



DOI: 10.20103/j.stxb.202207071936

刘莉娜, 曲建升, 曾静静, 韩金雨, 刘淳森. 基于文献计量的居民食物消费碳排放研究进展及发展态势. 生态学报, 2023, 43(17): 7331-7340.

基于文献计量的居民食物消费碳排放研究进展及发展态势

刘莉娜^{1,*}, 曲建升², 曾静静¹, 韩金雨², 刘淳森³

1 中国科学院西北生态环境资源研究院, 兰州 730000

2 中国科学院成都文献情报中心, 成都 610041

3 兰州大学数学与统计学院, 兰州 730000

摘要:食物是人类生存和发展的基础,然而城市化过程中食物消费产生的碳排放也影响着生态环境与人类福祉。双碳目标下,如何协调食物消费增长与低碳减排之间的矛盾,亟需从不同尺度制定绿色消费优化策略。基于此,从居民食物消费碳排放研究的发文态势、研究方法以及研究内容 3 个方面进行归纳和梳理。研究发现:①由居民食物消费引起的碳排放问题仍是未来学术界的研究热点之一;②从生产端、消费端及系统视角 3 个方面对居民食物消费碳排放概念和内涵进行理解,有助于界定碳排放核算边界;③目前居民食物消费碳排放核算的主流测算方法包括生命周期评价(LCA)、碳排放系数、投入产出分析(IOA)和物质流分析(MFA)方法这 4 种;④从碳排放分布特征看,国内外学者从不同尺度(全球、国家、地区、省域、城市)、不同方式(直接与间接)、不同环节(生产与消费等)、不同消费结构(植物型与动物型)等多角度对其进行探讨;⑤从影响机制来看,基于多尺度时空融合视角量化分析居民食物消费碳排放作用机理这一科学问题值得关注。因此,综合考虑人口、社会、经济等多要素,同时考虑空间异质性,识别居民食物消费碳排放关键机制,构建面向双碳目标的碳减排潜力情景并揭示不同情景下的碳减排贡献,将有助于提出最优的居民生活绿色消费模式。

关键词:碳排放; 食物消费; 研究综述; 核算方法; 影响机制

食物消费及其导致的碳排放问题已成为全球关注的热点话题之一。随着各国人口变化以及经济增长为导向,居民食物消费需求将进一步导致碳排放空间的不确定性,这一问题不容忽视^[1]。食物消费是全球温室气体排放的重要来源之一^[2]。2015 年,食物产生的温室气体排放量约占全球总量的 1/3^[3]。国际组织,比如联合国粮食及农业组织(FAO)、经济合作与发展组织(OECD)等发布多份研究报告对食物生产消费引致的碳排放问题进行研究,发现其对气候变化、生物多样性等均产生重要影响,研究指出减少居民食物消费引起的碳排放效应是确保全球可持续消费模式(SDG 12)的主要战略之一^[4-7]。已有研究通过对全球^[8-11]及美国^[12-14]、英国^[15]、日本^[16-17]、中国^[18-20]等国家或地区居民食物消费碳排放的分析发现,减少食物浪费、改变消费模式、改善饮食习惯等方式是居民应对气候变化的有效措施之一。城市消耗了全球 70%以上的能源,贡献了 80%以上的碳排放^[21]。预计至 2050 年,全球城市人口的比例将达到 70%^[1],而城市居民食物需求量将约占全球的 80%^[22]。届时,食物需求量较 2010 年将增加 50%以上,如果按照当前消费模式则新增 150 亿吨 CO₂排放,对气候和环境产生更大影响^[6]。

全球气候治理推动下,截止 2022 年 9 月,有 140 多个国家(覆盖全球碳排放总量的 90%)已经宣布或者正

基金项目:国家自然科学基金面上项目(42171300); 甘肃省自然科学基金项目(20JR10RA026)

收稿日期:2022-07-07; **网络出版日期:**2023-04-28

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: liuln@llas.ac.cn

在考虑实现碳中和目标^[23]。自 2020 年 9 月 22 日,习近平主席首次提出中国努力争取 2060 年前实现碳中和目标以来,已在 50 多次国内外重要会议上强调实现双碳(碳达峰、碳中和)目标。人类活动和消费是碳排放的主要驱动力,食物消费刚性需求导致的碳排放增加将提高气候治理成本与难度^[24-25]。面向双碳愿景,对已有居民食物消费碳排放研究的文本数据进行挖掘,开展居民食物消费碳排放研究热点与发展趋势研究,可为我国制定科学合理的低碳发展策略和绿色消费模式提供理论依据。基于此,本文从居民食物消费碳排放发文态势、研究方法和研究内容 3 个方面进行归纳和梳理,并提出我国居民食物消费碳排放研究的一些思考与建议。

1 居民食物消费碳排放发文态势

1.1 发文趋势

为了更好地掌握国际居民食物消费碳排放研究现状及发展趋势,以 Web of Science 数据库为来源,对 2011—2021 年以“居民食物消费碳排放”为主题的相关文献进行检索(检索时间 2021 年 12 月),检索到的英文期刊论文为 2036 篇。如图 1 所示,从发文数量来看,居民食物消费碳排放研究的发文量变化趋势较大,整体呈现指数上升趋势。对比历年发文篇数,2010—2015 年,国际上在居民食物消费碳排放领域的研究发展缓慢,由 2011 年的 48 篇/年上升至 2015 年的 125 篇/年,增长了

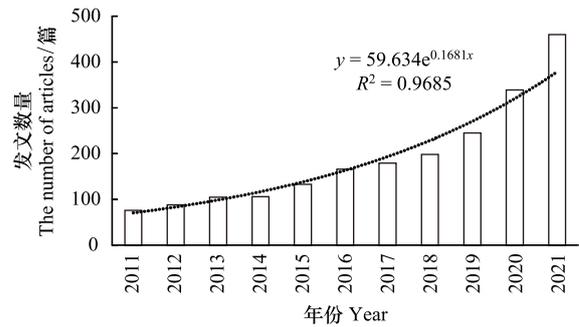


图 1 2011—2021 年食物消费碳排放的英文文献发文趋势
Fig.1 Trends in English literature on food consumption carbon emissions, 2011—2021

1.60 倍;2016—2021 年,国际上在居民食物消费碳排放领域的研究发展迅速,至 2021 年论文数量已经增到 460 篇/年,与 2011 年相比增长了 8.29 倍。由此可见,由居民食物消费引起的碳排放问题仍是未来学术界的热点问题之一。

1.2 学科结构

为了清晰掌握 2011—2021 年主要国家在居民食物消费碳排放研究的学科结构,本文按照 Web of Science 学科分类进行统计。结果发现,2011—2021 年居民食物消费碳排放研究的科技论文涉及 108 个学科方向。其中排名前 10 位的包括:环境科学(Environmental Sciences)、绿色可持续科学技术(Green Sustainable Science Technology)、工程环境(Engineering Environmental)、能源动力学(Energy Fuels)、环境研究(Environmental Studies)、农学(Agronomy)、经济学(Economics)、气象与大气科学(Meteorology Atmospheric Sciences)、工程化学(Engineering Chemical)、生态学(Ecology)(图 2)。

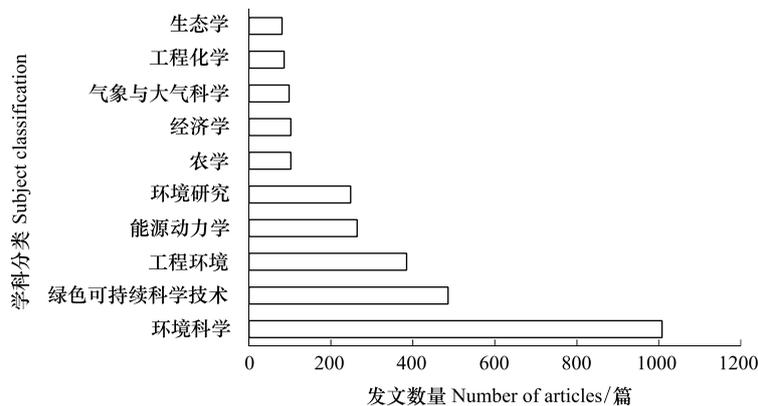


图 2 2011—2021 年食物消费碳排放研究排名前 10 位学科方向
Fig.2 Top 10 disciplines for the research of food consumption carbon emissions, 2011—2021

1.3 合作网络

居民食物消费碳排放研究的国家合作网络图谱可以清楚地反映不同国家的合作集中程度,有效识别该领域不同国家的合作强度。本文采用 VOSViewer 软件对居民食物消费碳排放的主要国家合作网络进行绘制(图 3),可以看出该研究的国家合作特点呈现出以美国、中国和英国为主要核心,这说明了以美国、英国为代表的发达国家和以中国为代表的发展中国家在该研究中的领导地位。其中,美国同加拿大、澳大利亚、日本、印度的合作强度较高,形成了较好的合作网络。英国与西班牙、法国、瑞士、丹麦、巴西等国家的合作密切,形成较好的合作网络。中国与伊朗、韩国、土耳其、巴基斯坦等国家的合作密切,形成较好的合作网络。中国在进一步提升食物消费碳排放研究领域的领先地位时需要考虑加强与美国、英国等发达国家的合作网络。

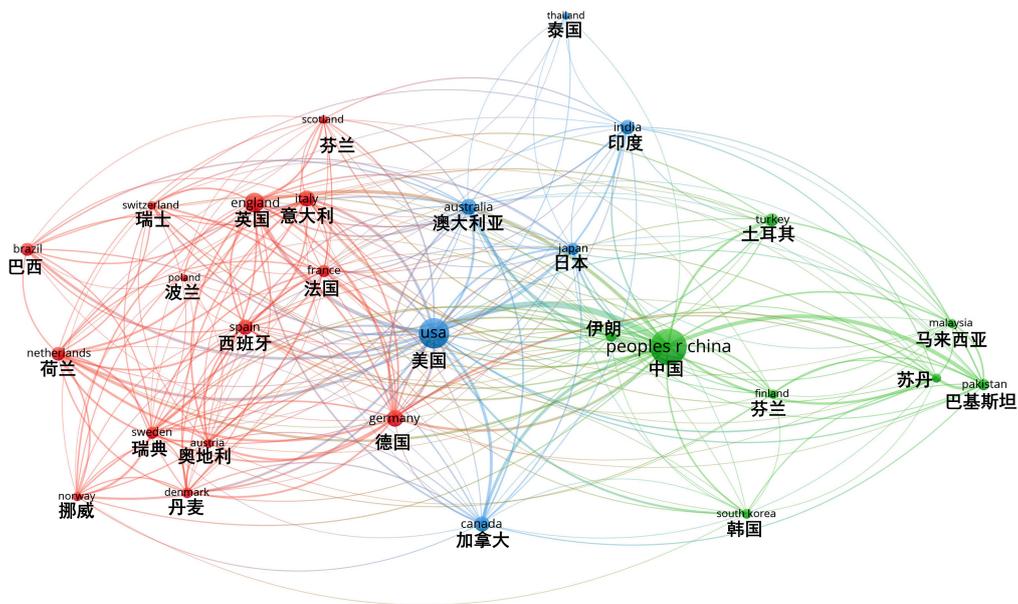


图 3 2011—2021 年食物消费碳排放研究主要国家合作网络图谱

Fig.3 Cooperation main countries/territories in the research of food consumption carbon emissions, 2011—2021

1.4 主题聚类

基于 VOSViewer 软件绘制居民食物消费碳排放研究共现频次 ≥ 20 次的关键词网络图谱(图 4),根据关键主题的聚类结果,可以发现该研究主要围绕碳足迹、气候变化、可持续性与温室气体 4 个核心问题展开。对近 10 年来居民食物消费碳排放研究的关键主题进行总结,主要聚焦在两个方面:一是居民食物消费碳排放测算方法、温室气体减排以及对气候变化的影响;二是可持续发展、可持续消费等理念在不同国家(比如中国以关键主题呈现)、不同阶段(食物生产、食物消费、全生命周期)优化策略中的实践。食物消费碳排放仍是全球性问题,居民食物消费刚性需求仍是未来碳排放增加的驱动之一,因此厘清居民食物消费碳排放变化的关键因素对推进双碳目标和可持续发展具有紧迫的现实需求。

2 居民食物消费碳排放研究方法

2.1 概念和内涵

国内外居民食物消费碳排放研究已有较为深入而全面的核算理论基础。通过对居民食物消费碳排放概念和内涵进行梳理,已有研究主要从生产端、消费端及系统视角 3 个方面的对其进行理解,有助于从不同角度对居民食物消费碳排放测算边界进行界定(图 5)。^①食物生产碳排放,是指农牧投入过程直接产生的碳排放以及食物相关产业间接产生的碳排放^[26—28]。主要关注生产端,包括农业物资、农地利用、作物生产及畜牧肠道发酵和粪便管理等方面碳排放的直接影响以及食物相关产业碳排放的间接影响。^②居民食物消费碳排放,

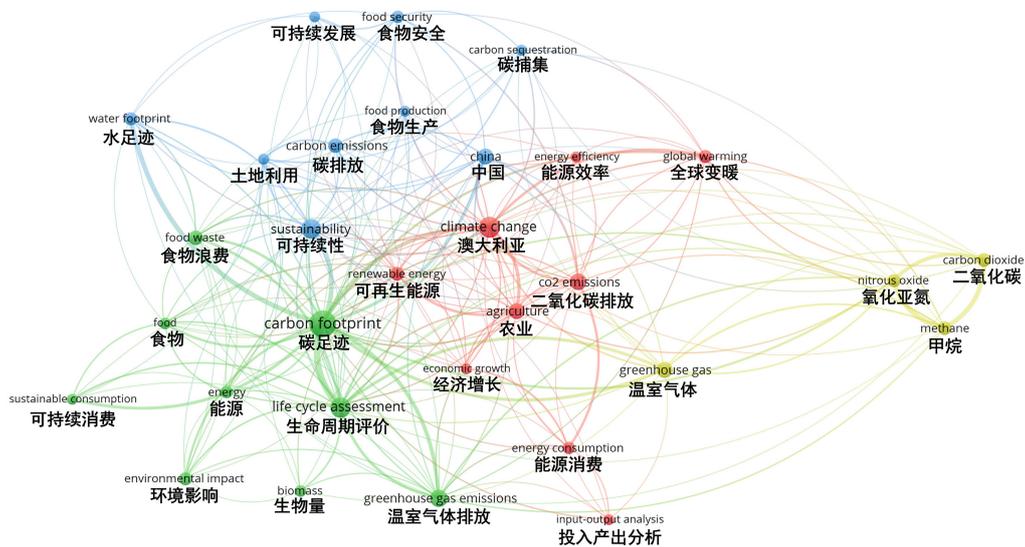


图 4 2011—2021 年食物消费碳排放研究的关键词共现网络图谱

Fig.4 Keyword co-occurrence network map in the research of food consumption carbon emissions, 2011—2021

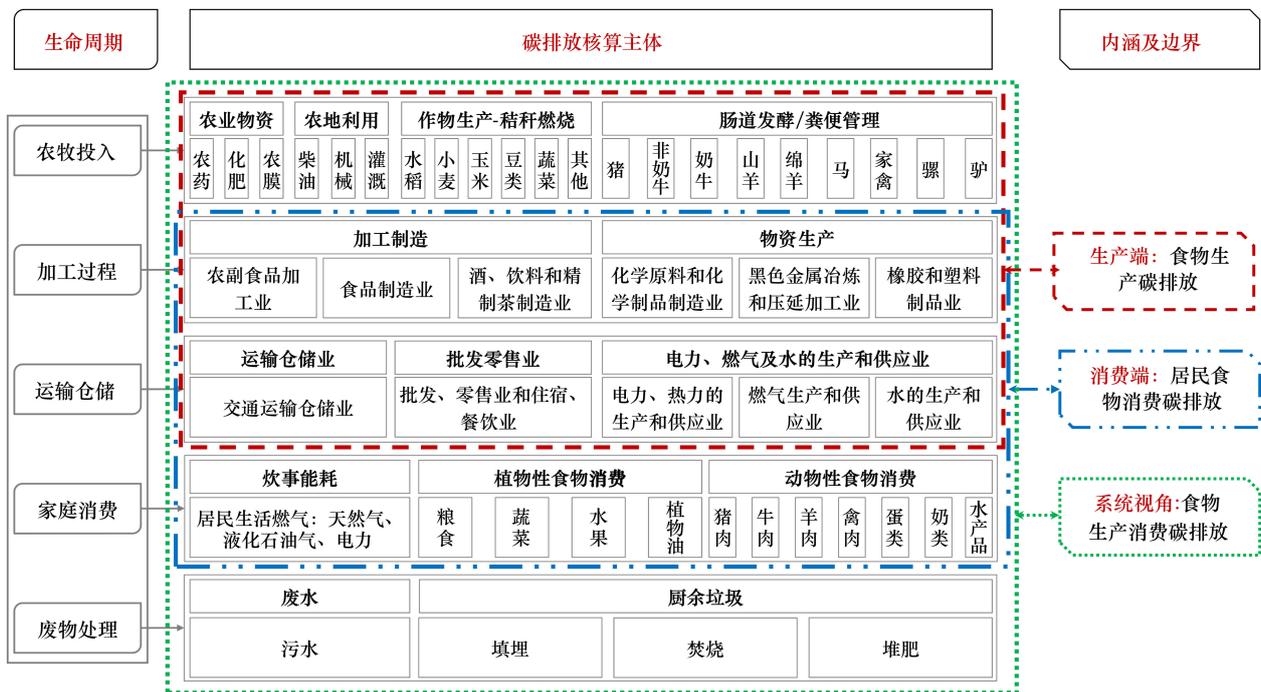


图 5 居民食物消费碳排放的主要测算边界(根据参考文献总结绘制)

Fig.5 Main accounting boundaries of household food consumption CO₂ emissions (drawn based on the summary of references)

是指居民饮食消费直接产生的碳排放以及食物消费相关产业间接产生的碳排放^[29—33]。主要侧重消费端,包括家庭消费过程中消耗食物(植物性食物和动物性食物)直接产生的碳排放以及食物在生产、加工、运输、仓储等过程中间接产生的碳排放,相关研究还关注了居民食物消费行为、食物消费结构调整等对低碳减排的影响。③食物生产消费碳排放,是指食物从生产到消费,包括加工、分配、运输、废弃物处理等过程中产生的所有碳排放^[3,34—35]。主要侧重系统角度,分析了“从农场到餐桌”整个生命周期过程的碳排放影响。基于此,学者采用调研数据分析了食物在农业生产、食物加工、运输仓储以及居民消费等各个环节因食物损失和浪费产生的碳排放影响^[18—20],提出了食物浪费资源环境效应研究的概念框架。

2.2 核算方法

居民食物消费碳排放的主流核算方法主要包括生命周期评价(LCA)、碳排放系数法、投入产出分析(IOA)和物质流分析(MFA)方法等(图6)。

①生命周期评价方法,作为一种系统的环境影响评价工具,广泛应用于各种食物消费或食品行业整个生命周期过程产生的碳排放测算^[12]。主要优点是可以对微观尺度的产品、产业等整个生命周期的碳排放进行测算,得出的数据精细,但同时也会因为分析方法对数据要求比较细致而导致数据不易获取、研究时间尺度短等缺点。

②碳排放系数法,主要基于《IPCC 国家温室气体清单指南1996》推荐的缺省方法,结合已有官方文件或高质量论文获取食物消费各环节碳排放系数,按照表观消费量进行相乘测算^[21,36-38]。主要优点在于计算简单、易懂、易操作,广泛用于国家、地区、城市等宏观层面,但由于各地工艺流程、生产技术等原因会导致地方碳排放因子存在显著差异,在测算过程中会不可避免的产生误差。

③投入产出分析方法,最早是为了解决经济系统中各要素之间投入与产出的依存关系,到20世纪60年代,才广泛应用于经济发展、环境影响及能源领域,可测算终端消费需求间接产生的CO₂排放^[39-41]。主要优点是适用于宏观层面碳排放测算,计算结果相对全面和准确,但由于不同国家存在投入产出表出版时间滞后或者缺乏地区投入产出表等因素,会导致测算结果不连续,影响长期预测。

④物质流分析,也称社会经济代谢分析,根据质量守恒定律系统评估社会-经济系统中物质存量和流量^[42],适用于不同尺度家庭代谢核算^[43-44]。主要优点可以对食物生产消费过程中碳素流动变化及其环境负荷进行分析^[45],适用于微观层面,大多采用调研数据或实验数据进行分析,从而会给居民食物消费碳排放多尺度、长尺度的宏观分析带来困难。

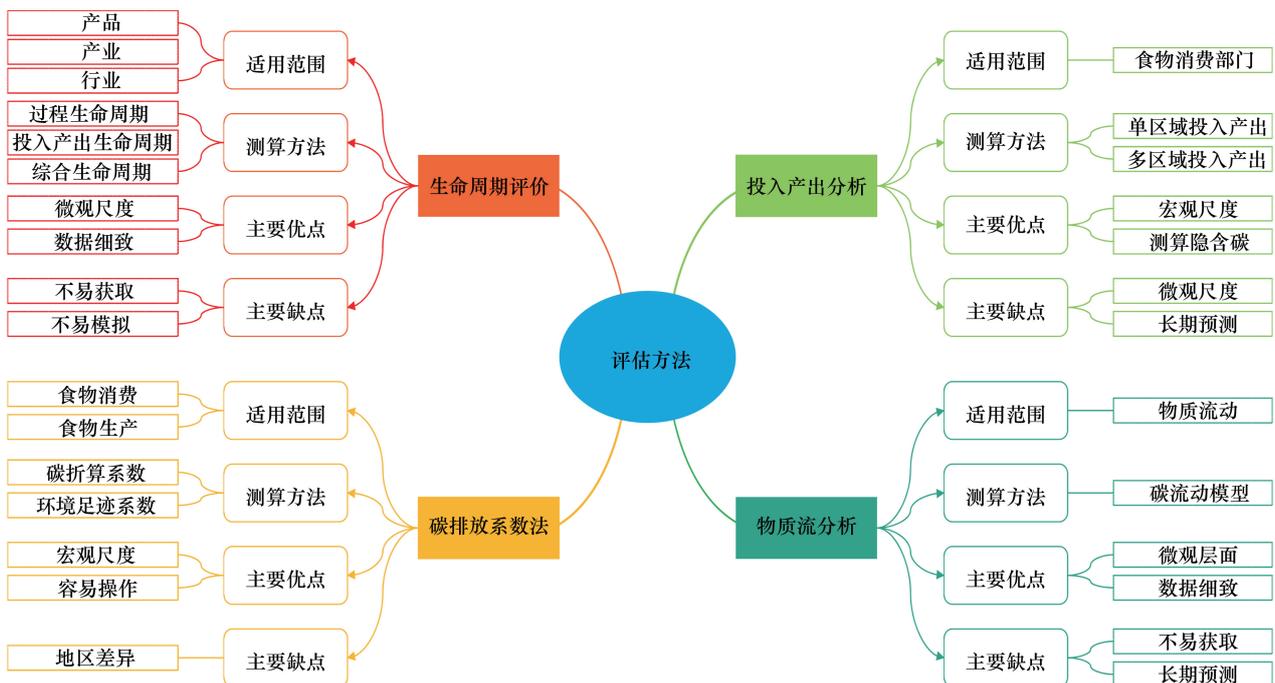


Fig.6 Mainstream accounting methods of household food consumption CO₂ emissions (drawn based on the summary of references)

总体上看,国内外学者较早关注了食物生产端的碳排放影响,随着相关领域研究的发展,居民消费端的碳排放问题受到广泛关注^[33,36]。综合生命周期评价、碳排放系数和投入产出分析方法对居民食物消费碳排放进行评估,可以很好地避免测算内容重复和漏算,适用于不同尺度的碳排放评价^[19,36-38]。

3 居民食物消费碳排放研究内容

3.1 排放特征

经过200多年的发展,发达国家完成了工业化进程,城市收入和消费水平得到很大提高,其碳排放需求主

要来自居民消费^[39-40];对于发展中国家,大多数碳排放是为了满足食物消费等基本生活需求^[26,46]。关于消费端产生的碳排放研究多集中在整个生活领域,对居民食物消费产生的碳排放问题正逐步完善^[36]。国内外学者从不同尺度(全球、国家、地区、省域、城市)、不同方式(直接与间接)、不同环节(生产与消费等)、不同消费结构(植物型与动物型)多角度探讨了居民食物消费碳排放的影响并对其分布特征进行了分析。

(1) 全球尺度:从全球趋势看,居民食物消费需求引起的碳排放问题不容忽视。2015年,全球食物消费产生的碳排放量约为173亿吨CO₂当量,约占全球碳排放总量的1/3,若要实现《巴黎协定目标》,亟需对食物生产消费等方式进行重大改变^[3,9]。

(2) 国家尺度:从各国对比看,多数国家的居民食物消费碳排放量整体呈现上升趋势,但不同国家碳排放总量及人均碳排放存在显著差异^[4,47]。以中国为例,居民食物消费碳排放总量和人均碳排放量也呈现上升趋势,且食物消费需求的日益增长加剧了中国碳减排压力^[33,45-46];从生产端角度,农业食物系统直接和间接产生的碳排放由1978年的5.3亿吨,至2018年增长了26.4%^[46];从消费端角度,人均食物消费碳排放量由1978年的431.1 kg/年增加至2017年的1078.7 kg/年^[45],且消费端增长趋势快于生产端^[48];从食物消费结构来看,植物型食物与动物型食物消费产生的碳排放差异显著,居民食物消费结构调整有助于促进低碳减排^[26,49]。

(3) 地区/省级/市级尺度:围绕不同区域,学者对中原^[37]、长三角^[39]等地区居民食物消费直接和间接产生的碳排放进行了分析。从省域角度,中国人均居民食物消费碳排放增速最大的是宁夏,最小的是甘肃,碳排放总量增幅最大的是广东,最低的是吉林^[33];基于中国居民健康和营养调查(CHNS)数据库中12个省区数据,2000—2011年,北京市居民食物消费碳足迹最低,而贵州的最高^[38]。从城市尺度,研究人员对跨越中国东西部、南北方的典型城市,比如沈阳^[47]、北京^[19]、厦门^[50]、郑州^[37]、兰州^[51]、拉萨^[52]等城市居民食物消费直接与间接,生产端、消费端或生产消费系统的碳排放影响进行了研究。

总的来说,全球或国家尺度居民食物消费碳排放研究相对成熟,但多尺度碳排放量化研究还需进一步加强^[45,53]。各地较为显著的地域性、民族性及饮食结构等空间分异特征导致碳排放影响差异明显^[36]。一些发达城市/地区已处于“过度消费”水平,居民食物消费碳排放居高不下;一些贫困城市/地区依然温饱不足,居民食物消费碳排放很低^[11,26-28,45-46,54]。由于不同地区的尺度效应,居民食物消费碳排放发展态势及影响机理也不同。考虑到各地经济条件、饮食文化、消费结构等空间异质性及典型区位特征,在国际碳中和战略推动下,从居民食物消费视角出发,对多尺度视角下的碳排放效应进行判断,可以更好地反映地区居民生活水平和发展态势。

3.2 影响机理

已有居民生活碳排放影响机制研究为我国居民食物消费视角的碳排放影响定量评价提供了重要的科学参考。居民生活碳排放影响机制研究相对较早,分析方法相对较成熟,已有研究从人口、经济、社会、技术、政策和自然6个方面因素对其碳排放的影响机理进行了系统梳理^[55]。基于时间序列分析角度,Liu等基于扩展的对数平均迪氏指数(LMDI)分解模型探讨了居民消费水平、收入水平、消费结构等因素对我国城乡居民生活碳排放的影响^[56]。从地理空间角度,学者采用空间计量模型分析了中国省域能源燃烧产生的碳排放的影响机制^[57-58]。同时,已有研究基于统计数据与调研数据分别对我国各省及省会城市人均居民生活碳排放的影响机制进行了探讨^[29-30]。基于量化分析视角,采用混合模型和半参数混合模型对我国居民生活碳排放总量及人均碳排放量影响机制进行探讨^[59-60]。研究发现,影响机制的量化分析有助于识别影响居民消费碳排放的关键因素,为制定科学合理的差异化低碳政策提供了重要的理论支撑。

已有居民食物消费碳排放影响研究推动了影响机制的量化分析,但也面临着一些挑战。韩金雨等^[49]和张丽娜等^[32]分别从城乡分异和食物消费结构升级视角对食物消费产生的碳排放动态机制进行研究。曹志宏等利用洛伦兹曲线和基尼系数对中国省域食物消费碳排放的主要驱动因子进行了探讨^[36]。以食物浪费为切入点,成升魁等^[18]、张丹等^[19]量化了其碳足迹,从减少食物浪费视角探讨了可能的减排机理。居民食物消费碳排放影响机制研究多考虑单一因素或几个典型因素的定性分析或异质性分析,缺乏驱动因素的定量评价

价。特别是普遍受限于城市数据的可获取性,未考虑多尺度异质性对居民食物消费碳排放的驱动效应,关键机理的解析相对不足。基于多尺度时空融合视角量化分析居民食物消费碳排放作用机理这一科学问题值得关注,相关研究有待进一步完善。

3.3 减排潜力

碳减排潜力研究可为实现双碳路径及政策提供理论支撑和科学参考^[61-62],主要应用于工业、能源、居民生活等领域,常用回归模型、IPAT 方程($I=P\times A\times T$,其中, I 表示环境影响, P 表示人口数量, A 表示人均财富水平, T 表示技术水平)理论、情景分析等预测方法^[62-64]。已有研究结合方程理论及情景分析方法探讨了居民生活碳排放增长路径,结果发现未来一段时间内居民消费需求引起的碳排放仍处于上升趋势,亟需制定针对性、差异化减排举措才可实现碳达峰目标^[63,65]。张翠玲等通过探讨减少食物浪费、调整饮食结构、引导绿色消费等优化方式的减排潜力,结果发现食物消费结构调整优化将会带来约 425.1 kg/年的碳减排贡献,同时会通过需求引导农业生产及居民消费等活动,对碳排放产生不同影响^[18,46]。为了科学合理把握未来居民食物消费碳排放演化路径,综合考虑人口、社会、经济等多要素,构建不同碳减排潜力情景,分析不同情景下的减排贡献,将有助于提出最优的居民食物绿色消费模式,同时也是对已有研究的拓展和重要补充。

4 结论与启示

4.1 主要结论

通过对居民食物消费碳排放发文态势、研究方法及研究内容 3 个方面进行梳理,得到以下主要结论:

(1)从发文趋势看,2011 年以来,居民食物消费碳排放研究主要聚焦在碳足迹、气候变化、可持续性与温室气体 4 个核心问题上,且发文总量整体呈现指数上升趋势,可见居民食物消费引起的碳排放问题仍是未来学术界的研究热点之一。

(2)从研究方法看,一方面已有研究主要从生产端、消费端及系统视角 3 个方面对居民食物消费碳排放概念和内涵进行理解。另一方面,通过对居民食物消费碳排放主流核算方法优缺点进行对比,综合考虑生命周期评价、碳排放系数和投入产出分析方法的居民食物消费碳排放评估,可有效避免测算内容重复和漏算,且适用于不同尺度评价。

(3)从研究内容看,一是聚焦排放特征研究,国内外学者从不同尺度(全球、国家、地区、省域、城市)、不同方式(直接与间接)、不同环节(生产与消费等)、不同消费结构(植物型与动物型)等多角度对其进行探讨,但多尺度碳排放量化研究还需进一步加强。二是聚焦影响机制研究,基于多尺度时空融合视角量化分析居民食物消费碳排放作用机理这一科学问题值得关注。三是减排潜力研究,综合考虑人口、社会、经济等多要素,构建不同碳减排潜力情景,分析不同情景下的减排贡献,将有助于提出最优的居民食物绿色消费模式。

4.2 发展趋势

(1)多尺度视角下居民食物消费碳排放量化亟需广泛关注

多尺度空间的碳排放量化研究可为碳排放管理提供数据支撑和科学支持,正成为居民食物消费碳排放研究领域的发展趋势。近年来,国内外学者从不同尺度,包括国家、地区或部分城市尺度,量化分析了居民食物消费碳排放特征,推进了碳排放核算研究的发展,但也面临着一些挑战。居民食物消费碳排放量化研究多从单一尺度或几个城市尺度考虑,多尺度空间的居民食物消费碳排放量化在气候治理领域尚未得到有效深化与拓展。如何构建居民食物消费碳排放空间分布函数,综合考虑多维度(时间与空间)、多视角(生产角度、消费角度、系统角度)和多环节(生产、加工、运输、仓储、废弃物处理),实现多尺度视角下居民食物消费碳排放量化这一关键科学问题亟需解决。

(2)居民食物消费碳排放关键机理研究仍需加强

碳排放的基本驱动力是人的活动与消费。居民食物消费刚性需求引起的不确定碳排放空间将提高实现碳中和的成本与难度,优化食物消费模式和改变膳食行为是低碳减排的积极举措^[24, 25]。然而不同地区的资

源禀赋、气候变化、社会文化、经济发展、居民消费水平等存在显著差异,这对居民生活生产方式、能源消耗模式等产生不同影响,从而导致各地碳排放存在显著差异^[41, 54]。科学研判居民食物消费碳排放关键机理,有助于厘清未来碳排放发展路径提供重要的理论支持。已有研究多是考虑单一尺度或某几个典型因素的定性或异质性分析,时空融合尺度的量化评价仍面临一些短板。在此背景下,综合考虑时空异质性的碳排放影响机制定量评价有助于识别关键机理,可以为制定科学合理的差异化低碳政策提供理论支撑。如何利用量化手段从时空融合视角测度不同要素与食物消费碳排放之间的相互关系,并识别关键机理是居民食物消费碳排放研究拟解决的另一关键科学问题。

(3) 双碳目标下的碳减排潜力研究是未来的研究热点

碳排放治理过程中,面临着碳减排与提高居民生活水平之间的矛盾,如何制定更合理的减排方案,降低减排与民生福祉之间的冲突,是一个亟需解决的问题。目前居民食物消费碳排放空间研究多关注未来预测及增长路径,但在居民生活的减排方式、减排行为等研究相对欠缺,这也扩大了未来福祉与责任之间调节的不确定性。基于未来居民食物消费碳排放需求与减排潜力情景,制定食物消费碳减排情景(基准情景、低减情景、高减情景),对比分析不同类型、不同阶段、不同情景下的碳排放演化路径,测度不同路径碳减排贡献,识别居民消费优化模式,对我国生态文明建设和绿色发展将提供科学参考。

在此背景下,考虑时空异质性,识别居民食物消费碳排放关键机制,揭示不同地区、不同发展水平、不同消费结构的潜在减排贡献,将有助于提出因地制宜的绿色调控方案,可为我国实现双碳目标提供政策参考。

参考文献(References):

- [1] PBL (PBL Netherlands Environmental Assessment Agency), 2014. Towards a world of cities in 2050: An outlook on water-related challenges. [2022-05-02] <https://www.pbl.nl/en/publications/towards-a-world-of-cities-in-2050-an-outlook-on-water-related-challenges>.
- [2] Hasegawa T, Havlik P, Frank S, Palazzo A, Valin H. Tackling food consumption inequality to fight hunger without pressuring the environment. *Nature Sustainability*, 2019, 2(9): 826-833.
- [3] Crippa M, Solazzo E, Guizzardi D, Monforti-Ferrario F, Tubiello F N, Leip A. Food systems are responsible for a third of global anthropogenic GHG emissions. *Nature Food*, 2021, 2(3): 198-209.
- [4] FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2013. Food wastage footprint: Impacts on natural resources. [2022-03-02] <http://www.fao.org/3/i3347e/i3347e.pdf>.
- [5] OECD (Organization for Economic Cooperation and Development), 2015. Food waste along the food chain. [2022-03-03] <https://doi.org/10.1787/5jxremftzj36-en>.
- [6] WRI (World Resources Institute), 2018. Creating a sustainable food future. [2022-03-02] <https://www.wri.org/publication/creating-sustainable-food-future>.
- [7] WRI (World Resources Institute), 2019. Reducing food loss and waste: setting a global action agenda. [2022-03-03] https://files.wri.org/d8/s3fs-public/reducing-food-loss-waste-global-action-agenda_1.pdf
- [8] Ritchie H, Reay D S, Higgins P. The impact of global dietary guidelines on climate change. *Global Environmental Change*, 2018, 49: 46-55.
- [9] Clark M A, Domingo N G G, Colgan K, Thakrar S K, Tilman D, Lynch J, Azevedo I L, Hill J D. Global food system emissions could preclude achieving the 1.5° and 2°C climate change targets. *Science*, 2020, 370(6517): 705-708.
- [10] Stylianou K S, Fulgoni V L, Joliet O. Small targeted dietary changes can yield substantial gains for human health and the environment. *Nature Food*, 2021, 2(8): 616-627.
- [11] Sun Z X, Scherer L, Tukker A, Spawn-Lee S A, Bruckner M, Gibbs H K, Behrens P. Dietary change in high-income nations alone can lead to substantial double climate dividend. *Nature Food*, 2022, 3(1): 29-37.
- [12] Boehm R, Wilde P E, Ver Ploeg M, Costello C, Cash S B. A comprehensive life cycle assessment of greenhouse gas emissions from U.S. household food choices. *Food Policy*, 2018, 79: 67-76.
- [13] Hu G W, Mu X Z, Xu M, Miller S A. Potentials of GHG emission reductions from cold chain systems: case studies of China and the United States. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 239: 118053.
- [14] Song L, Cai H, Zhu T. Large-scale microanalysis of U.S. household food carbon footprints and reduction potentials. *Environmental Science & Technology*, 2021, 55(22): 15323-15332.
- [15] Elliott M, Bhunnoo R. Scenarios for transforming the UK food system to meet global agreements. *Nature Food*, 2021, 2(5): 310-312.
- [16] Munesue Y, Masui T. The impacts of Japanese food losses and food waste on global natural resources and greenhouse gas emissions. *Journal of Industrial Ecology*, 2019, 23(5): 1196-1210.
- [17] Li X, Ouyang Z G, Zhang Q, Shang W L, Huang L Q, Wu Y, Gao Y N. Evaluating food supply chain emissions from Japanese household

- consumption. *Applied Energy*, 2022, 306: 118080.
- [18] 成升魁, 高利伟, 徐增让, 唐承财, 王灵恩, Dhruva Bijaya G. C.. 对中国餐饮食物浪费及其资源环境效应的思考. *中国软科学*, 2012(7): 106-114.
- [19] 张丹, 成升魁, 高利伟, 刘晓洁, 曹晓昌, 刘尧, 白军飞, 许世卫, 俞闻, 秦奇. 城市餐饮业食物浪费碳足迹——以北京市为例. *生态学报*, 2016, 36(18): 5937-5948.
- [20] Xue L, Liu X J, Lu S J, Cheng G Y, Hu Y C, Liu J G, Dou Z X, Cheng S K, Liu G. China's food loss and waste embodies increasing environmental impacts. *Nature Food*, 2021, 2(7): 519-528.
- [21] IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014. Climate change 2014: synthesis report. [2022-02-02]: <https://www.ipcc.ch/sr15/>.
- [22] EMF (Ellen MacArthur Foundation), 2019. Cities and Circular Economy for Food. Download at: <https://emf.thirdlight.com/link/7ztxaa89x15c-d30so/@/preview/1o>.
- [23] CAT (Climate Action Tracker), 2021. CAT net zero target evaluations. [2021-11-02] <https://climateactiontracker.org/global/cat-net-zero-target-evaluations/>.
- [24] Qu J S, Liu L N, Zeng J J, Zhang Z Q, Wang J P, Pei H J, Dong L P, Liao Q, Maraseni T. The impact of income on household CO₂ emissions in China based on a large sample survey. *Science Bulletin*, 2019, 64(6): 351-353.
- [25] 林伯强. 实现“碳中和”, 消费者行为不容忽视. *21 世纪经济报道*, 2021, 4: 1-2.
- [26] 张向阳, 张玉梅, 冯晓龙, 樊胜根, 陈志钢. 中国农业食物系统能源碳排放趋势分析. *中国生态农业学报: 中英文*, 2022, 30(4): 535-542.
- [27] Hu Y C, Su M R, Wang Y F, Cui S H, Meng F X, Yue W C, Liu Y F, Xu C, Yang Z F. Food production in China requires intensified measures to be consistent with national and provincial environmental boundaries. *Nature Food*, 2020, 1(9): 572-582.
- [28] 韦沁, 曲建升, 白静, 李恒吉, 刘莉娜, 徐丽. 我国农业碳排放的影响因素和南北区域差异分析. *生态与农村环境学报*, 2018, 34(4): 318-325.
- [29] Liu L N, Qu J S, Clarke-Sather A, Maraseni T, Pang J X. Spatial variations and determinants of per capita household CO₂ emissions (PHCEs) in China. *Sustainability*, 2017, 9(7): 1277.
- [30] Liu L N, Qu J S, Zhang Z Q, Zeng J J, Wang J P, Dong L P, Pei H J, Liao Q. Assessment and determinants of per capita household CO₂ emissions (PHCEs) based on capital city level in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2018, 28(10): 1467-1484.
- [31] Feng W, Cai B M, Zhang B. A Bite of China: food consumption and carbon emission from 1992 to 2007. *China Economic Review*, 2020, 59: 100949.
- [32] 张丽娜, 郝宵, 庞庆华, 陈其勇, 徐洁, 张陈俊. 城乡分异视角下居民食品消费碳排放驱动效应研究——以江苏省为例的实证分析. *软科学*, 2021, 35(2): 54-59.
- [33] 黄和平, 李亚丽, 杨斯玲. 中国城镇居民食物消费碳排放的时空演变特征分析. *中国环境管理*, 2021, 13(1): 112-120.
- [34] 郭华, 王灵恩. 国外食物系统研究综述及借鉴. *自然资源学报*, 2018, 33(6): 992-1002.
- [35] 冯适, 张奕, 陈新平, 王孝忠. 食物系统的温室气体排放及其减排策略研究进展. *食品科学*, 2021, 43(11): 273-283.
- [36] 曹志宏, 郝晋珉, 邢红萍. 中国居民食物消费碳排放时空演变趋势及其驱动机制分析. *地理科学进展*, 2020, 39(1): 91-99.
- [37] 侯鹏, 张丹, 成升魁. 城市家庭食物消费差异的实证研究——以郑州市为例. *自然资源学报*, 2021, 36(8): 1976-1987.
- [38] Long Y L, Hu R Z, Yin T, Wang P X, Liu J M, Muhammad T, Chen X Z, Li Y K. Spatial-temporal footprints assessment and driving mechanism of China household diet based on CHNS. *Foods*, 2021, 10(8): 1858.
- [39] 陈海燕. 长三角地区居民消费对碳排放的影响研究[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2013.
- [40] 刘莉娜, 曲建升, 曾静静, 李燕, 邱巨龙, 王莉. 灰色关联分析在中国农村家庭碳排放影响因素分析中的应用. *生态环境学报*, 2013, 22(3): 498-505.
- [41] 刘莉娜, 曲建升, 黄雨生, 王莉, 曾静静, 边悦. 中国居民生活碳排放的区域差异及影响因素分析. *自然资源学报*, 2016, 31(8): 1364-1377.
- [42] 刘刚, 曹植, 王鹤鸣, 刘立涛, 陈伍, 王键. 推进物质流和社会经济代谢研究, 助力实现联合国可持续发展目标. *中国科学院院刊*, 2018, 33(1): 30-39.
- [43] 刘晶茹, 严丽, 王宁, 等. 中国城镇家庭物质流测算. *中国人口·资源与环境*, 2017, 27(5): 155-158.
- [44] Liang S, Qu S, Zhao Q T, Zhang X L, Daigger G T, Newell J P, Miller S A, Johnson J X, Love N G, Zhang L X, Yang Z F, Xu M. Quantifying the urban food-energy-water nexus: the case of the Detroit metropolitan area. *Environmental Science & Technology*, 2019, 53(2): 779-788.
- [45] 薛莉. 基于物质流分析的食物系统效率评价及资源环境影响研究[D]. 北京: 中国科学院大学, 2019.
- [46] 张翠玲, 强文丽, 牛叔文, 王睿, 张赫, 成升魁, 李凡. 基于多目标的中国食物消费结构优化. *资源科学*, 2021, 43(6): 1140-1152.
- [47] 王月. 中国膳食碳排放及其与国外的比较研究[D]. 沈阳: 中国医科大学, 2019.
- [48] Zhang H Y, Xu Y, Lahr M L. The greenhouse gas footprints of China's food production and consumption (1987-2017). *Journal of Environmental Management*, 2022, 301: 113934.
- [49] 韩金雨, 曲建升, 徐丽, 李恒吉, 张洪芬, 韦沁. 食物消费结构升级对农业碳排放的动态影响机制研究. *中国农业资源与区划*, 2020, 41(6): 110-119.

- [50] 雷飞. 厦门市居民食物消费多足迹研究[D]. 厦门: 集美大学, 2019.
- [51] 程辞. 兰州市居民食品消费碳足迹研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2013.
- [52] 王灵恩. 高原旅游城市餐饮消费特征及其食物消费的资源环境效应: 以拉萨市为例[D]. 北京: 中国科学院大学, 2013.
- [53] Liu Z, Ciais P, Deng Z, Davis S J, Zheng B, Wang Y L, Cui D, Zhu B Q, Dou X Y, Ke P Y, Sun T C, Guo R, Zhong H W, Boucher O, Bréon F M, Lu C X, Guo R T, Xue J J, Boucher E, Tanaka K, Chevallier F. Carbon Monitor, a near-real-time daily dataset of global CO₂ emission from fossil fuel and cement production. *Scientific Data*, 2020, 7: 392.
- [54] 曲建升, 刘莉娜, 曾静静, 张志强, 裴惠娟, 董利苹, 廖琴. 基于入户调查数据的中国居民生活碳排放评估. *科学通报*, 2018, 63(S1): 547-557.
- [55] Liu L N, Qu J S, Maraseni T N, Niu Y B, Zeng J J, Zhang L H, Xu L. Household CO₂ emissions: current status and future perspectives. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2020, 17(19): 7077.
- [56] 曲建升, 刘莉娜, 曾静静, 张志强, 王莉, 王勤花. 中国城乡居民生活碳排放驱动因素分析. *中国人口·资源与环境*, 2014, 24(8): 33-41.
- [57] Chuai X W, Huang X J, Wang W J, Wen J Q, Chen Q, Peng J W. Spatial econometric analysis of carbon emissions from energy consumption in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2012, 22(4): 630-642.
- [58] Cheng Y Q, Wang Z Y, Ye X Y, Wei Y D. Spatiotemporal dynamics of carbon intensity from energy consumption in China. *Journal of Geographical Sciences*, 2014, 24(4): 631-650.
- [59] Qu J S, Qin S S, Liu L N, Zeng J J, Bian Y. A hybrid study of multiple contributors to per capita household CO₂ emissions (HCEs) in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 2016, 23(7): 6430-6442.
- [60] 薛艳. 基于半参数混合模型的碳排放影响因素研究. *统计与决策*, 2016(3): 141-144.
- [61] Cao X C, Liu X J, Cheng S K, Liu Y, Zhang P P. A study of food waste in the catering industry in Beijing. *Journal of Resources and Ecology*, 2020, 11(6): 562-569.
- [62] 王少剑, 莫惠斌, 方创琳. 珠江三角洲城市群城市碳排放动态模拟与碳达峰. *科学通报*, 2022, 67(7): 670-684.
- [63] 曲建升, 刘莉娜, 曾静静, 李恒吉. 中国居民生活碳排放增长路径研究. *资源科学*, 2017, 39(12): 2389-2398.
- [64] Dai H C, Masui T, Matsuoka Y, Fujimori S. The impacts of China's household consumption expenditure patterns on energy demand and carbon emissions towards 2050. *Energy Policy*, 2012, 50: 736-750.
- [65] 刘莉娜. 中国居民生活碳排放影响因素分析与峰值预测[D]. 兰州: 兰州大学, 2017.