新型发展权^[2-5]。在 21 世纪初,随着全球气候变化的严峻性和紧迫性逐渐显现,碳公平的概念开始萌芽,旨在确保所有国家和地区在享受发展权利的同时,承担起相应的减排责任,避免将环境负担转嫁给弱势群体或发展中国家^[6]。这一理念在 1992 年的《联合国气候变化框架公约》及其后续协议中得到了初步体现,强调了共同但有区别的责任原则,为国际碳公平合作奠定了法理基础。

随着全球对绿色低碳转型认识的加深,碳公平逐渐从理论探讨走向实践操作,各国纷纷探索适合本国国情的碳减排路径,力求在保障经济发展与环境保护之间找到平衡点^[7-9]。然而,全球碳足迹分布不均,发达国家与发展中国家在碳排放量、减排能力及历史责任上存在显著差异,这导致碳公平的实现面临诸多挑战^[10]。为实现更广泛的碳公平,国际社会开始探讨诸如碳补偿机制、气候融资、技术转移等创新方案^[11-13],旨在帮助发展中国家提高应对气候变化的能力,缩小南北国家在碳减排行动上的差距。

当前,碳公平议题已成为国际气候谈判的焦点之一,各国围绕碳排放权的分配、减排责任的界定以及全球气候治理体系的改革展开了激烈的讨论与博弈。在此背景下,碳公平研究不再局限于单一学科,而是跨越了经济学、政治学、环境科学和社会学等多个领域,形成了多元化的研究视角和丰富的学术成果。然而,尽管碳公平研究数量激增,但关于碳公平的理论框架、实践路径、评估方法及国际合作的系统性梳理与比较分析仍显不足。鉴于此,本文旨在运用文献计量方法和 CiteSpace 可视化软件^[14-15],全面梳理国内外碳公平领域的研究动态、热点话题及演进趋势,通过对比分析国内外研究者的观点与立场,揭示碳公平研究中的共识与分歧,挖掘现有研究的局限性和未来研究的潜在方向。

1 研究方法 with 数据来源

1.1 研究方法

本研究利用 CiteSpace 知识图谱和 R 语言中的 bibliometric 包中的主题演变方法^[16-17],全面系统地分析碳公平领域的发展脉络与研究前沿动态。CiteSpace 是一种文献计量学研究的可视化工具,通过生成共被引网络和关键词聚类图谱,揭示碳公平领域的学术结构、研究热点和前沿领域的发展趋势。R 语言中的 bibliometric 包提供了文献计量分析框架,能够识别主题演变路径的时间序列变化,展示主题发展规律。本研究结合这两种工具,对碳公平相关文献进行了综合分析,构建出研究演化图景,揭示当前碳公平研究的主要趋势、热点问题和未来潜在的研究方向,为碳公平理论和实践的发展提供科学的参考依据。

1.2 数据来源

本文选择读数据是 Web of Science (WoS) 核心合集数据库和中国知网 (CNKI) 分别作为分析外文文献和中文文献的数据库,其中 WoS 数据库是当前全球最具权威性的综合学科引文数据库;CNKI 数据库是中国知识基础学术平台,也是全球最大的中文数据库之一。文献检索时间为 2000 年 1 月 1 日至 2024 年 12 月 31 日,在 WoS 核心集合的检索关键词为“carbon equity”、“carbon equality”等同义词以及相关词为主题,文献类型为 Article,检索后经过过去重处理得到 3299 篇文献。以 CNKI 数据库为数据源,高级检索主题为“碳+公平”,进行检索后排除无价值文献后并去重处理得到 293 篇。每条记录都包含文章名称、作者、归属、期刊名称、摘要和关键词等关键信息。

2 结果与分析

2.1 碳公平研究总体概况

2.1.1 研究总体发文量情况

通过对文献发表数量的统计分析,可以了解碳公平领域的研究趋势和发展。总体而言,国际碳公平研究经历了从“理论探索”到“快速增长”的过程。根据 2000—2024 年碳公平领域的文献发表数量变化趋势(图 1),国际研究的发展历程可划分为探索期(2000—2008 年)、增长期(2008—2020 年)和深化期(2021—2024 年),从最初年均发文量不足 30 篇到后来年发表量超过 650 篇。而国内碳公平研究起步较晚,2009 年前的文献发表数量仅为个位数,不过近年来国内的研究数量逐步上升。表明学术界对碳公平问题的关注日益增强,但仍需进一步加强研究深度和广度,以推动理论创新和实践应用的发展。

在探索期中,《京都协定书》生效,碳公平研究开始兴起,从碳配额分配、公平减排机制及发展中国家的发展权益等方面入手研究,开始引入量化模型辅助分析,如人均排放、历史累积排放等指标体系;到了增长期时,《巴黎协定》的推动使研究重心从国家间责任转向多主体、多层级责任分担,涵盖企业、区域和消费者等层面,强调在全球价值链中实现公平的碳分配与减排责任归属;进入深化期,全球碳中和目标提出后,碳公平研究进入“公正转型”导向的新阶段,更关注转型过程中不同群体、行业、地区的利益平衡与补偿机制,逐步拓展至制度公平、代际公平与数字碳治理等前沿议题。

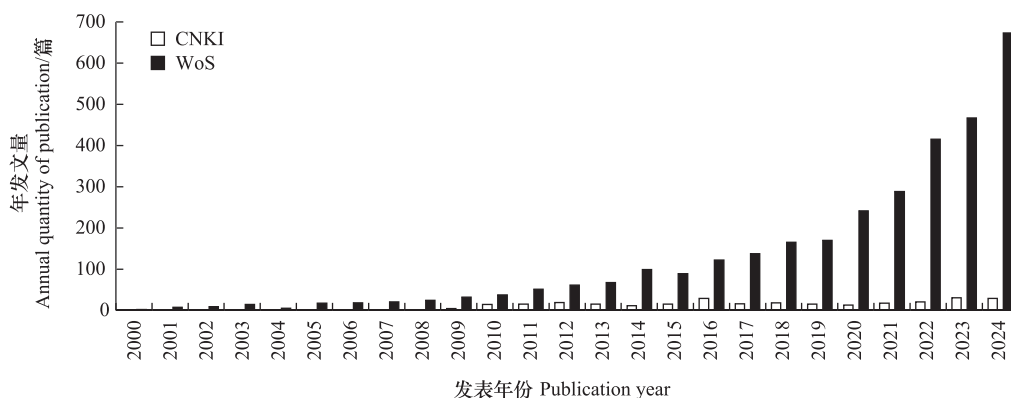


图 1 2000—2024 年碳公平领域发文量的变化量

Fig.1 Change in the number of published carbon equity papers from 2000 to 2024

2.1.2 国家合作网络分析

国家合作网络通过分析不同国家之间的合作关系,可以直观展示各国在该领域中的影响力和研究参与度。碳公平领域国家合作网络如图 2 所示,主要是由中国、美国、英国以及德国四个集群组成。其中中国和美国之间的合作最为紧密。

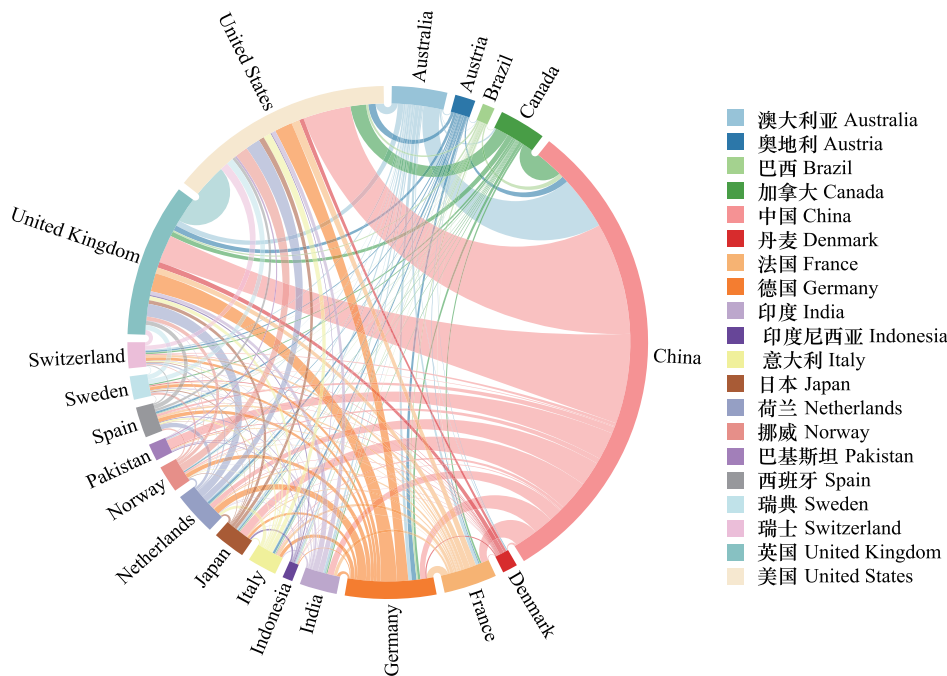


图2 碳公平研究领域国家合作网络
Fig.2 National cooperation network in the field of carbon equity research

2.1.3 文献被引频次分析

本文对文献总被引频次和篇被引频次进行分析。总被引频次可能受到某篇文献的个别高引用情况的影响,而比较篇均被引频次则能够在一定程度上平衡这种影响,更准确地反映文献的整体影响力。篇均被引频次相比于总被引频次更能反映出文献的影响力和被学术界关注程度的稳定性。

表1显示了WoS数据库中发文量前十的国家,从2000年到2024年发表的论文里中国的发文量最高,数量为1355篇,占发文量总数的41.07%,总被引频次为31517,篇均被引频次数为23.26;发文量第二的国家为美国,发文量为639,总被引频率为26097,篇均被引频率为40.84;但是荷兰虽然发文量第八,但是其篇均被引频次为62.65,排名第一。表明荷兰文献在全球的影响力最大,而中国的文献数量的虽然是最高的,但是篇均被引频次较低,文献质量有待加强。

表1 碳公平领域发文量前10位的国家(数据源:WoS)
Table 1 Top 10 countries in the field of carbon equity by publication volume (WoS)

发文国家 Country of publication	发文量 Counts	总被引次数 Total citation count	篇均被引次数 Number of citations per article	中心性 Centrality
中国 China	1355	31517	23.26	0.13
美国 United States of America	639	26097	40.84	0.37
英国 United Kingdom	401	17705	44.15	0.30
德国 Germany	256	11260	43.98	0.08
澳大利亚 Australia	154	6568	42.65	0.09
法国 France	145	4909	33.86	0.13
加拿大 Canada	125	3221	25.77	0.15
荷兰 Netherlands	113	7080	62.65	0.04
印度 India	96	2538	26.44	0.06
日本 Japan	88	3138	35.66	0.03

从表 2 可以看出,2000 年—2024 年国外碳排放公平领域的最高被引论文是发表在《美国国家科学院院刊》的“Consumption-based accounting of CO₂ emissions”^[18],总被引 1228 次。该文献主要讲述了基于消费的 CO₂ 排放核算表明了国际碳泄漏的可能性。该文献认为生产者和消费者共同承担排放责任可以促进就全球气候政策达成国际协议,而全球气候政策现在因对排放的区域和历史不平等的担忧而受到阻碍。年均被引频次第二的文献是 Steffen, W 等于 2011 年在 AMBIO 上发表的“The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship”^[19],该文献认为虽然人类的物质财富得到了显著提高,但是一些关键资源依旧稀缺,公平问题需要利用有效的管理去解决,进而建立一个稳定、包容的环境。年均被引频次最高的文章是 2019 年 Sachs 发表在《自然可持续性》的“Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals”^[20],年均被引频次为 182.8。该文献认为要实现可持续发展目标(SDG)和《巴黎气候变化协定》所呼吁的每个国家进行深度转型,需要政府、民间社会、科学界和企业采取互补行动。

表 2 碳公平领域总被引频次前 5 的文献(数据源:WoS)

Table 2 The top 5 cited literature in the field of carbon equity (WoS)

年份 Year	作者 Author	发表期刊 Journal	文献题目 Title of paper	总被引频次 Total citations	年均被引频次 Annual average citation frequency
2010	Davis S J 等	PNAS (Proceedings of the national academy of sciences)	Consumption-based accounting of CO ₂ emissions	1228	87.71
2007	Raupach M R 等	PNAS	Global and regional drivers of accelerating CO ₂ emissions	1213	71.53
2011	Steffen W 等	Ambio	The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship	943	72.54
2019	Sachs J D 等	Nature Sustainability	Six Transformations to achieve the Sustainable Development Goals	914	182.8
2002	Evans, GW 等	Annual Review Of Public Health	Socioeconomic status and health: The potential role of environmental risk exposure	792	22

从表 3 可以看出,1998—2024 年国内碳排放公平领域的高被引论文均在高水平期刊上发表,分别发表在《经济研究》、《中国社会科学》、《气候变化研究进展》、《中国法学》、《管理世界》。单篇总被引频次最高的是 2010 年发表在《经济研究》上的“最终消费与碳减排责任的经济学分析”,总被引 419 次^[21]。紧随其后的是 2009 年潘家华等在《中国社会科学》上发表的“碳预算方案:一个公平、可持续的国际气候制度框架”^[22]。2020 年张雅欣等发表的“碳中和行动的国际趋势分析”是年均被引频次最高的文献^[23]。通过分析和评述国际碳中和行动的发展趋势,认为碳中和已逐渐成为全球气候行动的重要关注点,并强调发达国家或地区的引领作用。

表 3 碳公平领域总被引频次前 5 的文献(数据源:CNKI)

Table 3 The top 5 cited literature in the field of carbon equity (CNKI)

年份 Year	作者 Author	发表期刊 Journal	文献题目 Title of paper	总被引频次 Total citations	年均被引频次 Annual average citation frequency
2010	樊纲等	经济研究	最终消费与碳减排责任的经济学分析	419	29.93
2009	潘家华等	中国社会科学	碳预算方案:一个公平、可持续的国际气候制度框架	261	17.40
2020	张雅欣等	气候变化研究进展	碳中和行动的国际趋势分析	233	58.25
2016	曹明德	中国法学	中国参与国际气候治理的法律立场和策略:以气候正义为视角	202	25.25
2019	王文举等	管理世界	中国省级区域初始碳配额分配方案研究——基于责任与目标、公平与效率的视角	184	36.80

2.1.4 文献发表机构分析

利用 CiteSpace 软件对碳公平研究的高产机构进行分析。WoS 数据库的出版机构以中国科学院 (123 篇)、伦敦大学 (114 篇)、加利福尼亚大学 (92 篇)、清华大学 (76 篇)、利兹大学 (62 篇)、北京师范大学 (50 篇) 等研究共同体为中心, 呈现出较为明显的研究共同体, 研究共同体之间的合作较为密切, 如表 2 所示。

表 4 碳公平领域发文量前 10 位的主要发文机构 (数据源: WoS)

Table 4 Top 10 main publishing institutions in the field of carbon equity (WoS)

发文机构 Institution of publication	发文量 Counts	中心性 Centrality	国家 Country
Chinese Acad Sci 中国科学院	123	0.14	中国
Univ London 伦敦大学	114	0.14	英国
Univ California 加州大学	92	0.21	美国
Tsinghua Univ 清华大学	76	0.08	中国
Univ Leeds 利兹大学	62	0.05	英国
Univ Chinese Acad Sci 中国科学院大学	54	0.01	中国
Univ College London 伦敦大学学院	54	0.03	英国
Beijing Normal Univ 北京师范大学	50	0.04	中国
Beijing Institute of Technol 北京理工大学	46	0.01	中国
Potsdam Institute for Climate Impact Research 波茨坦气候影响研究所	41	0.03	德国

在论文发表量方面, 中国科学院以 123 篇论文排名第一, 比第二名高出 9 篇。在排名前十的研究机构中, 中国的研究机构多达 5 家, 其次为英国的 3 家研究所, 最后是美国和德国各一家。从网络中心性的角度来看, 美国加利福尼亚大学、中国科学院和英国伦敦大学在网络节点中的重要性相对较高。从机构来看, 研究成果集中在知名高校和研究机构, 研究机构与地理位置相近的高校合作更加密切。

2.2 碳公平研究热点与前沿趋势

2.2.1 关键词频次分析

通过统计主题文献中的关键词的出现频率, 了解主题的重要特征。利用 CiteSpace 软件对 WoS 数据库中 3299 篇关于碳公平的文献进行关键词共现分析, 生成包含 275 个节点和 1639 条连接线的关键词共现图谱 (图 3)。该网络的密度为 0.0435, 其中节点与连线分别代表关键词和其之间的共现关系, 连线的强度越高, 说明对应的关键词之间具有更强和更频繁的关联性。从图 3 可以看出, 在 WoS 中的文献中, 碳公平相关关键词的节点包括“climate change” (气候变化)、“CO₂ emission” (二氧化碳排放)、“inequality” (不平等)、“impact” (影响)、“economic growth” (经济增长)。研究者们重点关注的是二氧化碳排放与各种不平等和经济增长之间的相互影响^[24–26]。此外“energy consumption” (能源消耗)、“carbon leakage” (碳泄漏) 和“carbon tariffs” (碳关税) 也是研究的重点^[27–29]。

使用 CiteSpace 对 CNKI 的文献进行分析, 生成的关键词图谱如图 4 所示, 网络结构包含 302 个节点和 550 条连接线, 网络密度为 0.0121。关键词的主要贡献节点是“碳排放权”, “碳排放”, “公平性”, “公平” 和“碳中和”等, “碳排放权” 和“公平性” 是研究的重点^[30–31]。碳排放权的公平分配和交易和碳税的合理制定的是体现碳公平的主要方式, “碳中和” 这个节点表明碳中和对碳公平有着重要影响, 碳中和是碳公平需要实现的目标^[23, 32]。

从图 3 可以看出, 国外期刊关键词共现现象较为明显, 关键词之间联系紧密, 说明 WoS 数据库中碳公平研究较为集中。WoS 数据库中的文献强调了对宏观层面的碳公平研究, 强调了碳公平评估在对社会中的经济、分配等方面的影响研究, 重点关注了碳足迹、实现碳排放的优化和管理。碳泄漏、环境服务、分配、碳关税、城市化等问题也引起了研究者的关注。而国内期刊的关键词更加注重一些具体性的问题, 如碳排放权、公平性、碳交易、分配等方面对碳公平的关系对“双碳”的最终实现的影响。

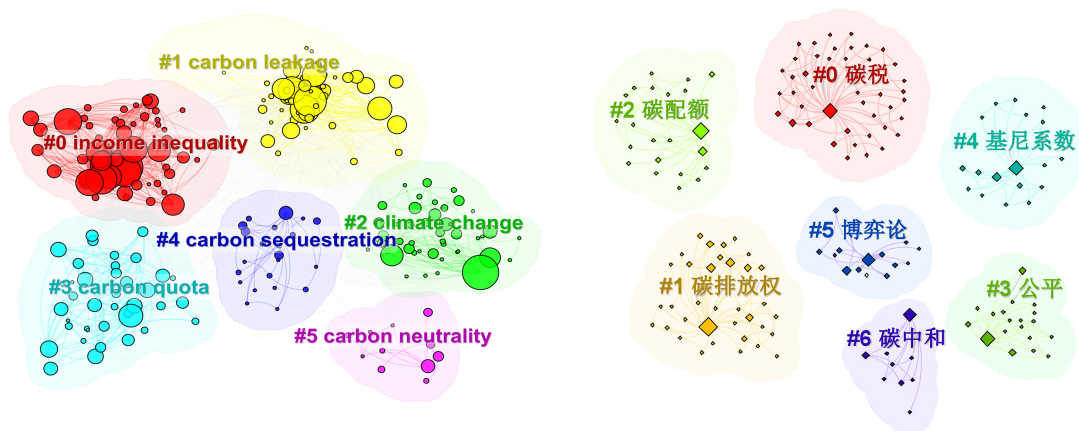


图5 关键词聚类分析

Fig.5 Keyword clustering analysis

碳减排分担,该类别主要是定义碳公平的实质和一些相关概念。早期的研究者为了量化碳空间分配的不平等性,巧妙地引入了经济学中的洛伦兹曲线和基尼系数概念,通过调整人均历史累计排放量来计算碳基尼系数。这一创新性的方法为人们提供了一个直观的量化指标,用以衡量不同国家、地区或群体在碳排放上的不平等状况,为后续的碳政策制定和公平性评估提供了重要的科学依据^[6,33]。随着研究的深入,碳公平的内涵逐渐被丰富和完善,它与可持续发展的理念紧密相连。具体而言,碳公平强调的是碳减排责任与国家或地区发展权利之间的微妙平衡。这一平衡体现在多个维度上,包括但不限于代际碳公平、贸易碳公平、区域碳公平以及收入碳公平^[34]。在实现碳公平的手段和策略上,学术界和政策制定者进行了广泛的探索和实践。一方面,通过征收碳税、分配碳配额等市场机制,可以激励企业和个人减少碳排放,同时确保经济活动的正常运行。另一方面,推广碳足迹核算和低碳生活方式,提高公众对碳排放的认识和参与度,也是推动碳公平,最终实现碳中和的重要途径^[35—37]。

社会公平与经济不平等,许多研究者从社会公平与经济不平等讨论碳公平在实现过程中要考虑到的一系列社会问题。一些研究发现收入不平等与碳排放之间的关系在不同国家之间有着显著区别,且主要取决于以人均收入衡量的发展水平,在中高收入和高收入经济体中,收入不平等水平与人均碳排放水平成正相关,而在低收入和中等收入经济体中则情况相反^[38—39];在社会公平方面,一些研究发现不仅要关注碳公平成本和减排效果,还要充分考虑其对社会尤其是贫困人口的影响,以及如何通过政策设计来实现更大的社会公平^[40—41]。除此以外,能源脱碳需与正义原则相符,政府和民间社会正寻求通过“可持续发展”、“低碳转型”和“能源正义”的联系解决相关问题。但低碳转型可能引发新不公,研究发现转型中深层次不公难以避免,需政策谨慎应对^[4,42]。

理论工具,相关文章主要使用演化博弈、主从博弈等相关方法进行研究分析。Wu 等^[43]构建了政府—企业行为的演化博弈模型,探讨了碳市场发展过程中企业能源行为的演化过程及相应策略。夏晖等^[44]采用 (p, α) 比例公平在企业和政府主从博弈框架下,建立最优分配与政府公平态度之间的对应关系,研究政府兼顾社会福利和减排成本的多目标条件下企业最优碳配额分配方式。Gu 等^[45]采用全球贸易分析项目(GTAP),探讨欧盟碳关税政策对中国、印度、巴西和南非的经济影响和金砖国家在差异化碳税政策下采取主动减排策略应对欧盟威胁的可行性碳关税以及中国征收碳关税以减少 CO_2 的可能性排放。

气候与环保,研究者们主要以碳公平、气候变化和环保行动等全球性挑战为框架,深入探讨碳公平的实现路径,并据此评估其对缓解气候变化的影响,同时提出相应的战略对策。其中,一些研究^[46]指出,确保碳公平可以促进国际间的环境责任共担;在战略对策方面,部分研究建议加强国际合作,共同制定并执行更为公平合

理的碳排放标准,以提升全球环境治理的效能^[47-48];同时,强调在国内层面推动绿色政策创新,比如实施差异化的碳补偿机制,以此激励低碳技术创新和绿色产业升级,从而在应对气候变化的同时,也促进环境正义与社会经济的可持续发展^[49]。

2.2.3 主题演化分析与前沿趋势

高频关键词在不同研究时期有不同的变化,可以体现碳公平领域的发展脉络与研究热点。采用 R 语言的 Bibliometrix 软件分析并通过 origin 绘制 WoS 数据库文献碳公平领域主题演变图,如图 6 所示,2000—2008 年的探索期,研究主题多且分散,受研究者关注较多的主题有气候变化对碳公平的影响、碳公平发展现状与趋势等;2009—2020 年的增长期,研究者们开始注重碳公平的各种影响因素与二氧化碳相关的研究;2021—2024 年的深化期,研究重点转变为不平等与碳公平之间的关系。

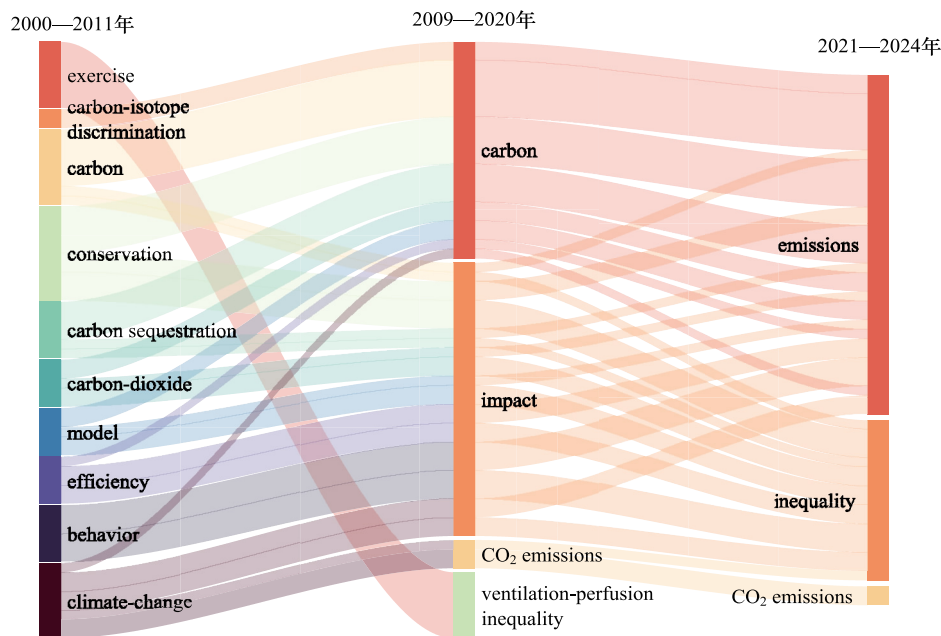


图 6 碳公平领域研究主题演变情况(数据源:WoS)

Fig.6 Evolution of research themes in the field of carbon equity (WoS)

关键词突现分析可以追踪其随时间变化,确定重要性或研究热点。持续或突增的关注领域可视为未来研究方向。它有助于发现学科趋势和关键时刻,为深入研究提供线索。WoS 数据库文献的关键词突现结果如表 5 所示,碳排放公平中持续时间不少于 10 年的研究重点是“carbon(碳)”(强影响时段为 2002—2017)、“model(模型)”(强影响时段为 2002—2016)、“carbon dioxide(二氧化碳)”(强影响时段为 2003—2016)、“equity(公平)”(强影响时段为 2006—2017)、“climate change(气候变化)”(强影响时段为 2007—2017)。表明在碳公平领域的研究进程中,尤其是早期研究中多集中在对二氧化碳排放公平^[50]、碳公平的评估模型^[6,33]、碳公平对气候变化的影响^[47]。近些年“environmental service(环境服务)”(强影响时段为 2010—2018)、“conservation(保护)”(强影响时段为 2011—2018)、“payments(支付)”(强影响时段为 2011—2019)、“ecosystem service(生态系统服务)”(强影响时段为 2011—2017)、“management(管理)”(强影响时段为 2013—2018)等关键词开始出现,表明碳公平领域开始转向碳公平与环境保护^[51]、低碳生态系统价值补偿^[52]、碳公平管理^[27]。

CNKI 数据库文献的关键词突现结果如表 6 所示,碳排放公平近 5 年的研究重点是“碳排放权”(强影响时段为 2019—2021)、“碳中和”(强影响时段为 2021—2024)、“碳达峰”(强影响时段为 2021—2024)、“公平关切”(强影响时段为 2021—2024)、“共同富裕”(强影响时段为 2022—2024)。其中碳中和和碳达峰是碳公

平研究的重要方面^[53]。

表 5 碳公平领域前 15 位突现关键词(数据源:WoS)

Table 5 Top 15 emerging keywords in the carbon equity field (WoS)					
关键词 Keyword	节点出现 Nodes appear suddenly	突现强度 Intensity suddenly appears	突现开始 Sudden appearance begins	突现结束 Sudden appearance ends	2000—2024
Carbon 碳	2002 年	20.77	2002 年	2018 年	
carbon dioxide 二氧化碳	2002 年	18.68	2002 年	2016 年	
Climate change 气候变化	2002 年	30.2	2005 年	2016 年	
Equity 公平	2006 年	20.76	2006 年	2017 年	
Deforestation 森林砍伐	2009 年	8.45	2009 年	2018 年	
Economics 经济学	2009 年	7.96	2009 年	2019 年	
Policy 政策	2009 年	7.62	2009 年	2018 年	
Environmental services 环境服务	2010 年	9.57	2010 年	2018 年	
Ecosystem services 生态系统服务	2011 年	10.68	2011 年	2017 年	
Model 模型方法	2002 年	8.23	2011 年	2016 年	
Payments 支付	2011 年	7.85	2011 年	2019 年	
Carbon dioxide emissions 二氧化碳排放	2007 年	7.53	2011 年	2016 年	
Conservation 保护	2012 年	13.07	2012 年	2018 年	
Management 管理运营	2013 年	7.9	2017 年	2018 年	
Environment 环境	2018 年	6.97	2018 年	2020 年	

表 6 碳公平领域前 15 位突现关键词(数据源:CNKI)

Table 6 Top 15 emerging keywords in the carbon equity field (CNKI)					
关键词 Keyword	节点出现 Nodes appear suddenly	突现强度 Intensity suddenly appears	突现开始 Sudden appearance begins	突现结束 Sudden appearance ends	2000—2024
公平 Equity	2009 年	2.6	2009 年	2014 年	
低碳经济 Low-carbon economy	2010 年	2.16	2010 年	2013 年	
基尼系数 Gini index	2010 年	1.97	2010 年	2015 年	
碳关税 Carbon tariff	2010 年	1.79	2010 年	2011 年	
碳税 Carbon tax	2010 年	1.6	2010 年	2014 年	
公平性 Fairness	2010 年	3.36	2014 年	2018 年	
公平分配 Equitable distribution	2011 年	2.1	2014 年	2016 年	
公平偏好 Fairness preference	2015 年	2.23	2015 年	2018 年	
供应链 Supply chain	2016 年	1.57	2016 年	2018 年	
碳减排 Carbon emission reduction	2006 年	2.44	2017 年	2018 年	
碳排放权 Carbon emission rights	2011 年	1.7	2019 年	2021 年	
碳中和 Carbon neutrality	2021 年	6.53	2021 年	2024 年	
碳达峰 Carbon peak	2021 年	3.21	2021 年	2024 年	
公平关切 Fair concern	2016 年	1.93	2021 年	2024 年	
共同富裕 Common prosperity	2022 年	1.58	2022 年	2024 年	

碳公平研究正呈现出从“责任分配”向“公正转型”的趋势演进。早期研究聚焦于碳税、碳关税、公平性等分配问题,强调国家间碳责任划分的公平原则;随着碳达峰、碳中和、共同富裕等概念的提出,研究逐步延伸至能源转型过程中不同主体(如企业、供应链、消费者)的权责公平与过程正义。同时,国外学界更早关注生态系统服务与政策管理层面的公平考虑,国内则逐步加强多主体协同治理与微观公平偏好等问题的研究。从方法上看,研究工具由基尼系数等静态量化方法拓展至系统建模、政策模拟与社会实验。当前,碳公平的核心科学问题主要包括碳责任动态调整机制、公正转型补偿路径、多主体协同责任划分以及政策工具的公平性嵌入等,部分问题已有理论框架,但在量化评估、行为响应与制度落地等方面仍需深入探索。

3 结论

3.1 从发展趋势看,国内外关于碳公平的研究起始于 21 世纪初,国际上的研究进程可以划分为三个阶段。第一阶段是探索期(2000—2008 年),此期间年均发表的论文数量较为有限;第二阶段是增长期(2009—2020 年),碳公平议题的研究文献数量显著增长;第三阶段是深化期(2021 年至今),碳公平研究已成为全球学术界和政策制定者关注的焦点,相关研究深度和广度均得到大幅提升。相比之下,国内在 2010 年前的碳公平研究文献数量较少,近年来虽有所增加,但仍处于快速发展但尚未成熟的阶段,亟需更多深入的研究探索。

3.2 碳公平研究正逐步扩展其视野,关注碳排放权的合理分配和碳足迹的精确核算,深入探讨不同国家和地区间碳减排责任的公平性、碳交易制度的优化设计及其与可持续发展的协同路径。在中国“碳达峰—碳中和”战略目标推动下,区域发展不平衡带来的减排责任分配问题需要通过公平高效的制度安排进行解决。碳公平研究为气候政策提供科学的公正性评估依据,为碳治理工具的设计与实施提供理论支撑和实践方案。同时,碳公平研究强调跨学科知识整合,系统评估技术创新、经济结构调整、能源转型与国际政策合作等多重因素对公平实现的影响,助力构建全球多元共治的气候治理框架,提升发展中国家的参与能力与话语权,为推动全球气候正义与可持续发展目标实现做出重要贡献。

3.3 从未来趋势看,碳公平研究正呈现出从“责任划分”向“公正转型”的演化趋势,研究内容由宏观伦理原则向碳配额、公平偏好、分配机制等多维细化推进,方法上逐渐趋于量化与模型化,制度工具如碳税、碳关税、碳泄漏控制等成为重要研究对象。研究边界不断拓展,国内强调与供应链管理、区域协调、共同富裕等社会经济议题的融合,国际上则聚焦生态系统服务、气候正义与政策工具的跨尺度整合。未来,研究将进一步深化理论基础与实践路径,着力构建多主体协同治理机制,推动绿色技术的公平扩散与碳补偿制度的可操作化,助力全球碳公平治理向更加系统、公正与可持续的方向发展。

参考文献(References):

- [1] Byrne J, Wang Y D, Lee H, Kim J D. An equity- and sustainability-based policy response to global climate change. *Energy Policy*, 1998, 26(4): 335-343.
- [2] Beckerman W, Pasek J. The equitable international allocation of tradable carbon emission permits. *Global Environmental Change*, 1995, 5(5): 405-413.
- [3] Simpa P, Solomon N O, Adenekan O A, Obasi S C. Strategic implications of carbon pricing on global environmental sustainability and economic development: a conceptual framework. *International Journal of Advanced Economics*, 2024, 6(5): 139-172.
- [4] Siciliano G, Wallbott L, Urban F, Dang A N, Lederer M. Low-carbon energy, sustainable development, and justice: Towards a just energy transition for the society and the environment. *Sustainable Development*, 2021, 29(6): 1049-1061.
- [5] Chen M B, Xu Z B. Assessing socio-ecological fit of international environmental agreements and trade-embodied carbon flows. *Environmental Impact Assessment Review*, 2024, 106: 107534.
- [6] Teng F, He J K, Pan X Z, Zhang C. Metric of carbon equity: carbon gini index based on historical cumulative emission per capita. *Advances in Climate Change Research*, 2011, 2(3): 134-140.
- [7] Huang R, Zhang S F, Wang P. Key areas and pathways for carbon emissions reduction in Beijing for the “Dual Carbon” targets. *Energy Policy*, 2022, 164: 112873.

- [8] Okagawa A, Masui T, Akashi O, Hijioka Y, Matsumoto K, Kainuma M. Assessment of GHG emission reduction pathways in a society without carbon capture and nuclear technologies. *Energy Economics*, 2012, 34: S391-S398.
- [9] Pourakbari-Kasmaei M, Lehtonen M, Contreras J, Mantovani J R S. Carbon footprint management: a pathway toward smart emission abatement. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2020, 16(2): 935-948.
- [10] Semieniuk G, Yakovenko V M. Historical evolution of global inequality in carbon emissions and footprints versus redistributive scenarios. *Journal of Cleaner Production*, 2020, 264: 121420.
- [11] 陈晖, 温婧, 庞军, 陈政, 韦雨杉. 基于 31 省 MRIO 模型的中国省际碳转移及碳公平研究. *中国环境科学*, 2020, 40(12): 5540-5550.
- [12] Steckel J C, Jakob M, Flachsland C, Kornek U, Lessmann K, Edenhofer O. From climate finance toward sustainable development finance. *WIREs Climate Change*, 2017, 8(1): e437.
- [13] Gu G X, Wang Z, Wu L Y. Carbon emission reductions under global low-carbon technology transfer and its policy mix with R&D improvement. *Energy*, 2021, 216: 119300.
- [14] 韩丽丽, 何友均, 朱震锋, 王超. 生物多样性信用研究现状、热点及启示——基于 CiteSpace 的可视化分析. *生态学报*, 2025, 45(5): 2529-2543.
- [15] 王清荣, 李阳兵, 赵雯欣, 汪荣, 晏诗杰, 夏春华, 邵景安. 近 30 年来三峡库区土地利用与生态环境效应研究热点演变及展望——基于 Citespace 的文献可视化分析. *生态学报*, 2024, 44(5): 2159-2172.
- [16] 毛江涛, 徐文婷, 谢宗强. 森林碳汇研究热点与趋势——基于知识图谱分析. *生态学报*, 2023, 43(19): 8241-8253.
- [17] 赵金羽, 萨娜, 田野, 郑拴宁, 付晓, 吴钢, 桑卫国. 基于文献计量的人地系统耦合研究动态及热点. *生态学报*, 2024, 44(6): 2660-2671.
- [18] Davis S J, Caldeira K. Consumption-based accounting of CO₂ emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2010, 107(12): 5687-5692.
- [19] Steffen W, Persson A, Deutsch L, Zalasiewicz J, Williams M, Richardson K, Crumley C, Crutzen P, Folke C, Gordon L, Molina M, Ramanathan V, Rockström J, Scheffer M, Schellnhuber H J, Svedin U. The anthropocene: from global change to planetary stewardship. *Ambio*, 2011, 40(7): 739-761.
- [20] Sachs J D, Schmidt-Traub G, Mazzucato M, Messner D, Nakicenovic N, Rockström J. Six transformations to achieve the sustainable development goals. *Nature Sustainability*, 2019, 2(9): 805-814.
- [21] 樊纲, 苏铭, 曹静. 最终消费与碳减排责任的经济分析. *经济研究*, 2010, 45(1): 4-14, 64.
- [22] 潘家华, 陈迎. 碳预算方案: 一个公平、可持续的国际气候制度框架. *中国社会科学*, 2009(5): 83-98, 206.
- [23] 张雅欣, 罗荟霖, 王灿. 碳中和行动的国际趋势分析. *气候变化研究进展*, 2021, 17(1): 88-97.
- [24] Yang M M, Liang X Y, Chen H, Ma Y H, Gulibaiheremu A. Analysis of the evolution and drivers of carbon inequality based on a human well-being equity perspective. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 448: 141706.
- [25] Ji Y H, Lei Y L, Chen W H, Li L, Jiang Y. Analysis of carbon emission equity degrees based on regional heterogeneity in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 2024, 31(2): 3044-3059.
- [26] Vanderheiden S. Incorporating equitable carbon access into carbon Taxes. *Revista De Ciencia Política*; Santiago, 2024: S0718-90X2024005000114.
- [27] Wang C H, Lin B Q. Managing carbon efficiency and carbon equity. *Journal of Global Information Management*, 2023, 31(1): 1-22.
- [28] Li X L, Zhou W, Lo T Y, Lin J H. International climate policy dilemmas: Examining effective carbon tariff and cap-and-trade regulation from a sustainable insurance perspective. *Energy Economics*, 2024, 134: 107572.
- [29] Lydgate E, Winters L A. The UK's border carbon leakage trilemma. *Energy Policy*, 2025, 198: 114393.
- [30] 贺刚, 唐李翊荣. 沱江流域协同推进碳达峰碳中和的碳排放权分配研究. *环境科学导刊*, 2024, 43(3): 13-18.
- [31] 汤李琛, 曾贤刚, 陈慧, 李洁, 陈宓, 张仲元. 中国省际农作物生产碳公平及其驱动因素. *中国环境科学*, 2024, 44(12): 7063-7078.
- [32] 刘泽森, 黄贤金, 漆信贤. 共享社会经济路径下中国碳中和目标的经济效应研究. *中国科学: 地球科学*, 2025, 55(1): 141-156.
- [33] Pan X Z, Teng F, Wang G H. A comparison of carbon allocation schemes: On the equity-efficiency tradeoff. *Energy*, 2014, 74: 222-229.
- [34] Tian Y, Pang J. Promoting the achievement of carbon neutrality targets: systematic review of research dimensions and measure methods on carbon equity in China. *Environmental Science & Technology*, 2024, 58(23): 9912-9924.
- [35] Combet E, Gheri F, Hourcade J C, Théry D. Carbon tax and equity: The importance of policy design. Soares C D, Milne J, Ashiabor H, Deketelaere K, Kreiser L. *Critical issues in environmental taxation: volume VIII*. Oxford University Press, 2010: 277-295.
- [36] Guo A J, Yang J H, Zhong F L. Carbon emission quotas and a reduction incentive scheme integrating carbon sinks for China's provinces: an equity perspective. *Sustainable Production and Consumption*, 2023, 41: 213-227.
- [37] Starr J, Nicolson C, Ash M, Markowitz E M, Moran D. Income-based U.S. household carbon footprints (1990 - 2019) offer new insights on

- emissions inequality and climate finance. *PLoS Climate*, 2023, 2(8): e0000190.
- [38] Grunewald N, Klasen S, Martínez-Zarzoso I, Muris C. The trade-off between income inequality and carbon dioxide emissions. *Ecological Economics*, 2017, 142: 249-256.
- [39] Rojas-Vallejos J, Lastuka A. The income inequality and carbon emissions trade-off revisited. *Energy Policy*, 2020, 139: 111302.
- [40] Casillas C E, Kammen D M. Quantifying the social equity of carbon mitigation strategies. *Climate Policy*, 2012, 12(6): 690-703.
- [41] Huang H, Roland-Holst D, Springer C, Lin J, Cai W J, Wang C. Emissions trading systems and social equity: a CGE assessment for China. *Applied Energy*, 2019, 235: 1254-1265.
- [42] Sovacool B K, Martiskainen M, Hook A, Baker L. Decarbonization and its discontents: a critical energy justice perspective on four low-carbon transitions. *Climatic Change*, 2019, 155(4): 581-619.
- [43] Wu Z Q, Yang C, Zheng R J. An analytical model for enterprise energy behaviors considering carbon trading based on evolutionary game. *Journal of Cleaner Production*, 2024, 434: 139840.
- [44] 夏晖, 王思逸, 蔡强. 多目标条件下企业碳配额分配和政府公平——基于 (p, α) 比例公平的视角. *中国管理科学*, 2019, 27(4): 48-55.
- [45] Gu R R, Guo J, Huang Y X, Wu X H. Impact of the EU carbon border adjustment mechanism on economic growth and resources supply in the BASIC countries. *Resources Policy*, 2023, 85: 104034.
- [46] Mi Z F, Liao H, Coffman D, Wei Y M. Assessment of equity principles for international climate policy based on an integrated assessment model. *Natural Hazards*, 2019, 95(1): 309-323.
- [47] Pan X Z, Teng F, Robiou du Pont Y, Wang H L. Understanding equity - efficiency interaction in the distribution of global carbon budgets. *Advances in Climate Change Research*, 2023, 14(1): 13-22.
- [48] Wang H, Chen W Y, Rauner S, Bertram C, Luderer G, Kriegler E. The double dividend of international cooperation for climate mitigation cost effectiveness and public health cobenefits. *Environmental Science & Technology*, 2023, 57(10): 4061-4070.
- [49] Han X, Gao X C, Ahmad F, Ali Chandio A, Khan S. Carbon compensation and carbon neutrality: regional variations based on net carbon transfer of trade in China. *Geoscience Frontiers*, 2024, 15(4): 101809.
- [50] Spierre S G, Seager T, Selinger E. Determining an equitable allocation Of global carbon dioxide emissions. *Proceedings of the 2010 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*. May 17-19, 2010, Arlington, VA, USA. IEEE, 2010: 1-5.
- [51] Gallagher C L, Holloway T. U.S. decarbonization impacts on air quality and environmental justice. *Environmental Research Letters*, 2022, 17(11): 114018.
- [52] Ma X, Huang Y. Research on the market operation mechanism of ecological compensation for low carbon environment. *Fresenius Environmental Bulletin*, 2021, 30(7 A): 9481-9491.
- [53] 毛显强, 郭枝, 高玉冰. 碳达峰、碳中和与经济、社会、生态环境的协同研究. *环境保护*, 2021, 49(23): 30-35.