



李明, 肖海峰. 畜产品进口对畜牧业碳排放的影响及其空间效应[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(02): 176-191.

LI Ming, XIAO Haifeng. Impact of livestock products import on carbon emissions from livestock industry and its spatial effect[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29(02): 176-191.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.02.17

畜产品进口对畜牧业碳排放的影响及其空间效应

李明 肖海峰*

(中国农业大学 经济管理学院, 北京 100083)

摘要 为探究畜产品进口对我国畜牧业碳排放的影响效应, 基于全国31个省份2005—2020年的面板数据(统计数据未含港澳台地区, 下同), 运用双向固定效应模型和空间杜宾模型实证检验了畜产品进口对我国畜牧业碳排放的影响及其空间溢出效应。结果表明: 畜产品进口显著抑制了我国畜牧业碳排放, 经多重稳健性检验之后该结论依旧成立; 相较于西部地带及边疆牧区, 畜产品进口对我国东部沿海地带、中部地带以及非边疆牧区畜牧业碳排放的负向影响更加显著, 同时畜产品进口的碳减排效应具有畜禽品种异质性; 畜产品进口对我国畜牧业碳排放的影响具有空间溢出效应, 某省域畜产品进口不仅对本地畜牧业碳排放具有抑制作用, 也会对邻接地区、经济地理条件相似地区的畜牧业碳排放产生约束作用。

关键词 畜产品进口; 畜牧业碳排放; 空间溢出; 畜牧业; 绿色发展

中图分类号 F323

文章编号 1007-4333(2024)02-0176-16

文献标志码 A

Impact of livestock products import on carbon emissions from livestock industry and its spatial effect

LI Ming, XIAO Haifeng*

(College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract To explore the impact of livestock product imports on carbon emissions in China's livestock industry, based on the panel data of 31 provinces in the country from 2005 to 2020 (The data do not include those of Hong Kong Macao and Taiwan regions. The same below.), the two-way fixed effect model and the spatial Dubin model were used to empirically test the impact of livestock product imports on carbon emissions from livestock industry in China and investigate its spatial spillover effect. The results show that: The import of livestock products has significantly inhibited the carbon emissions of livestock industry in China, and the conclusion is still valid after multiple robustness tests. Compared with the western region and frontier pastoral areas, the negative impact of livestock products import on carbon emissions from livestock industry in the eastern coastal zone, the central region and non-frontier pastoral areas of China is more significant, and the carbon emission reduction effect of livestock product import has the heterogeneity of livestock and poultry species. The impact of import of livestock products on carbon emissions from livestock industry in China has a spatial spillover effect. The import of livestock products in a province will not only inhibit carbon emissions from local livestock industry, but also restrict carbon emissions from livestock industry in adjacent regions and regions with similar economic and geographical conditions.

Keywords import of livestock products; carbon emissions from livestock industry; space spillover; livestock industry; green development

收稿日期: 2023-04-11

基金项目: 农业农村部和财政部项目(CARS-39-22)

第一作者: 李明(0000-0003-0480-1393), 博士研究生, E-mail: limingyzb@163.com

通讯作者: 肖海峰(0009-0006-4863-1209), 教授, 主要从事农业经济理论与政策, 畜牧业经济研究, E-mail: haifengxiao@cau.edu.cn

2020年9月,我国政府向世界承诺分别在2030和2060年实现“碳达峰”和“碳中和”。“双碳”目标的提出不仅是我国实现经济绿色循环可持续发展的内在要求,更是践行“人类命运共同体”先进发展理念的伟大举动。2021年3月,我国政府制定十四五发展规划,提出“加快构建以国内大循环为主体,国内国际双循环相互促进的新发展格局”^[1]。双循环新发展格局的构想是国民经济和社会发展的战略调整,是深入推进对外贸易开放的重大举措。据国务院发展研究中心数据显示,我国畜产品进口贸易额已从2005年的116.84亿美元增至2020年的555.93亿美元,年均增长率达10.96%。然而,从全球来看,畜牧业碳排放已占到农食系统碳排放总量的18%^[2]。从国内来看,2016年我国畜牧养殖温室气体排放占到农业非能源二氧化碳排放的38.76%^[3]。严峻的环境问题对我国国际贸易和国民经济绿色发展提出挑战。那么,畜产品进口对我国畜牧业碳排放存在何种影响呢?如果这种影响存在,其是否具有空间溢出效应特征呢?对以上问题的回答既有利于深入推进畜产品贸易开放和高质量发展,也有利于促进畜牧养殖清洁化和畜牧业绿色低碳转型。

已有文献主要聚焦于畜牧业碳排放测度与影响因素、贸易与碳排放的关系研究两个层面。国内畜牧业碳排放测度方法较为流行的是IPCC法和LCA法,如田素妍等^[4]基于IPCC法对我国畜禽养殖碳排放的清洁技术进行分解,并检验环境库兹涅茨理论假说。也有学者通过IPCC法测算畜牧业碳排放量并分析其动态演进,指出全国畜牧业碳排放具有俱乐部趋同的演进特征^[5]。而姚成胜等^[6]和励汀郁等^[7]基于LCA法测度碳排放并探讨了我国省际畜牧业碳排放时空演化特征和我国奶牛养殖的节粮减排前景。经济发展水平、城镇化水平、资源禀赋和环境规制等是影响畜牧业碳排放的主要因素^[8-9]。学者对工业、服务业贸易的碳排放研究较为丰富,一致认为贸易对碳排放具有抑制作用及非线性特征^[10-11],也有研究发现贸易对环境存在负向影响^[12]。出口贸易是碳排放的格兰杰原因,贸易对环境的影响主要取决于规模效应、结构效应和技术效应的综合影响^[13-14]。仅有部分学者围绕特色行业或产品贸易对其碳排放的影响进行分析,如环境产品贸易、农产品贸易和水产品贸易与对应行业碳排放之间的关系^[15-17]。国外学者对畜牧业碳排放的研究

多以牧场为研究对象^[18-19],对畜牧业绿色低碳转型进行了有益探索,如推行碳定价、饲养管理科学化等温室气体减排策略^[20-21]。

现有研究主要探讨了畜牧业碳排放测度与影响因素、贸易与环境之间的关系,但仍有不足之处:一是多数研究仅对畜牧业碳排放的测度、时空分布与动态演进进行了分析,对重要因素对畜牧业碳排放影响的研究仍不完善;二是现有文献聚焦于分析工业、服务业贸易与碳排放的关系,对特色产业和产品的研究较少,对畜产品进口与碳排放关系的研究更为鲜见。鉴于此,本研究拟采用全国31个省2005—2020年的面板数据,采用双向固定效应模型和空间杜宾模型探究畜产品进口对我国畜牧业碳排放的影响及其空间溢出效应,以期为我国实现畜产品贸易高质量发展和畜牧业绿色低碳转型提供有益借鉴。

1 理论分析与研究假说

1.1 畜产品进口对畜牧业碳排放的影响

贸易—环境的一般均衡分析框架是由Grossman等^[22]较早提出的,他将北美自由贸易协定对碳排放的影响分解为三大效应,分别是规模效应、结构效应和技术效应。后来,Antweiler等^[23]对该理论进行了模型推导和补充,此研究框架在学界受到广泛应用。国内学者对贸易的环境效应进行了有益探索,但多数研究仍然没有超出这个分析框架,故本研究也将参考贸易—环境的一般均衡分析框架来论证畜产品进口贸易对畜牧业碳排放的影响。

第一,规模效应。进口贸易增长助推经济规模持续扩大,进而对碳排放产生负向影响^[24]。进口贸易规模扩张有利于实现畜牧业规模经济,加速畜产品流转,提高畜牧业生产集约化和规模化程度,通过提高生产效率降低生产成本,进而发挥规模经济的碳减排效应。有研究强调,农产品进口能够使得进口国避免“污染天堂”困境^[25]。类似地,畜产品进口贸易有利于通过节省国内畜牧业生产要素过量投入进而减轻环保压力,对畜牧业碳排放产生抑制作用。第二,结构效应。进口贸易能够通过优化商品进口结构、调整生产结构等途径对碳排放造成影响。一方面,畜产品进口有利于我国根据进口贸易的品类特征以调整国内不同畜禽品种的养殖规模和养殖范围,从而优化养殖结构;另一方面,畜产品

进口对畜牧业生产提出绿色高效可持续的发展要求,促使畜禽养殖户对生产要素投入进行科学配比^[26],摒弃污染性要素的过量使用,提升畜牧业生产的绿色化水平,进而降低畜牧业碳排放。第三,技术效应。进口贸易能够通过激发国内提高畜牧业生产效率和环境技术效率以影响碳排放。一方面,贸易竞争的加剧倒逼国内研发先进的畜牧养殖技术,激励畜牧业科技创新,通过多种手段提高产出效率,从而形成规模经济,发挥环境改善效应。另一方面,贸易开放加强了贸易交流与合作,有利于传播新的养殖技术,提升养殖户的低碳绿色发展理念,通过采纳新技术以提高畜牧业生产环境技术效率,进而减少畜牧业碳排放。

假说1:畜产品进口显著抑制我国畜牧业碳排放。

1.2 畜产品进口对畜牧业碳排放影响的空间溢出效应

贸易开放存在知识外溢和技术辐射效应,多数研究已经证实了贸易能够发挥空间溢出效应^[27]。这种知识外溢和技术辐射主要通过集聚竞争效应和示范学习效应两个途径来实现^[28-29],进而发挥贸易的环境改善效应。

首先,集聚竞争效应^[28]。进口贸易增长加速国内畜产品在国际市场上的流转,通过带动畜牧业经济发展形成畜牧业经济集聚区。为满足国内城乡居民食物消费多样化的需求,集聚区域可能充分利用要素禀赋优势发展畜牧业,降低环境治理成本,促进畜牧生产提质增效,形成竞争协同的局面,进而共同为生态环境改善做出努力。其次,示范学习效应^[29]。畜牧业经济集聚区的发展优势可能会吸引到毗邻地区和经济地理条件相似的地区,他们会通过“模仿”和“学习”使得先进的养殖技术和知识、新品种等达到有效传播和推广,进而发挥知识外溢和技术辐射效应。同时,随着贸易开放水平不断深化,不同养殖户之间、畜牧业企业之间、畜牧业相关政府部门之间以及其他主体间都可以交流和分享畜牧良种、先进设施、绿色养殖技术、低碳养殖管理等方面的经验,形成示范学习的良好合作机制,有利于吸纳各种可持续发展的畜牧业生产理念,从而达到环境改善的空间溢出效应。

假说2:畜产品进口对我国畜牧业碳排放的负向影响存在空间溢出效应。

2 研究设计

2.1 研究方法

2.1.1 畜牧业碳排放测算

借鉴吴强等^[5]的研究,本研究基于碳排放因子法,选取奶牛、非奶牛、马、驴/骡、骆驼、山羊、绵羊、猪、兔和家禽共10类畜禽品种,对我国畜牧业碳排放量进行测算。具体计算公式如式(1):

$$C_t = C_{CH_4} + C_{N_2O} = \theta_i \times W_{CH_4} \times \sum N_i + \gamma_i \times W_{N_2O} \times \sum N_i \quad (1)$$

式中: C_t 为我国畜牧业碳排放总量; C_{CH_4} 、 C_{N_2O} 分别为 CH_4 、 N_2O 转化后的 CO_2 当量; θ_i 、 γ_i 分别为第*i*类畜禽品种的 CH_4 、 N_2O 排放因子; W_{CH_4} 、 W_{N_2O} 均为全球升温潜能值,取值分别为21和310; N_i 为第*i*类畜禽品种的年均饲养量。目前学界关于碳排放因子的确定尚无统一官方标准,因此本研究的 CH_4 、 N_2O 排放因子皆是借鉴权威数据库和已有文献。畜牧业碳排放主要包括肠道发酵和粪污处理两个环节,其中,10类畜禽品种肠道发酵的 CH_4 排放因子数据来自IPCC,粪污处理的 CH_4 排放因子数据来自FAO,而粪污处理的 N_2O 排放因子数据来自胡向东等^[30]。

根据现有数据,不同的畜禽饲养周期决定了需要对部分畜禽品种的年均饲养量进行调整。本研究选取的10类畜禽品种中,仅有猪、兔和家禽的饲养周期小于1年,分别为200、105和55 d,因此只需对以上3类畜禽品种的年均饲养量进行调整。具体公式如式(2):

$$N_{AF} = \begin{cases} L_{AO}, RC \geq 365 \\ RC \times \frac{N}{365}, RC < 365 \end{cases} \quad (2)$$

式中: N_{AF} 为年均饲养量; L_{AO} 为年底存栏量; RC 为饲养周期; N 为年底出栏量。

2.1.2 基准回归模型构建

基于普通面板模型来构建本研究的基准模型,以检验畜产品进口对于我国畜牧业碳排放的影响效应。具体模型设定如式(3):

$$\ln Carbon_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln Atrade_{it} + \sum_{s=1}^n \theta_s X_{sit} + \mu_i + \varphi_t + \epsilon_{it} \quad (3)$$

式中: s 为影响畜牧业碳排放的控制变量个数; i 和 t 分别为省份和时间。 $\ln Carbon_{it}$ 为被解释变量,表示我国畜牧业碳排放量的对数; $\ln Atrade_{it}$ 为核心解释变量,表示我国省份畜产品进口贸易水平的对数;

X_{sit} 为纳入模型中的若干个控制变量; β_0 表示常数项; β_1 和 θ_s 分别表示核心解释变量和控制变量的待估参数。本研究还在模型中加入省份固定效应 μ_i 和时间固定效应 φ_t ,以控制那些不可观测的其他因素的影响。 ϵ_{it} 表示随机误差项。

2.1.3 空间相关性检验

参考已有研究,选用全局空间自相关指数(Global Moran's I)对我国各省份的畜产品进口和畜牧业碳排放进行莫兰检验。具体计算公式如式(4):

$$\text{Global Moran's } I = \frac{N}{S} \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} Y_i Y_j}{\sum_{i=1}^N Y_i^2} \quad (4)$$

式中: W_{ij} 为省份之间的空间权重,本研究选取邻接空间权重矩阵 W_1 、地理距离空间权重矩阵 W_2 和经济地理嵌套空间权重矩阵 W_3 ; X_i 表示我国各省的畜产品进口和畜牧业碳排放量; $Y_i = X_i - \bar{X}$ 表示其在省份 i 的取值与所有省份平均值的差; N 表示省份总数目; S 表示全部省份之间空间权重的聚合。全局莫兰指数的数值越大代表着其全局空间自相关性越强。

2.1.4 空间计量模型构建

如果主要变量均通过了空间自相关检验,则表明可以进一步构建空间计量模型来检验畜产品进口对畜牧业碳排放是否具有空间溢出效应。通过相关模型选择检验,本研究构建空间杜宾模型如式(5):

$$\ln \text{Carbon}_{it} = \alpha + \gamma W \ln \text{Carbon}_{it} + \alpha_1 \ln \text{Atrade}_{it} + \alpha_2 X_{it} + \delta W \ln \text{Atrade}_{it} + \rho W X_{it} + \sigma_i + \tau_t + \epsilon_{it} \quad (5)$$

式中: $\ln \text{Carbon}_{it}$ 表示我国畜牧业碳排放量的对数; $\ln \text{Atrade}_{it}$ 表示我国省份畜产品进口贸易水平的对数; X_{it} 为一系列影响畜牧业碳排放的控制变量; W 表示3种类型的空间权重矩阵; α 表示常数项; γ 表示空间待估参数; α_1 表示我国畜产品进口的待估参数; δ 和 ρ 表示空间滞后项的待估参数向量; σ_i 、 τ_t 和 ϵ_{it} 分别表示省份固定效应、时间固定效应和随机扰动项。

2.2 变量选取及数据来源

2.2.1 变量选取

被解释变量:畜牧业碳排放总量(Carbon)。根据数据可获得性,本研究测算的畜牧业碳排放主要包括10类畜禽品种,碳排放来源主要是肠道发酵和粪污处理两个养殖环节。

核心解释变量:畜产品进口贸易水平(Atrade)。

该变量反映我国畜产品进口贸易的对外依赖程度,运用我国分省份畜产品进口贸易额与牧业GDP的比值来测度。

控制变量。参考陈宇斌等^[16]和李晨等^[17]的研究,结合畜牧业自身发展特点及现有数据,选取城镇化水平(Urban)、人均牧业收入(Income)、人均肉类消费(Consume)、草原载畜率(Stock)、公路密度(Road)和环境规制(Regalation)6个控制变量,以控制其对我国畜牧业碳排放的影响。城镇化水平采用各省城镇化率来表征,运用城镇人口与地区常住总人口的比重来衡量。人均牧业收入反映地区畜牧业经济发展水平,采用牧业GDP与牧业劳动力的比重来衡量。牧业劳动力通过第一产业劳动力总数估算而得。人均肉类消费反映区域居民消费水平,采用农村居民家庭人均肉类消费量来衡量,其中的肉类主要是指猪牛羊肉的消费。草原载畜率反映地区畜牧养殖规模水平,采用省区年末牲畜存栏总量与草原总面积的比重来衡量。公路密度反映地区交通基础设施发展水平,采用各省公路里程与省区总面积的比重来衡量。环境规制的衡量方法主要有构建环境规制综合评价指标体系、采用环境治理成本、运用单位环境污染物排放等方法来测度^[31-33],本研究参考李晨等^[17]的研究,运用各省环境治理投资额与省区GDP的比重来衡量。

2.2.2 数据来源和统计特征

本研究选取2005—2020年的省级面板数据开展研究,样本范围涵盖全国31个省份(统计数据未含港澳台地区,下同)。在畜牧业碳排放测算方面, CH_4 、 N_2O 排放因子来自IPCC、FAO数据库和胡向东等^[30],畜禽品种的年底存栏量数据来源于《中国畜牧兽医年鉴》^[34]。畜产品进口贸易数据来源于国务院发展研究中心信息网的对外贸易数据库,该数据库收集了中国各省份与世界各国的进出口贸易数据(涵盖贸易数量和贸易金额两个维度)。本研究畜产品类别选取HS01、HS02、HS04、HS05、HS15、HS16、HS41和HS51共八大类。各控制变量的原始数据和计算数据主要来源于《中国统计年鉴》^[35]《中国畜牧兽医年鉴》^[34]《中国农村统计年鉴》^[36]。本研究对各个变量取自然对数以消除异方差等问题的不利影响,采用线性插值法对部分缺失数据进行补充。主要变量的描述性统计分析结果见表1。

表1 主要变量的描述性统计分析结果

Table 1 Descriptive statistical analysis results of main variables

变量 Variable	观测值 Obs.	均值 Mean	标准差 SD	最小值 Min	最大值 Max
畜牧业碳排放 lnCarbon	496	7.684	4.007	3.128	24.041
畜产品进口 Import	496	0.042	0.157	0.000	1.867
城镇化水平 Urban	496	0.542	0.147	0.208	0.896
人均牧业收入 Income	496	3.842	2.503	0.374	16.812
农村居民家庭人均肉类消费 Consume	496	19.717	8.036	5.010	54.877
草原载畜率 Stock	496	0.777	0.747	0.042	6.389
公路密度 Road	496	0.842	0.51	0.036	2.197
环境规制 Regulation	496	0.013	0.008	0.001	0.092

3 实证结果分析

3.1 畜牧业碳排放的时空演化

3.1.1 畜牧业碳排放的时序特征

我国畜牧业碳排放与牧业GDP总体发展趋势相反,意味着我国畜牧业经济正朝着清洁化和高效率发展(图1)。一方面,我国畜牧业碳排放从2005年的42 159.99万t降至2020年的31 418.82万t,年均降幅达1.94%,总体呈现“波动下降”的走势,可以划分为显著下降阶段(2005—2007年)、稳中有升阶段

(2007—2015年)及缓慢下降阶段(2015—2020年)。在碳排放下降阶段,国家政策如压缩耗粮型畜牧业规模、实施草原保护制度,突发事件如新冠疫情、动物疫病,均是导致我国畜牧业碳排放量下降的主要原因。而在碳排放增加阶段,快速城镇化、粮食稳产保供以及城乡居民膳食结构转型则一定程度扩大了我国畜牧养殖规模,增加了畜牧业碳排放量。另一方面,我国牧业GDP从2005年的13 310.78亿元增至2020年的40 266.90亿元,年均增幅达7.66%,除少数年份以外我国畜牧业经济基本保持增长态势。

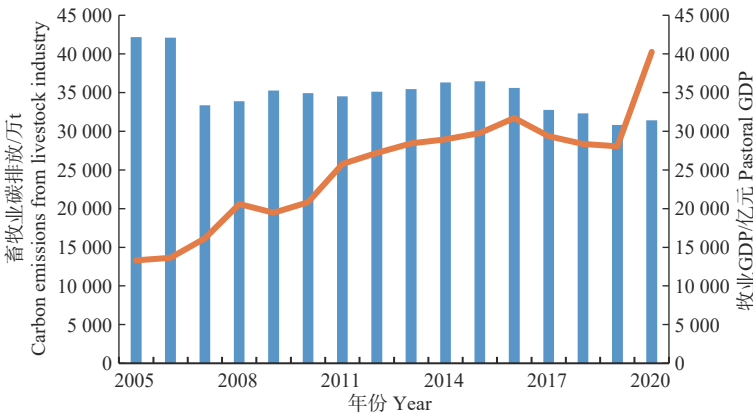


图1 我国畜牧业碳排放与牧业GDP发展情况

Fig. 1 Carbon emissions from livestock breeding and livestock GDP development in China

3.1.2 畜牧业碳排放的空间分布

我国畜牧业碳排放的空间分布呈现“不均衡”特征,具有较大的省际和区域差异(表2)。平均而言,畜牧业碳排放量最大的前5个省份依次为四川、

河南、内蒙古、山东和云南,分别为3 018万、2 752万、2 590万、2 156万和1 986万t,而畜牧业碳排放量最少的3个省份依次为上海、北京和天津,分别为51万、95万和119万t。碳排放大省主要与其优越的

表 2 2005—2020 年我国各省份平均畜牧业碳排放量

Table 2 Average carbon emissions of livestock industry by province from 2005 to 2020 in China

万 t

省份 Province	碳排放 Carbon emissions	省份 Province	碳排放 Carbon emissions
四川 Sichuan	3 018.01	吉林 Jilin	1 062.47
河南 Henan	2 752.28	广东 Guangdong	964.65
内蒙古 Inner Mongolia	2 590.07	江西 Jiangxi	898.00
山东 Shandong	2 155.65	安徽 Anhui	844.67
云南 Yunnan	1 985.92	江苏 Jiangsu	642.93
河北 Hebei	1 736.79	陕西 Shaanxi	617.75
新疆 Xinjiang	1 734.11	重庆 Chongqing	549.24
湖南 Hunan	1 669.20	山西 Shanxi	513.14
黑龙江 Heilongjiang	1 338.78	福建 Fujian	426.12
西藏 Xizang	1 316.01	宁夏 Ningxia	318.63
广西 Guangxi	1 283.81	浙江 Zhejiang	298.77
甘肃 Gansu	1 268.35	海南 Hainan	227.19
辽宁 Liaoning	1 212.89	天津 Tianjin	119.42
贵州 Guizhou	1 205.82	北京 Beijing	94.63
湖北 Hubei	1 177.24	上海 Shanghai	51.27
青海 Qinghai	1 085.63		

地理位置、较大的养殖规模、草地禀赋优势等因素有关,而狭小的省区面积、有限的资源环境条件、经济重心在二三产业的经济发达地区畜牧业养殖规模受到限制,因而本地畜牧业碳排放水平并不高。这表明我国畜牧业碳排放正朝向草原牧区、粮食主产区等资源禀赋优势区域集中。

3.2 基准回归

由 F 检验和 Hausman 检验结果,本研究选取双向固定效应模型开展实证分析。表 3 报告了畜产品进口对我国畜牧业碳排放影响的估计结果。结果显示,在考虑 3 种不同的标准误设定下,核心解释变量系数均显著为负,表明畜产品进口显著抑制了我国畜牧业碳排放量的增加,研究假说 1 得到验证。畜产品进口通过规模效应、结构效应和技术效应作用于畜牧业碳排放,通过发挥畜牧业规模经济效应降低生产成本、优化畜牧业要素投入结构、促进畜牧业科技创新和技术推广等手段来收敛畜牧业碳

排放。在控制变量方面,城镇化率、农村居民家庭人均肉类消费量及草原载畜率的系数均显著为正,表明快速城镇化发展、较高的肉制品消费需求以及较大的畜牧养殖规模显著促进我国畜牧业碳排放量增加;而环境规制系数显著为负,说明一定程度的环境规制水平对我国畜牧业碳排放起到约束作用。

3.3 稳健性检验

本研究采用 3 种方法对基准回归结果开展稳健性检验(表 4)。1)替换核心解释变量。本研究核心解释变量采用我国分省份畜产品进口贸易额与牧业 GDP 的比值来表征,在此将其替换为我国分省份畜产品进口贸易数量。2)调整时间窗口。考虑到时间因素可能导致核心解释变量的系数变为显著,因此采取调整时间窗口的方式进行稳健性检验。本研究的样本时间区间为 16 年,将其一分为二,2005—2012 年和 2013—2020 年,再次进行回归。3)使用滞后期回归。将畜产品进口贸易变量的滞

表3 基准回归结果
Table 3 Benchmark regression results

变量 Variable	普通标准误 Ordinary std err	稳健标准误 Robust SE	Bootstrap 抽样 1 000 次 Bootstrap sampling 1 000
畜产品进口	-0.015***	-0.015*	-0.015***
lnAtrade	(0.004)	(0.009)	(0.005)
城镇化水平	0.674***	0.674**	0.674***
lnUrban	(0.100)	(0.261)	(0.137)
人均牧业收入	0.075**	0.075	0.075
lnIncome	(0.030)	(0.099)	(0.047)
农村居民家庭人均肉类消费	0.074**	0.074	0.074*
lnConsume	(0.033)	(0.066)	(0.042)
草原载畜率	0.530***	0.530***	0.530***
lnStock	(0.026)	(0.087)	(0.047)
公路密度	-0.007	-0.007	-0.007
lnRoad	(0.049)	(0.068)	(0.050)
环境规制	-0.024**	-0.024**	-0.024**
lnRegulation	(0.011)	(0.009)	(0.012)
常数项-	7.170***	7.170***	7.170***
Constant	(0.124)	(0.269)	(0.151)
省份固定效应 Province FE	Y	Y	Y
年份固定效应 Year FE	Y	Y	Y
N	496	496	496
R ²	0.999 5	0.999 5	0.999 5

注:括号内为标准误;***、**、* 分别表示在 1%、5%、10% 的水平上显著。“Y”表示已控制。下同。
Note: Standard errors in brackets; ***, **, * indicate significant at the 1%, 5% and 10% levels respectively. “Y” indicates controlled. The same below.

后一期和滞后两期分别纳入模型开展分析。结果显示,核心解释变量的系数均显著为负,证实了畜产品进口对我国畜牧业碳排放具有负向影响,印证了基准回归结果。

3.4 内生性讨论

部分研究指出贸易本身可能具有内生性问题,即贸易与碳排放之间可能存在互为因果的关系,而造成模型设定偏误,进而产生内生性问题^[31-32],因

此采取工具变量法对内生性问题进行处理。寻找工具变量通常从地理角度或历史角度出发,如某一区域的地形起伏度是由该区域的最高与最低海拔高度、平地面积和区域总面积共同决定的,是一种天然形成的地理上客观存在的因素。因此可以认为该指标不直接影响碳排放,表5外生性检验回归结果显示,地形起伏度的系数并不显著,证实了外生性假设。但地形起伏度却与贸易的相关性较高,

表 4 稳健性检验结果					
Table 4 Results of robustness test					
变量 Variable	替换变量	调整时间窗口		使用滞后期回归	
	Replacing variables	Adjusting for time windows		Use lagged regression	
	进口贸易量 Import trade volume	2005—2012 年	2013—2020 年	滞后 1 期 Lag 1	滞后 2 期 Lag 2
畜产品进口	−0.008**	−0.008**	−0.019***		
lnAtrade	(0.004)	(0.004)	(0.007)		
畜产品进口滞后 1 期				−0.011**	
L. lnAtrade				(0.004)	
畜产品进口滞后 2 期					−0.008*
L2. lnAtrade					(0.005)
常数项	7.423***	7.041***	7.318***	7.223***	7.210***
Constant	(0.160)	(0.132)	(0.300)	(0.133)	(0.135)
控制变量	Y	Y	Y	Y	Y
Control variables					
省份固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
Province FE					
年份固定效应	Y	Y	Y	Y	Y
Year FE					
N	496	248	248	465	434
R ²	0.999 5	0.853 5	0.999 7	0.999 5	0.999 6

一般而言,地形起伏度越大,越会负向影响贸易增长。所以将地形起伏度作为贸易的一个工具变量是比较合理的。

由表 5 两阶段最小二乘法和广义系统矩估计结果可知,从工具变量的有效性来看,不可识别检验的 LM 统计量的 P 值为 0,显著拒绝了工具变量识别不足的问题;弱工具变量检验的 F 统计量为 120.596,显著大于 10% 统计水平上的临界值 16.38,认为工具变量不存在弱相关问题。两种方法的估计结果均显示,核心解释变量系数显著为负,说明在考虑了内生性问题以后,畜产品进口对我国畜牧业碳排放仍然具备负向影响,再次验证了假说 1。

3.5 异质性分析

本研究分别从地理分布格局、畜牧业生产功能区 and 不同畜禽品种对畜产品进口贸易的碳减排效应进行异质性分析,表 6 和 7 报告了相关估计结果。

3.5.1 区分地理分布格局

从自然地理区位出发,结合省域经济发展水

平,将全国样本划分为东部沿海地带(12 省)、中部地带(9 省)和西部地带(10 省)3 个子样本进行回归。由表 6 可知,东部沿海地带和中部地带核心解释变量的系数分别在 1% 和 5% 的水平下显著为负,表明畜产品进口对我国东部沿海和中部地带的畜牧业碳排放具有显著的抑制作用,对西部地区畜牧业碳排放的负向影响并不显著。原因可能在于我国中东部地区具有发达的交通基础设施和国际运输网络,加之贸易开放水平更高,畜产品进口贸易的碳减排效应更加明显;而西部地带尽管部分牧业大省碳排放量较高,但相对落后的对外贸易发展削弱了其对本地区畜牧业碳排放的约束作用。

3.5.2 区分畜牧业生产功能区

结合畜牧业发展特征,参考梁世夫等^[37]的研究,本研究将全国样本划分成边疆牧区(9 省)和非边疆牧区(22 省)两个子样本进行回归。由表 6 可知,相对于边疆牧区,非边疆牧区核心解释变量的估计系数为 −0.027,且在 1% 的水平下显著,这表

表5 工具变量估计结果
Table 5 Estimation results of instrumental variables

变量 Variable	外生性检验 Exogeneity test	两阶段最小二乘法 IV-2SLS		广义系统矩 IV-GMM
	lnCarbon	lnAtrade	lnCarbon	lnCarbon
地形起伏度	0.001	−0.687***		
lnLand	(0.001)	(0.063)		
畜产品进口	−0.015***		−0.356***	−0.055***
lnAtrade	(0.004)		(0.052)	(0.021)
常数项	8.112***	−7.337***	2.056***	0.0440
Constant	(0.834)	(0.906)	(0.596)	(0.644)
控制变量	Y	Y	Y	Y
Control variables				
省份固定效应	Y	Y	Y	Y
Province FE				
年份固定效应	Y	Y	Y	Y
Year FE				
N	496	496	496	496
R ²	0.999 5	0.951 3	0.951 3	
AR(1)				0.000
AR(2)				0.744
Underidentification test		64.503		
(LM statistic)		(0.000 0)		
Weakidentification test		120.569		
(F statistic)		(16.38)		

注:AR(1)、AR(2)为检验统计量对应的P值,Underidentification test的括号内为P值,Weakidentification test的括号内为F统计量在10%统计水平上的临界值。

Note: AR(1) and AR(2) are P values corresponding to the test statistic. P values are in brackets for the Underidentification test, and critical values for the F statistic at the 10% statistical level are in brackets for the Weakidentification test.

明畜产品进口对我国非边疆牧区的畜牧业碳排放存在显著负向影响。可能的原因是边疆牧区的畜牧业经济发达,尤其是边疆草原牧区资源禀赋优势明显,畜牧养殖规模也较大,但本地区总体的贸易开放程度要弱于非边疆牧区,从而导致本地区畜产品进口的降碳效应并不明显。

3.5.3 区分畜禽品种

本研究测算的畜牧业碳排放量覆盖了10个畜禽品种,囿于马、驴/骡、骆驼等畜种养殖范围有限和养殖规模较小的特点,该部分主要探讨畜产品进口对我国其他大类畜禽品种(包括猪、牛、羊和家禽)畜牧业碳排放的异质性影响。表7中,畜产品进

口对我国不同畜禽品种畜牧业碳排放的影响效应表现为:家禽>猪>羊>牛,但仅有家禽和猪的核心解释变量系数通过1%的显著性水平检验,说明我国畜产品进口贸易的碳减排效应存在畜禽品种异质性。不同畜禽品种两个养殖环节的CH₄、N₂O排放因子具有差异性,叠加不同水平的养殖规模、养殖范围和养殖技术水平,造成了畜牧业碳排放的差异。

4 进一步讨论:空间溢出效应的考察

4.1 空间自相关检验

为分析畜产品进口对我国畜牧业碳排放的空间影响,本研究使用STATA17.0对畜产品进口和

表 6 地理分布格局、畜牧业生产功能区异质性分析					
Table 6 Heterogeneity analysis of geographical distribution pattern and livestock production functional area					
变量 Variable	地理分布格局			畜牧业生产功能区	
	Geographical distribution pattern			Functional areas for livestock production	
	东部沿海地带 Eastern coastal zone	中部地带 Central Belt	西部地带 Western Belt	边疆牧区 Border Pastoral Areas	非边疆牧区 Non-frontier pastoral areas
畜产品进口	−0.088***	−0.014**	−0.003	−0.212	−0.027***
lnLand	(0.030)	(0.007)	(0.004)	(0.339)	(0.006)
常数项	7.162***	7.723***	7.093***	4.506	6.924***
Constant	(0.420)	(0.191)	(0.290)	(9.636)	(0.179)
控制变量 Control variables	Y	Y	Y	Y	Y
省份固定效应 Province FE	Y	Y	Y	Y	Y
年份固定效应 Year FE	Y	Y	Y	Y	Y
N	192	144	160	143	352
R ²	0.999 4	0.999 9	0.999 9	0.173 9	0.999 5

表 7 畜禽品种异质性分析				
Table 7 Heterogeneity analysis of livestock and poultry varieties				
变量 Variable	猪 Pigs	牛 Cattle	羊 Sheep	家禽 Poultry
畜产品进口	−0.035***	−0.001	−0.012	−0.043***
lnAtrade	(0.008)	(0.002)	(0.009)	(0.012)
常数项	5.248***	6.480***	4.843***	3.526***
Constant	(0.242)	(0.052)	(0.266)	(0.357)
控制变量 Control variables	Y	Y	Y	Y
省份固定效应 Province FE	Y	Y	Y	Y
年份固定效应 Year FE	Y	Y	Y	Y
N	496	496	496	496
R ²	0.462 6	0.975 1	0.334 2	0.367 4

畜牧业碳排放两个变量进行空间自相关检验,以检验其是否具有空间相关性(表 8)。能够发现,在绝大多数年份,基于邻接、地理、经济地理嵌套 3 种空间权重矩阵的设定,畜产品进口和畜牧业碳排放的全局莫兰指数均为正数,且通过了显著性水平检验,表明畜产品进口和畜牧业碳排放在省级层面存

表8 畜产品进口和畜牧业碳排放的全局莫兰指数

Table 8 Global Moran index of carbon emissions from livestock products import and livestock industry

年份 Year	畜产品进口 Imports of livestock products			畜牧业碳排放 Carbon emissions from livestock industry		
	W_1	W_2	W_3	W_1	W_2	W_3
2005	0.171***	0.033***	0.122***	0.256***	0.049***	0.026**
	(2.543)	(2.783)	(4.333)	(3.994)	(3.608)	(1.862)
2006	0.158***	0.006***	0.103***	0.253***	0.048***	0.025**
	(2.560)	(2.677)	(4.110)	(3.987)	(3.599)	(1.844)
2007	0.16**	0.007**	0.119***	0.221***	0.042***	0.014*
	(2.138)	(2.294)	(3.761)	(3.757)	(3.536)	(1.601)
2008	0.109**	0.012*	0.077***	0.162***	0.028***	0.006*
	(1.667)	(1.450)	(2.876)	(3.307)	(3.339)	(1.560)
2009	0.118**	0.009*	0.082***	0.190***	0.037***	0.012*
	(1.698)	(1.434)	(2.897)	(3.484)	(3.491)	(1.633)
2010	0.128**	0.009*	0.087***	0.194***	0.040***	0.017**
	(1.797)	(1.592)	(2.996)	(3.466)	(3.543)	(1.758)
2011	0.113**	0.004*	0.081***	0.181***	0.035***	0.011*
	(1.686)	(1.514)	(2.928)	(3.422)	(3.468)	(1.626)
2012	0.117**	0.002*	0.083***	0.177***	0.035***	0.012**
	(1.710)	(1.521)	(2.941)	(3.428)	(3.531)	(1.725)
2013	0.101*	0.004*	0.076***	0.160***	0.031***	0.011**
	(1.552)	(1.366)	(2.803)	(3.271)	(3.485)	(1.740)
2014	0.097*	0.006*	0.07***	0.173***	0.036***	0.014**
	(1.528)	(1.301)	(2.709)	(3.348)	(3.590)	(1.778)
2015	0.097**	0.011*	0.073***	0.197***	0.042***	0.015**
	(1.765)	(1.600)	(3.236)	(3.474)	(3.600)	(1.681)
2016	0.075*	0.006	0.059***	0.311***	0.076***	0.034**
	(1.564)	(1.250)	(3.031)	(4.121)	(4.115)	(1.788)
2017	0.098**	0.001**	0.122***	0.255***	0.053***	0.019*
	(1.901)	(2.060)	(5.146)	(3.852)	(3.634)	(1.578)
2018	0.089**	0.005**	0.128***	0.110**	0.032***	0.015*
	(1.712)	(1.739)	(5.153)	(2.044)	(2.951)	(1.568)
2019	0.079*	0.033*	0.142***	0.213***	0.045***	0.018**
	(1.435)	(1.397)	(5.051)	(3.653)	(3.665)	(1.726)
2020	0.069*	0.006	0.132***	0.230***	0.047***	0.015*
	(1.364)	(1.206)	(4.965)	(3.678)	(3.579)	(1.551)

注:括号内为Z统计值, W_1 、 W_2 和 W_3 分别表示邻接、地理、经济地理嵌套3种空间权重矩阵。下同。

Note: Z-statistic values in brackets. W_1 , W_2 , and W_3 represent three spatial weight matrices: Adjacency, geographic, and economic geographic nesting, respectively. The same below.

在显著的空间相关性,其可能受到关联省份的影响。因此,核心解释变量和被解释变量均通过了空间自相关检验,对分析畜产品进口在空间上的降碳效应提供有效支撑。

4.2 空间计量模型识别与检验

空间自相关检验证实了研究畜产品进口的碳减排效应不能忽略空间因素,要选择合适的空间计量模型开展分析。因此本研究分别进行了稳健的 LM 检验、LR 检验、Wald 检验、Hausman 检验等(表 9)。可以发现,在邻接、地理、经济地理嵌套 3 种空间权重矩阵的设定下,稳健 LM 检验的估计系数均显著,说明

空间滞后项和空间误差项均存在;LR 检验表明空间杜宾模型优于空间滞后模型和空间误差模型;Wald 检验表明空间杜宾模型优于空间滞后模型,因此本研究以空间杜宾模型开展研究。同时,Hausman 检验结果证明存在固定效应,LR 联合显著性检验结果证明省份固定效应和时间固定效应均存在。为此,本研究最终以双向固定效应空间杜宾模型进行分析。

表 9 空间计量模型检验结果
Table 9 Test results of spatial econometric model

空间权重检验方法 Spatial weighting test method	统计值及显著性 Statistical values and significance		
	W_1	W_2	W_3
Robust LM-Lag	3.627*	8.194***	9.262***
Robust LM-Error	3.210*	5.187**	7.430***
LR-Lag	26.77***	20.10***	73.89***
LR-Error	20.72***	20.28***	72.99***
Wald-Lag	52.28***	47.86***	78.22***
Wald-Error	6.64	7.92	9.41
Hausman	49.86***	73.61***	74.65***
LR-FE(id)	360.73***	193.79***	216.89***
LR-FE(year)	1 873.65***	1 887.91***	2 124.67***

4.3 畜产品进口对畜牧业碳排放的空间效应估计

由于 OLS 难以在空间效应存在的情况准确估计其系数和标准误,本研究采用极大似然法对双向固定效应空间杜宾模型进行估计。前述 Wald 检验中有结果表明空间杜宾模型可以退化为空间误差模型,因此以双向固定效应空间误差模型作为稳健性检验(表 10)。结果显示,在邻接和经济地理嵌套两种空间权重矩阵设定下,双向固定效应空间杜宾模型的 P 值分别为 0.223 和 0.378,均通过 1% 的显著性水平检验,这表明我国畜牧业碳排放具有省域层面的空间依赖性,畜产品进口对畜牧业碳排放的影响存在空间溢出效应,且对邻接地区和经济地理条件相似地区的溢出效应更为显著,研究假说 2 得以验证。核心解释变量的系数均在 1% 的水平下显著为负,证实了畜产品进口对我国畜牧业碳排放的抑制作用。畜产品进口能够通过发挥集聚竞争效应和示范学习效应发挥减排效应的空间溢出,各养殖户、畜牧业企业、经营主体间可以交流和分享先

进设施、绿色养殖技术、低碳养殖管理等方面的经验,形成集聚竞争和示范学习的良好竞合机制,有利于吸纳各种可持续发展的畜牧业生产理念,协同推动畜牧业绿色低碳转型。稳健性检验中,双向固定效应空间误差模型的 ρ 值分别为 0.046 和 0.395,均在 1% 的水平下显著,说明畜产品进口对畜牧业碳排放的空间影响显著存在,且核心解释变量显著为负,与空间杜宾模型的研究结论基本一致。

4.4 畜产品进口对畜牧业碳排放的空间效应分解

采用偏微分分解方法对双向固定效应空间杜宾模型进行分析,将畜产品进口的碳减排效应分解为直接效应、间接效应及总效应(表 11)。结果显示,整体上在邻接和经济地理嵌套两种空间权重矩阵设定下均具备显著的直接效应、间接效应。具体而言,两种空间权重矩阵下核心解释变量的估计系数分别为 -0.060 和 -0.088、-0.063 和 -0.335,均在 1% 的显著性水平下显著,证实了畜产品进口对我国畜牧业碳排放的影响具有空间溢出效应,再

表 10 不同空间权重矩阵下的空间计量模型估计结果

Table 10 Estimation results of spatial econometric models under different spatial weight matrices

变量 Variable	空间杜宾模型SDM			空间误差模型SEM		
	W_1	W_2	W_3	W_1	W_2	W_3
畜产品进口	-0.056***	-0.067***	-0.056***	-0.056***	-0.060***	-0.056***
lnAtrade	(-7.04)	(-8.16)	(-7.00)	(-6.91)	(-7.36)	(-6.96)
控制变量 Control variables	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份固定效应 Province FE	Y	Y	Y	Y	Y	Y
年份固定效应 Year FE	Y	Y	Y	Y	Y	Y
P	0.223***	-0.024	0.378***	0.046***	-0.002	0.395***
σ^2	0.006	0.007	0.006	0.007	0.007	0.007
N	496	496	496	496	496	496
Log-L	547.945	541.202	572.282	535.660	531.060	535.787

表 11 畜产品进口对畜牧业碳排放的空间效应分解

Table 11 Decomposition of spatial effect of livestock product import on carbon emissions from livestock breeding

变量 Variable	W_1			W_3		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
	Direct effect	Indirect effect	Total effect	Direct effect	Indirect effect	Total effect
畜产品进口	-0.060***	-0.088***	-0.147***	-0.063***	-0.335***	-0.398***
lnAtrade	(-7.23)	(-3.34)	(-5.09)	(-6.99)	(-3.57)	(-4.05)
控制变量 Control variables	Y	Y	Y	Y	Y	Y
省份固定效应 Province FE	Y	Y	Y	Y	Y	Y
年份固定效应 Year FE	Y	Y	Y	Y	Y	Y
P		0.223***			0.378***	
σ^2		0.006			0.006	
N		496			496	
Log-L		547.945			572.282	

次验证了研究假说2。即某省域畜产品进口不仅抑制了本地畜牧业碳排放,也会通过集聚竞争效应和

示范学习效应对邻接地区、经济地理条件相似地区的畜牧业碳排放产生约束作用。

5 结论与政策建议

基于“双碳”目标和“双循环”新发展格局背景分析畜产品进口的环境效应,利用双向固定效应和空间杜宾模型探讨了畜产品进口对我国畜牧业碳排放的影响及其空间溢出效应。主要的研究结论如下:第一,畜产品进口显著抑制了我国畜牧业碳排放,经多重稳健性检验和内生性问题处理之后该结论依旧成立;第二,异质性分析结果显示,相较于西部地带及边疆牧区,畜产品进口对我国东部沿海地带、中部地带以及非边疆牧区畜牧业碳排放的负向影响更加显著,同时畜产品进口的碳减排效应存在畜禽品种异质性。第三,空间溢出效应的估计结果显示,畜产品进口对我国畜牧业碳排放的影响具有空间溢出效应,某省域畜产品进口不仅对本地畜牧业碳排放具有抑制作用,也会对邻接地区、经济地理条件相似地区的畜牧业碳排放产生约束作用。

基于上述研究结论,主要得出以下政策建议:

1)推进畜产品贸易深度开放,强化畜产品进口贸易清洁化。一方面,要促进国内畜产品生产适度规模化和集约化,推动生产要素科学配比和畜牧业生产绿色转型升级,既可以降低畜牧养殖环境污染,也可以提升畜产品生产质量;另一方面,在双循环新发展格局背景下实施开放多元的畜产品进出口贸易战略,通过拓展畜产品贸易广度和深度、提升畜产品贸易质量来强化畜产品进口的碳减排效应。同时,碳达峰、碳中和目标是一个双赢的目标,即进口国的义务和出口国的责任是双向的,因此出口国也应该承担国际碳减排责任,加强绿色生产技术的研发和推广,提升能源利用效率,而不能盲目向他国转嫁污染。

2)从源头抓好畜牧业碳排放,提升畜牧养殖环境技术效率。一方面,要抓好不同畜禽品种肠道发酵和粪污处理的养殖环节碳排放,通过科学配比投入要素、实施粪污资源化利用等多种手段降低畜牧业碳排放强度;另一方面,通过提供养殖户专业技术培训、探索建立种养结合制度、推行严格的环境规制等途径来提升畜牧养殖环境技术效率,进而约束畜牧业碳排放水平。

3)搭建畜产品贸易交流合作平台,优化区域畜产品贸易空间结构。一方面,通过本地资源禀赋优势发展畜牧业经济,实行双边或多边贸易合作以构

建畜产品贸易交流协作机制,从而消除地区贸易歧视和行政壁垒。另一方面,通过搭建畜产品贸易交流合作平台共享行业信息,以“示范学习效应”和“集聚竞争效应”推动畜牧业绿色生产知识和养殖技术有效传播和推广,进而强化畜产品进口贸易对本地和其他区域畜牧业碳排放的抑制作用。

参考文献 References

- [1] 肖鹏飞,戴艳娟,李洁. 中国经济“双循环”发展格局的产业特征研究:基于投入产出表的分析[J]. 国际经贸探索, 2022, 38(12): 19-35
Xiao Y F, Dai Y J, Li J. A study of the industrial characteristics of “dual circulation” development pattern of China’s economy: Based on the analysis of input-output tables [J]. *International Economics and Trade Research*, 2022, 38(12): 19-35 (in Chinese)
- [2] Rosenzweig C, Mbow C, Barioni L G, Benton T G, Herrero M, Krishnapillai M, Liwenga E T, Pradhan P, Rivera-Ferre M G, Sapkota T, Tubiello F N, Xu Y L, Contreras E M, Portugal-Pereira J. Climatic change responses benefit from a global food system approach [J]. *Nature Food*, 2020(1): 94-97
- [3] 田成诗,陈雨. 中国省际农业碳排放测算及低碳化水平评价:基于衍生指标与TOPSIS法的运用[J]. 自然资源学报, 2021, 36(2): 395-410
Tian C S, Chen Y. China’s provincial agricultural carbon emissions measurement and low carbonization level evaluation: Based on the application of derivative indicators and TOPSIS [J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(2): 395-410 (in Chinese)
- [4] 田素妍,郑微微,周力. 中国畜禽养殖业低碳清洁技术的EKC假说检验[J]. 中国人口·资源与环境, 2012, 22(7): 28-33
Tian S Y, Zheng W W, Zhou L. Test of the EKC hypothesis of low-carbon cleaning technology in livestock and poultry breeding in China [J]. *China Population, Resources and Environment*. 2012, 22(7): 28-33 (in Chinese)
- [5] 吴强,张园园,张明月. 中国畜牧业碳排放的量化评估、时空特征及动态演化:2001-2020[J]. 干旱区资源与环境, 2022, 36(6): 65-71
Wu Q, Zhang Y Y, Zhang M Y. Quantitative assessment, temporal and spatial characteristics and dynamic evolution of China’s animal husbandry carbon emissions [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*. 2022, 36(6): 65-71 (in Chinese)
- [6] 姚成胜,钱双双,李政通,梁龙武. 中国省际畜牧业碳排放测度及时空演化机制[J]. 资源科学, 2017, 39(4): 698-712
Yao C S, Qian S S, Li Z T, Li L W. Provincial animal husbandry carbon emissions in China and temporal-spatial evolution mechanism [J]. *Resources Science*. 2017, 39(4): 698-712 (in Chinese)
- [7] 励汀郁,熊慧,王明利. “双碳”目标下我国奶牛产业如何发展:基于全产业链视角的奶业碳排放研究[J]. 农业经济问题, 2022, 506(2): 17-29
Li T Y, Xiong H, Wang M L. How does China’s dairy industry develop under “the carbon peaking and carbon neutrality goal”: Study on carbon emission of dairy industry from the perspective of whole industry chain [J]. *Issues in Agricultural Economy*. 2022, 506(2): 17-29 (in Chinese)
- [8] 张越杰,闫佳惠. 中国肉牛产业碳排放的达峰假象:基于EKC理论的实证分析与检验[J]. 农业经济问题, 2022, 510(6): 93-105
Zhang Y J, Yan J H. The false appearance of peaking carbon emissions in China’s beef cattle industry: Empirical analysis and test based on EKC theory [J]. *Issues in Agricultural Economy*. 2022, 510(6): 93-105 (in Chinese)

- [9] 唐洪松, 苏洋, 马惠兰, 汪晶晶. 新疆畜牧业碳排放格局与公平性研究[J]. 干旱区地理, 2017, 40(6): 1338-1345
Tang H S, Su Y, Ma H L, Wang J J. Spatial and temporal distribution and equity of carbon emissions from livestock in Xinjiang[J]. *Arid Land Geography*. 2017, 40(6): 1338-1345 (in Chinese)
- [10] 许源, 顾海英, 朱喜. 对外贸易对中国工业CO₂排放的影响[J]. 管理评论, 2016, 28(3): 3-11
Xu Y, Gu H Y, Zhu X. An effect of foreign trade on the industrial CO₂ emissions in China[J]. *Management Review*. 2016, 28(3): 3-11 (in Chinese)
- [11] 占华. 贸易开放对中国碳排放影响的门槛效应分析[J]. 世界经济研究, 2017, 276(2): 38-49, 135-136
Zhan H. Threshold effects of trade openness on China's carbon emissions [J]. *World Economy Studies*. 2017, 276(2): 38-49, 135-136 (in Chinese)
- [12] 李楷, 齐绍洲. 贸易开放、经济增长与中国二氧化碳排放[J]. 经济研究, 2011, 46(11): 60-72, 102
Li K, Qi S Z. Trade openness, economic growth and carbon dioxide emission in China[J]. *Economic Research Journal*. 2011, 46(11): 60-72, 102 (in Chinese)
- [13] 王天凤, 张珺. 出口贸易对我国碳排放影响之研究[J]. 国际贸易问题, 2011, 339(3): 89-98
Wang T F, Zhang J. Influence of export trade on carbon emission in China [J]. *Journal of International Trade*. 2011, 339(03): 89-98 (in Chinese)
- [14] 莫敏, 韩松霖. 对外贸易会加剧碳排放吗?: 基于东盟国家的实证检验[J]. 广西大学学报: 哲学社会科学版, 2021, 43(4): 122-128
Mo M, Han S L. Does foreign trade contribute to carbon emissions?: Based on the empirical test of ASEAN countries[J]. *Journal of Guangxi University: Philosophy and Social Science*. 2021, 43(4): 122-128 (in Chinese)
- [15] 毛熙彦, 贺灿飞, 王佩玉, 许蕊, 胡醒木子, 贺舒琪. 中国环境产品进出口贸易对碳排放的影响[J]. 自然资源学报, 2022, 37(5): 1321-1337
Mao X Y, He C F, Wang P Y, Xu R, Hu X M Z, He S Q. Effects of China's trade in environmental goods on carbon emissions[J]. *Journal of Natural Resources*. 2022, 37(5): 1321-1337 (in Chinese)
- [16] 陈宇斌, 王森, 陆杉. 农产品贸易对农业碳排放的影响: 兼议数字乡村发展的门槛效应[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2022, 162(6): 45-57
Chen Y B, Wang S, Lu S. The impact of agricultural products trade on agricultural carbon emissions: The threshold effect of digital rural development [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*. 2022, 162(6): 45-57 (in Chinese)
- [17] 李晨, 汪琳琳, 邵桂兰. 水产品贸易对渔业碳排放强度的影响: 基于中介模型与门槛模型的检验[J]. 资源科学, 2021, 43(10): 2130-2145
Li C, Wang L L, Shao G L. The impact of aquatic product trade on the intensity of fishery carbon emissions: Based on intermediary and threshold models[J]. *Resources Science*. 2021, 43(10): 2130-2145 (in Chinese)
- [18] William D S F, Arthur D A N P, Barro R S, Kunrath T R, De Almeida G M, Moraes Genro T C, Bayer C, Cesar D F C P. Mitigation of enteric methane emissions through pasture management in integrated crop-livestock systems: Trade-offs between animal performance and environmental impacts [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 213(10): 968-975
- [19] Congio G F D S, Bannink A, Mogollón O L M, Hristov A N, Astigarraga L. Enteric methane mitigation strategies for ruminant livestock systems in the Latin America and Caribbean region: A meta-analysis [J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, 312: 127693, DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.127693
- [20] Kumari S, Fagodiya R K, Hiloidhari M, Dahiya R P, Kumar A. Methane production and estimation from livestock husbandry: A mechanistic understanding and emerging mitigation options[J]. *Science of The Total Environment*, 2020, 709: 136135
- [21] Jahangir M H, Montazeri M, Mousavi S A, Kargarzadeh A. Reducing carbon emissions of industrial large livestock farms using hybrid renewable energy systems[J]. *Renewable Energy*, 2022, 189: 52-65
- [22] Grossman G M, Krueger A B. Economic growth and the environment[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 1995, 110(2): 353-377
- [23] Antweiler W, Copeland B R, Taylor M S. Is free trade good for the environment?[J]. *American Economic Review*, 2001, 91(4): 877-908
- [24] 李怀政, 林杰. 出口贸易的碳排放效应: 源于中国工业证据[J]. 国际经贸探索, 2013, 29(3): 4-17
Li H Z, Lin J. The carbon emission effect of export trade: The evidence from China's industry[J]. *International Economics and Trade Research*. 2013, 29(3): 4-17 (in Chinese)
- [25] 沈国际, 魏皓. 绿色发展视角下的我国农产品贸易问题探讨[J]. 国际贸易, 2017, 425(5): 31-32, 43
Shen G J, Wei H. Discussion on China's agricultural products trade from the perspective of green development[J]. *Intertrade*. 2017, 425(5): 31-32, 43 (in Chinese)
- [26] 高鸣, 张哲晰. 碳达峰、碳中和目标下我国农业绿色发展的定位和政策建议[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2022, 157(1): 24-31
Gao M, Zhang Z X. Positioning and policy suggestions of China's agricultural green development under the targets of Carbon Peaking and Carbon Neutrality [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*. 2022, 157(01): 24-31 (in Chinese)
- [27] 程云洁, 董程慧. 贸易便利化对中国工业制成品出口贸易的空间效应研究[J]. 数量经济技术经济研究, 2021, 38(2): 98-115
Cheng Y J, Dong C H. Study on the spatial effect of trade facilitation on China's industrial products export trade [J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*. 2021, 38(2): 98-115 (in Chinese)
- [28] 葛纯宝, 袁小金, 于津平, 李娜. 贸易便利化、空间溢出与增加值贸易网络地位: 基于“一带一路”沿线国家的社会网络与空间计量分析[J]. 经济问题探索, 2022, 480(7): 150-172
Ge C B, Yuan X J, Yu J P, Li N. Trade facilitation, spatial spillover and value added trade network status: Social network and spatial econometric analysis based on countries along the "Belt and Road" [J]. *Inquiry into Economic Issues*. 2022, 480(7): 150-172 (in Chinese)
- [29] 杭雷鸣. 基础设施、空间溢出对中国与周边国家间贸易的影响[J]. 国际贸易问题, 2019, 434(2): 29-40
Hang L M. The impacts of infrastructures and their spatial spillovers on the trades between China and its neighboring countries [J]. *Journal of International Trade*. 2019, 434(2): 29-40 (in Chinese)
- [30] 胡向东, 王济民. 中国畜禽温室气体排放量估算[J]. 农业工程学报, 2010, 26(10): 247-252
Hu X D, Wang J M. Estimation of livestock greenhouse gases discharge in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2010, 26(10): 247-252 (in Chinese)
- [31] 沈坤荣, 金刚, 方娴. 环境规制引起了污染就近转移吗?[J]. 经济研究, 2017, 52(5): 44-59
Shen K R, Jin G, Fang X. Does environmental regulation cause pollution to transfer nearby?[J]. *Economic Research Journal*. 2017, 52(5): 44-59 (in Chinese)
- [32] 臧新, 唐琦. 新国际分工背景下贸易对货运业碳排放的影响[J]. 数量经济技术经济研究, 2019, 36(3): 76-91

- Zang X, Tang Q. Study on the effect of international trade on Chinese freight transport CO₂ emissions under the background of new international division of labor [J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*. 2019, 36(3):76-91 (in Chinese)
- [33] 郑石明. 环境政策何以影响环境质量?: 基于省级面板数据的证据[J]. 中国软科学, 2019, 338(2): 49-61, 92
- Zheng S M. How does environmental policy influence environmental quality?: Based on provincial panel data [J]. *China Soft Science*. 2019, 338(2): 49-61, 92 (in Chinese)
- [34] 农业农村部畜牧兽医司, 全国畜牧总站. 中国畜牧兽医年鉴, 1999—2021 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1999—2021
- Department of Animal Husbandry and Veterinary Medicine, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, National Animal Husbandry Station. *China Animal Husbandry and Veterinary Yearbook*, 1999-2021 [M]. Beijing: China Agricultural Publishing House, 1999-2021 (in Chinese)
- [35] 国家统计局. 中国统计年鉴, 1981—2021 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1981—2021
- National Bureau of the People's Republic of China. *China Statistical Yearbook*, 1981-2021 [M]. Beijing: China Statistics Press, 1981-2021 (in Chinese)
- [36] 中国国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴, 1985—2021 [M]. 北京: 中国统计出版社, 1985—2021
- Department of Rural social and Economic Investigation of National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. *China Rural Statistical Yearbook*, 1985-2021 [M]. Beijing: China Statistics Press, 1985-2021 (in Chinese)
- [37] 梁世夫, 陶桂任. 边疆省区畜牧业集聚的增长效应[J]. 中南民族大学学报: 人文社会科学版, 2022, 42(5): 125-133, 186
- Liang S F, Tao G R. Growth effect of industrial agglomeration for animal husbandry in border areas [J]. *Journal of South-Central Minzu University: Humanities and Social Sciences*. 2022, 42(5): 125-133, 186 (in Chinese)

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 李明, 中国农业大学经济管理学院农业经济管理专业博士研究生。专业方向为农产品市场与政策、农业资源与环境经济。博士在读期间已发表2篇学术论文, 参与农业农村部 and 财政部课题1项。曾获2022年江苏省研究生“应用经济研究方法论”暑期学校优秀学员, 2022年山东省研究生“创新驱动与黄河流域高质量发展”学术创新论坛优秀论文三等奖, 2023年东北大学文法学院第十四届萃升研究生学术论坛优秀论文三等奖。作为报告人参加2022年北京农业经济学会、第二届全球经济治理学术论坛、2023年“新汉学计划”博士生“一带一路”高质量发展专题工作坊、2023年中国农林经济管理学术年会和2023年中国林牧渔业经济学会等学术会议, 曾赴四川凉山、河南新乡、甘肃张掖、内蒙古通辽和青海海北等地开展微观调研活动。



通讯作者简介: 肖海峰, 博士, 中国农业大学经济管理学院教授、博士生导师, 主要研究方向为畜牧业经济、农产品市场与政策。先后主持完成国家自然科学基金项目、农业部软科学项目、农业部、财政部等部委项目、中德合作和FAO项目等40余项。出版著作及教材近20部, 在《中国农村经济》《农业经济问题》等杂志上发表论文200余篇。多项政策建议获得党和国家领导人批示。获得北京市“四个一批”人才、全国农业推广硕士优秀论文指导教师、中国农业大学十大优秀博士论文指导教师等奖励。自2011年起, 被农业部、财政部聘为国家绒毛用羊产业技术体系产业经济研究室主任、产业经济岗位专家。从2012年开始, 被农业部聘为肉羊产业监测与预警首席专家。