



杜凤君,郑军,吴强. 产业集聚的“本地—邻地”畜牧业碳排放治理效应:阻力还是助力[J]. 中国农业大学学报,2025,30(02):228-241.

DU Fengjun, ZHENG Jun, WU Qiang. Effect of industrial agglomeration on carbon emission control in ‘local-neighborhood’ animal husbandry: Resistance or assistance[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2025, 30(02): 228-241.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2025.02.20

产业集聚的“本地—邻地”畜牧业碳排放治理效应: 阻力还是助力

杜凤君 郑军* 吴强

(山东农业大学 经济管理学院, 山东 泰安 271018)

摘要 为探究产业集聚对我国畜牧业碳排放的影响机理,基于2007—2021年中国31省(市、自治区)的面板数据(统计数据未含港、澳、台地区,下同),利用碳排放因子测算中国畜牧业碳排放现状,并运用空间计量模型讨论产业集聚对畜牧业碳排放的本地效应和空间溢出效应。结果表明:1)考察期内全国畜牧业碳排放呈缩减趋势,2021年各省畜牧业碳排放梯度差异显著,整体呈“西高东低”的分布格局;2)短期内产业集聚的确可能成为畜牧业碳减排的“阻力”,但长期来看又会为畜牧业碳减排“助力”;3)产业集聚的“本地—邻地”畜牧业碳排放治理效应呈现出非一致性特征,产业集聚并非一定能抑制本地畜牧业碳排放,主要表现为“先扬后抑”的门槛特征,而产业转移和“磁场效应”的存在,使得产业集聚对邻地畜牧业碳排放治理表现出“U”型作用效应;4)环境规制水平和科技人员密度抑制了本地畜牧业碳排放,但由于“污染避难所”效应以及科技人才的流失,削弱了“本地—邻地”联合减排效应,导致邻地畜牧业碳排放不降反增,农民收入水平和财政支农投入增加带来的“红利”会进一步吸引邻地畜牧产业的转入,加剧本地畜牧业碳排放,缓解邻地畜牧业碳排放。

关键词 产业集聚; 碳排放; 动态演进; 空间溢出效应; 畜牧业

中图分类号 F326.3

文章编号 1007-4333(2025)02-0228-14

文献标志码 A

Effect of industrial agglomeration on carbon emission control in ‘local-neighborhood’ animal husbandry: Resistance or assistance

DU Fengjun, ZHENG Jun*, WU Qiang

(College of Economics and Management, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China)

Abstract To explore the impact mechanism of industrial agglomeration on carbon emissions in China's animal husbandry industry, based on the panel data of 31 provinces (municipalities and autonomous regions) from 2007 to 2021 (The data do not include those of Hong Kong, Macao and Taiwan regions. The same below), the carbon emission status of animal husbandry in China was estimated by carbon emission factors. The local and spatial spillover effects of industrial agglomeration on animal husbandry carbon emissions were discussed by using a spatial econometric model. The results showed as follows: 1) During the study period, the carbon emissions of animal husbandry in China showed a decreasing trend. In 2021, the carbon emissions gradient of animal husbandry in different provinces showed a significant difference, and the overall distribution pattern was ‘high in the west and low in the east’; 2) Industrial agglomeration

收稿日期: 2024-01-28

基金项目: 国家社会科学基金项目(20CGL029); 山东省自然科学基金项目(ZR2022QG056; ZR2024MG050); 山东省薯类产业技术体系产岗项目(SDAIT-16-12)

第一作者: 杜凤君(ORCID:0009-0000-2410-6182), 博士研究生, E-mail: dfj18853859679@163.com

通讯作者: 郑军(ORCID:0000-0003-1771-7879), 教授, 主要从事农业经济理论与政策研究, E-mail: zhengjun9200@126.com

may indeed become a ‘resistance’ to carbon emission reduction in animal husbandry in the short term, but in the long run it will “assistance” carbon emission reduction in animal husbandry; 3) The ‘local-neighboring’ carbon emission control effect of industrial agglomeration presents a non-consistent feature. Industrial agglomeration is not necessarily able to inhibit the carbon emission of local animal husbandry, which is mainly manifested as a threshold feature of ‘rising first and then suppressing’. The existence of industrial transfer and ‘magnetic field effect’ makes industrial agglomeration show a U-shaped effect on carbon emission control of neighboring animal husbandry. 4) The level of environmental regulation and the density of scientific and technological personnel inhibit carbon emissions from local animal husbandry. However, due to the effect of ‘pollution refuge’ and the loss of scientific and technological personnel, the joint emission reduction effect of ‘local and neighboring’ is weakened, resulting in an increase in carbon emissions from neighboring animal husbandry instead of decreasing. The ‘dividend’ brought by the increase in farmers’ income level and financial input to support agriculture will further attract the transfer of livestock industry in neighboring areas, increase carbon emissions from local animal husbandry and alleviate carbon emissions from neighboring animal husbandry.

Keywords industrial agglomeration; carbon emissions; dynamic evolution; spatial spillover effect; animal husbandry

20世纪80年代以来,全球温室气体骤升且变暖趋势加快,引起了国际社会的共同关注。随后,《京都议定书》和《巴黎协定》相继签订和实施标志着所有国家均需要承担相应的减排义务。在此背景下,作为全球最大的碳排放国家,也是负责任的大国,中国政府提出了2030年实现“碳达峰”和2060年实现“碳中和”的宏伟目标。“双碳”目标实现的根本途径在于减排增汇,其中减排是基础。厘清各行业碳排放现状特征显然有助于减排策略的提出。畜牧业不同于工业,尽管不是碳排放的主要源头,但随着居民膳食结构的调整以及对肉蛋奶需求的增加,畜牧业发展带来的碳排放量的增加也不容小觑。为此,2022年农业农村部和国家发改委联合印发了《农业农村减排固碳实施方案》将畜牧业“减排降碳”作为农业农村“减排固碳”的六大重点任务之一。畜牧产业布局的进一步调整和优化,以及政府对生猪、牛羊调出大县进行奖励和对销区补偿产区的机制构建,能够推动畜牧产业在某一区域的集聚。产业集聚又会推动畜牧业向高度集约化、专业化、区域化的方向发展^[1],在促进畜牧业经济发展的同时也会带来一定的环境污染问题。那么,产业集聚与畜牧业碳排放之间存在何种关联,其对畜牧业碳排放治理到底是“阻力”还是“助力”?

已有研究对于此类问题展开了丰富讨论。经整理发现,学界大致持有3种观点。一是产业集聚加剧了碳排放。李健等^[2]证实了产业集聚度的提高会导致碳排放量增加。王海星等^[3]认为产业集聚通

过资本市场扭曲和产业协同集聚缺失两条路径增加碳排放。丁斐等^[4]发现工业集聚度的提升能够显著促进城市碳排放强度增加。另一种观点认为产业集聚减少了碳排放。刘习平等^[5]研究发现,中国产业层面的经济空间集聚特征十分明显,且多样化的产业集聚模式更有利于碳生产率的提升。王桂新等^[6]聚焦产业集聚对碳排放的“反弹效应”和“节能效应”,并认为产业集聚度的提高有助于降低城市碳排放。任晓松等^[7]以中国61个城市的面板数据为证据,证实了经济集聚与碳排放强度之间存在负向关系。还有学者认为产业集聚与碳排放呈非线性关系。刘耀彬等^[8]实证发现,从时间上看产业集聚与碳排放之间具有倒“U”型关系。邵帅等^[9]认为经济集聚与碳排放之间存在典型的倒“N”型曲线关系。毛小明等^[10]研究发现,产业集聚对于省域碳排放的影响呈动态的“N”型趋势。可以看出,现有研究在产业集聚与碳排放关系的问题上尚未得到一致结论。

关于畜牧业碳排放的研究主要集中在以下3个方面:一是畜牧业碳排放测算方法选择^[11]、畜牧业碳排放现状特征分析^[12-13]以及畜牧业碳排放达峰预测^[14-15]等。二是关于畜牧业碳排放影响因素的讨论,主要从宏观环境、管理方式^[16-18]以及技术水平^[19]等方面进行了研究。三是畜牧业碳排放与经济发展间的关系^[20-21]。

梳理已有研究,发现现有文献很少关注产业集聚对畜牧业碳排放的影响,部分研究将畜牧业碳排

放纳入到农业碳排放中,继而考察两者之间的关系,例如胡中应等^[22]研究了产业集聚对农业碳排放的影响,结果发现产业集聚与农业碳排放总量呈倒“U”型关系,与农业碳排放强度呈“N”型关系;程琳琳等^[23]研究发现,产业集聚与农业碳效率之间表现为环境库兹涅茨曲线特征,即农业产业集聚对农业碳效率先促进后抑制;张哲晰等^[24]进一步研究发现,产业集聚通过技术溢出与规模效应影响农业碳生产率;田云等^[25]的研究同样表明,产业集聚与农业碳排放呈倒“U”型特征,并且产业集聚还具有溢出效应。此外,田云等^[26]还发现产业集聚与农业净碳效应存在正“N”型关系。

综上可知,已有研究讨论了产业集聚与环境污染、农业碳排放和农业碳生产率之间的关系,但畜牧业与制造业、服务业、种植业等行业又有着本质的不同,因而有必要将畜牧产业分离出来,单独探究产业集聚对畜牧业碳排放的影响。本研究拟采用2007—2021年31省(市、自治区)的面板数据(统计数据未含港澳台地区,下同),利用国家发改委2011年发布的《省级温室气体清单编制指南(试行)》给出的碳排放因子测算中国畜牧业碳排放现状,并结合核密度估计方法揭示其动态演进趋势,运用空间计量模型讨论产业集聚对畜牧业碳排放的本地效应和空间溢出效应,以期为促进畜牧业绿色低碳转型和实现“双碳”目标提供有益参考。

1 理论分析框架

产业集聚是指生产某种产品的不同企业,以及为这些企业提供配套服务的上、下游企业和相关服务业,在一定区域范围高度集中。尽管畜牧业和工业产业差异较大,但已有经验表明,畜牧业生产的交易成本高,对饲料、土地和劳动力等资源的依赖性较强,因而畜牧业更倾向于向优势区集聚,进而充分利用资源禀赋优势并共享相关基础设施和社会化服务,增强养殖场户间的技术交流^[1]。畜牧业产业集聚主要通过生产要素的集聚、养殖主体的有机融合以及规模化来达到产业集聚的效果。畜牧业产业集聚在促进畜牧经济发展的同时,对产业集聚区以及周围地区环境也造成了一定影响。畜牧业产业集聚对碳排放的影响主要表现在以下两个方面:一是产业集聚会促进养殖规模的扩大,从而导致畜牧业碳排放量的增加;二是产业集聚通过技

术溢出和规模效应降低本地以及邻区单位畜禽产品的碳排放量^[22]。具体而言:

第一,畜牧业碳排放主要产生于动物的生命活动过程,随着某地区畜牧业产业集聚程度的增加,会引起养殖规模和数量的增加,进而带来畜牧业碳排放的增加^[22]。第二,养殖规模的扩大又会促成专业化的分工,从而催生养殖技术和管理模式的创新,进而改善养殖效率,例如畜禽品种的改良、饲喂技术的改进和粪污处理技术更新等^[27],均会对畜牧业碳排放产生直接或者间接影响;此外,具有大量共同需求的养殖场户更容易联合,成立养殖技术指导、饲料等投入品供给和社会服务组织,因而产业集聚还会促进养殖基础设施和社会化服务体系的完善,有利于优化资源配置,提升养殖效率,实现产业集聚的外部规模经济带来的减排效应^[24];更为重要的是,由产业集聚引起的技术和管理创新还会对周围地区产生溢出效应,技术溢出和示范效应有助于邻区减排^[23]。

由上述分析可知,产业集聚可通过内、外部规模经济效应引起畜牧业碳排放的增减变化,但最终会导致畜牧业碳排放量的增加还是减少尚需检验。一般而言,在产业集聚初期,产业集聚规模较小,养殖设施以及相关社会化服务体系尚不健全,再加上技术水平限制和管理模式落后等多重因素的影响,导致产业集聚的技术溢出和规模效应难以完全凸显,产业集聚带来的减排效果尚不能抵消畜牧业碳排放的增量;与此同时,产业集聚和要素集聚会产生价格指数效应和“磁场效应”^[28],从而加剧与邻区市场的竞争,使得周围地区采用更为粗放的养殖方式来获取更好的产出,这无疑会进一步增加碳排放量。但到了后期,产业集聚与产业转移互动作用明显,产业集聚区的落后产能将会向欠发达地区转移,同时会吸引周围地区的资金和劳动力资源向集聚区转移,从而形成产业的二次集聚。在此过程中,集聚区畜牧生产基础设施和社会化服务体系逐步完善、技术创新能力增强、管理模式优化等优势凸显,同时,地区之间的恶性竞争转为良性互动,技术溢出和经验交流的减排效果充分体现。据此,本研究提出如下假说:

假说1:产业集聚与中国畜牧业碳排放存在非线性关系,而且最终表现出抑制作用。

假说2:产业集聚不仅影响本地区畜牧业碳排

放的增减,还会引起周围地区畜牧业碳排放的变化。

2 研究方法、变量选取与数据来源

2.1 畜牧业碳排放的测算方法

畜牧业温室气体主要源于动物肠胃发酵和粪污处理所产生的CH₄和N₂O,因而本研究重点围绕这两方面测算畜牧业碳排放^[16]。依据碳排放因子法,本研究将测算奶牛、非奶牛、马、骡、驴、猪、骆驼、山羊、绵羊、兔和家禽等畜禽的CO₂排放当量。测算公式如下:

$$CP = C_{CH_4} + C_{N_2O} = e_{CH_4} \times \sum N_i \times \alpha_i + e_{N_2O} \times \sum N_i \times \beta_i \quad (1)$$

式中:CP为CO₂排放总量,C_{CH₄}代表CH₄转化后的CO₂当量,C_{N₂O}代表N₂O转化后的CO₂当量,e_{CH₄}和e_{N₂O}为全球升温潜能值,根据《京都议定书》,以二氧化碳的100年全球变暖潜力值(GWP)为基准给定甲烷和氧化亚氮的全球升温潜能值,分别为21和310,N_i为第*i*种畜禽的平均饲养量,α_{*i*}和β_{*i*}分别为CH₄和N₂O排放因子,排放因子出自于《省级温室气体清单编制指南(试行)》(2011),具体排放因子如表1和2所示。

表 1 肠道发酵的CH₄气体排放因子

Table 1 CH4 emission factors of intestinal fermentation										kg/(头·年)
碳源 Carbon source	奶牛 Cow	非奶牛 Non-cow	马 Horse	骡/驴 Mule/ Donkey	猪 Pig	骆驼 Camel	山羊 Goat	绵羊 Sheep	兔 Rabbit	
排放系数 Emission coefficient	88.1 89.3 99.3	52.9 67.9 85.3	18	10	1	46	8.9 9.4 6.7	8.2 8.7 7.5	0.3	

注:奶牛、非奶牛、山羊和绵羊的3种排放系数分别对应规模化养殖、散养和放牧饲养模式下的排放系数。
Note: The three emission coefficients of cows, non-cows, goats and sheep correspond to the emission coefficients of large-scale farming, free-range and grazing feeding modes, respectively.

表 2 粪便管理的温室气体排放因子

Table 2 Greenhouse gas emission factors for manure management												kg/(头·年)
地区 District	气体 Gas	奶牛 Cow	非奶牛 Non-cow	马 Horse	骡/驴 Mule/ Donkey	猪 Pig	骆驼 Camel	山羊 Goat	绵羊 Sheep	兔 Rabbit	家禽 Poultry	
华北 North China	CH ₄	7.46	2.82	1.09	0.6	3.12	1.28	0.17	0.15	0.08	0.01	
	N ₂ O	1.846	0.749	0.330	0.188	0.227	0.330	0.093	0.093	0.02	0.007	
华东 East China	CH ₄	8.33	3.31	1.64	0.90	5.08	1.92	0.28	0.26	0.08	0.02	
	N ₂ O	2.065	0.846	0.330	0.188	0.175	0.330	0.113	0.113	0.02	0.007	
中南 Central South	CH ₄	8.45	4.72	1.64	0.90	5.85	1.92	0.31	0.34	0.08	0.02	
	N ₂ O	1.710	0.805	0.330	0.188	0.157	0.330	0.106	0.106	0.02	0.007	
西南 Southwest	CH ₄	6.51	3.21	1.64	0.90	4.18	1.92	0.53	0.48	0.08	0.02	
	N ₂ O	1.884	0.691	0.330	0.188	0.159	0.330	0.064	0.064	0.02	0.007	
东北 Northeast	CH ₄	2.23	1.02	1.09	0.60	1.12	1.28	0.16	0.15	0.08	0.01	
	N ₂ O	1.096	0.913	0.330	0.188	0.266	0.330	0.057	0.057	0.02	0.007	
西北 Northwest	CH ₄	5.93	1.86	1.09	0.60	1.38	1.28	0.32	0.28	0.08	0.01	
	N ₂ O	1.447	0.545	0.330	0.188	0.195	0.330	0.074	0.074	0.02	0.007	

畜禽生长周期的不同导致各年份平均畜禽饲养量有所差异,因而需要调整。需调整的畜禽品种有生猪(200 d)、兔(105 d)和禽类(55 d)。调整方式如下:

$$\text{App} = \begin{cases} \text{Herds}_{\text{end}}, & \text{Day}_s \geq 365 \\ \text{Day}_s \times (N/365), & \text{Day}_s < 365 \end{cases} \quad (2)$$

式中:App为年均饲养量;Herds_{end}为年末存栏量;Day_s为饲养周期;N为年出栏量。

2.2 Kernel密度估计方法

核密度估计是研究非均衡分布的常用方法。因而,本研究利用此方法刻画全国畜牧业碳排放分布的位置、形态、延展性和极化趋势^[29]。假设 $f(x)$ 是中国畜牧业碳排放 x 的密度函数:

$$f(x) = \frac{1}{Nh} \sum_{i=1}^N K\left(\frac{X_i - x}{h}\right) \quad (3)$$

式中: N 为样本数; X_i 代表观测值; x 为观测值的均值; K 为核密度函数; h 为带宽。本研究选择高斯密度函数进行估计,其表达式为:

$$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (4)$$

2.3 空间计量分析方法

本研究利用全局Moran's I 指数反映中国畜牧业碳排放及产业集聚的空间相关关系,计算式如下:

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{S^2 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \quad (5)$$

式中: i 和 j 为不同省份; x 和 $\bar{x}$ 分别为样本值和均值; S^2 为方差; w_{ij} 为空间权重矩阵。 $I > 0$ 表明样本值在空间上主要表现为正相关,该值越大空间相关性越强, $I < 0$ 表明此时的空间相关性为负,其值越小空间越分散, $I = 0$ 代表空间呈随机性, $I = [-1, 1]$ 。鉴于邻接矩阵无法反映非邻接地区的空间相关性,故本研究基于地理距离空间权重探究各变量的空间相关性。

为进一步探究产业集聚对畜牧业碳排放的影响及其空间效应,利用空间滞后模型进行检验。该模型的表达式如下:

$$y = \rho W y + X \beta + \epsilon \quad (6)$$

式中: W 为空间权重矩阵,在回归过程中,把地理距离空间矩阵为权重的模型作为基准模型,再利用空间邻接矩阵和反地理距离空间权重矩阵进行稳健性检验; β 、 ρ 为相关回归系数; ϵ 为随机误差项; X 为解释变量; y 为被解释变量。

2.4 变量选取

1)被解释变量。畜牧业碳排放量(CP)。主要指奶牛、非奶牛、马、骡、驴、猪、骆驼、山羊、绵羊、兔和家禽等畜禽经动物肠胃发酵和粪污处理所产生的 CH_4 和 N_2O ,然后根据碳排放因子和全球升温能值转换为 CO_2 排放当量。

2)核心解释变量。产业集聚水平(LIA)。衡量产业集聚水平的指标包括E-G指数、Hoover指数、Gini系数和区位熵等。但区位熵具备反映地理要素的空间分布和消除规模差异的优势,故而较为常用^[30]。区位熵(LIA)计算式为: $\text{LIA}_{ir} = (p_{ir}/p_i)/(p_r/p)$,其中, LIA_{ir} 为 i 地区畜牧业的区位熵, p_{ir} 、 p_i 、 p_r 和 p 分别表示某地区的畜牧业产值、所有行业产值、全国畜牧业总产值和全国所有行业产值。本研究同时引入了产业集聚水平的二次项以检验非线性关系是否存在。

3)控制变量。农业产业结构(SAI),以畜牧业产值在农业产值中的比重代替;环境规制水平(ER),用各地区污染治理投资占GDP比重表征;农民收入水平(INF),以农民可支配收入代替;财政支农投入(FIA),以财政支农资金占财政总支出的比重表征;农业发展水平(LRD),用农业增加值与第一产业从业人数的比值代替;城镇化水平(LR),以城镇人口占总人口(均按常住人口计算)的比重来表征;科技人员密度(STA),以畜牧科技人数与畜牧业总产值之比来表征。

2.5 数据来源

各种畜禽的存栏量与出栏量等数据来源于2008—2022年历年的《中国畜牧兽医年鉴》^[31]。规模化饲养、农户散养和放牧饲养的划分标准参考《中国畜牧兽医年鉴》^[31],并依据各年度数据对不同饲养模式下肠道发酵甲烷排放因子进行加权核算。城镇化水平、地区生产总值、畜牧业总产值、农业增加值来源于2008—2022年历年的《中国统计年鉴》^[32],其中畜牧业总产值以2007为基期做了不变价处理。财政支农投入来源2008—2022年历年的《中国财政年鉴》^[33]。环境污染治理投资额来源于2008—2022年历年的《中国环境统计年鉴》^[34]。第一产业从业人数、农民可支配收入来源于2008—2022年历年的《中国农村统计年鉴》^[35]。畜牧科技人数来源于2008—2022年历年的《中国农业机械工业年鉴》^[36]。各指标的统计特征如表3所示。

表 3 各指标的统计特征

Table 3 Statistical characteristics of each indicator

变量 Variable	单位 Unit	均值 Mean value	标准差 SD	最小值 Min	最大值 Max
畜牧业碳排放 CP	万 t	0.758	0.444	0.024	2.161
产业集聚水平 LIA		1.253	0.724	0.032	3.916
农业产业结构 SAI		0.306	0.096	0.105	0.658
环境规制水平 ER		1.356	0.827	0.050	9.362
农民收入水平 INF	万元/人	1.045	0.580	0.233	3.491
财政支农投入 FIA		0.112	0.034	0.029	0.204
农业发展水平 LRD	万元/人	2.286	1.313	0.321	10.680
城镇化水平 LR		0.554	0.142	0.215	0.896
科技人员密度 STA	人/亿元	13.037	10.917	0.795	73.424

3 中国畜牧业碳排放时空特征与动态演进分析

3.1 畜牧业碳排放时序特征分析

全国 31 省(市、自治区)畜牧业碳排放测算结果如图 1 和表 4。为节省篇幅,本研究只列出了 2007 和 2021 年的测算数据。可知,考察期内全国畜牧业碳排放总量整体呈下降趋势且由 2007 年的 31 840.19 万 t 降至 31 713.96 万 t,减少了 126.23 万 t。从产业集聚的均值来看,总体呈现波浪式上升形态。

从各省来看,2021 年畜牧业碳排放量最高的省

份是内蒙古,碳排放量高达 2 800.98 万 t;紧跟其后的是四川,其碳排放量也达到了 2 501.29 万 t;排在第三~第五位的省份依次是云南、新疆、河南。而畜牧业碳排放量最低的省份是北京,仅有 26.52 万 t;与其最为接近的省份是上海,以 27.14 万 t 的碳排放量位居倒数第二;天津、海南、浙江依次排在倒数第三~第五位。综合来看,各地区畜牧业碳排放总量差异较大,最高是最低的 106 倍,两极分化明显。各省份除了在绝对数量上存在差异,其在畜牧业碳排放量的增减变化过程中也有所

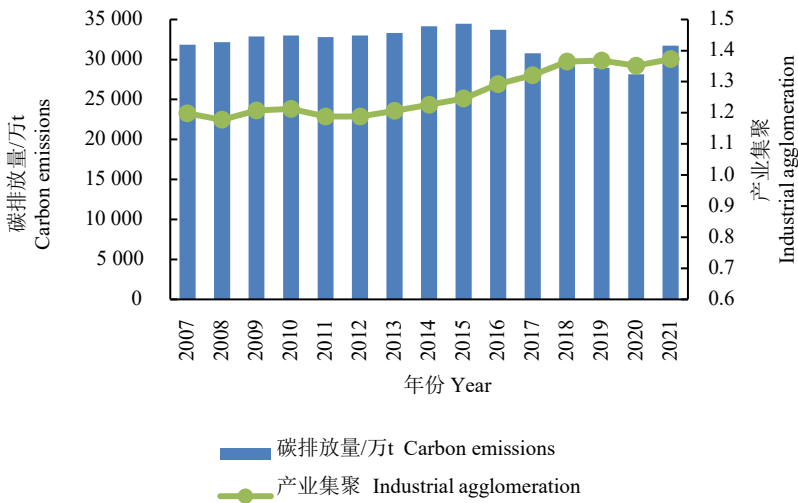


图 1 产业集聚与畜牧业碳排放的变化趋势

Fig.1 Industrial agglomeration and trends in carbon emissions from animal husbandry

表4 2007和2021年中国31省(市、自治区)畜牧业碳排放及排序

Table 4 Carbon emissions from animal husbandry and their ranking in 31 provinces (municipalities and autonomous regions) of China in 2007 and 2021

省份 Province	2007年		2021年		变化率/% Rate of change	省份 Province	2007年		2021年		变化率/% Rate of change
	总量/万 t Gross amount	排序 Sort	总量/万 t Gross amount	排序 Sort			总量/万 t Gross amount	排序 Sort	总量/万 t Gross amount	排序 Sort	
北京 Beijing	101.61	29	26.52	31	-73.90	湖北 Hubei	978.81	16	1 004.64	15	2.64
天津 Tianjin	93.61	30	90.32	29	-3.52	湖南 Hunan	1 365.43	9	1 619.34	6	18.60
河北 Hebei	1 614.37	7	1 365.21	10	-15.43	广东 Guangdong	792.62	18	629.98	20	-20.52
山西 Shanxi	439.70	22	600.39	21	36.55	广西 Guangxi	1 090.08	14	1 077.92	14	-1.12
内蒙古 Inner Mongolia	2 485.60	3	2 800.98	1	12.69	海南 Hainan	198.33	28	147.13	28	-25.82
辽宁 Liaoning	954.14	17	924.27	16	-3.12	重庆 Chongqing	355.56	24	429.27	24	20.73
吉林 Jilin	1 168.99	11	867.92	17	-25.75	四川 Sichuan	2 728.21	2	2 501.29	2	-8.32
黑龙江 Heilongjiang	1 263.25	10	1 294.84	12	2.50	贵州 Guizhou	1 118.66	12	1 083.69	13	-3.13
上海 Shanghai	45.95	31	27.14	30	-40.93	云南 Yunnan	1 734.93	5	2 194.30	3	26.48
江苏 Jiangsu	435.74	23	396.50	25	-9.01	西藏 Xizang	1 477.32	8	1 389.73	9	-5.93
浙江 Zhejiang	242.81	27	152.76	27	-37.09	陕西 Shanxi	515.00	21	527.21	23	2.37
安徽 Anhui	633.11	20	643.66	19	1.66	甘肃 Gansu	1 100.98	13	1 437.90	8	30.60
福建 Fujian	312.36	25	283.70	26	-9.18	青海 Qinghai	1 076.08	15	1 361.26	11	26.50
江西 Jiangxi	660.04	19	823.62	18	24.78	宁夏 Ningxia	270.66	26	546.76	22	102.01
山东 Shandong	2 060.96	4	1448.44	7	-29.72	新疆 Xinjiang	1 682.60	6	2 172.65	4	29.12
河南 Henan	2 842.69	1	1844.59	5	-35.11	全国 Whole country	31 840.19		31 713.96		

不同。相较于2007年,有17个省份的畜牧业碳排放量呈下降态势且以北京降幅为最大,高达73.90%,上海、浙江、河南和山东依次排在第二~第五位;余下14个省份的畜牧业碳排放量则表现出增长态势且以宁夏增幅最大,高达102.01%,山西、甘肃、新疆、青海的增幅分列第二~第五位。整体而言,全国畜牧业碳排放呈波动起伏趋势,因养殖区域和养殖结构的调整,各省份增减变化不一。

4 产业集聚对畜牧业碳排放影响的实证检验

4.1 全局相关性分析

在讨论中国畜牧业碳排放的空间相关性之前,

需要对其进行空间相关性检验。本研究重点分析产业集聚对畜牧业碳排放的影响,其余因素作为控制变量,因此仅给出畜牧业碳排放和产业集聚的全局相关性检验结果。本研究采用Moran's *I*指数进行检验,结果如表5所示。从中可知,畜牧业碳排放的莫兰指数通过了显著性检验,莫兰指数除个别年份有所波动整体表现出递增趋势,显著性水平也随之提高,产业集聚水平空间相关性较强且极为稳定,大多年份通过了1%显著性水平的检验,其莫兰指数随着时间的推移呈上升趋势。由此表明,研究期内我国畜牧业碳排放具有明显空间相关性,主要表现为低碳区域被一个或多个低碳区域包围,高碳区域与一个或者多个高碳地区相邻。

表5 2007—2021年中国畜牧业碳排放及产业集聚的Moran's *I*指数
Table 5 Moran's *I* index of carbon emissions from animal husbandry and industrial agglomeration in China from 2007 to 2021

年份 Year	CP	LIA	年份 Year	CP	LIA	年份 Year	CP	LIA
2007	0.151*	0.044**	2012	0.126*	0.080***	2017	0.171**	0.111***
2008	0.125*	0.048***	2013	0.131*	0.082***	2018	0.188**	0.121***
2009	0.132*	0.077***	2014	0.129*	0.086***	2019	0.228**	0.129***
2010	0.126*	0.079***	2015	0.135*	0.100***	2020	0.251***	0.126***
2011	0.129*	0.078***	2016	0.151*	0.110***	2021	0.262***	0.128***

注:***、**和*分别代表1%、5%和10%的显著性水平。下同。
Note:***, ** and * represent significance levels of 1%, 5% and 10%, respectively. The same below.

4.2 产业集聚对畜牧业碳排放影响的结果分析

由前述分析可知,畜牧业碳排放与产业集聚存在空间上的关联性,那么,产业集聚与畜牧业碳排放是否存在关联,接下来运用空间计量模型进行检验。回归分析之前,需要对空间计量模型进行选择。根据检验结果(表6)可知,LM(error)和Robust LM(error)均未通过显著性检验,而LM(lag)和Robust LM(lag)均通过了1%显著性水平下的检验,表明空间滞后模型(SAR)更适合本研究。进一步地,豪斯曼检验(Hausman)检验结果显示固定效应更好,个体固定效应和时间固定效应均在1%显著性水平通过了检验,因此,本研究采用双固定效应的空间滞后模型进行实证检验。此外,本研究以地理距离空间权重矩阵为基准回归,然后用邻接空间矩阵和反地理距离空间权重矩阵重复上述回归,

表6 空间计量模型检验结果
Table 6 Test results of spatial metrology model

统计量 Statistic	检验值 Test value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value
LM(error)test	1.159	0.282
Robust LM(error)test	1.626	0.202
Hausman test	136.13***	0.000
LM(lag)test	13.626***	0.000
Robust LM(lag)test	14.092***	0.000
个体固定/双固定效应 Individual fixed/double fixed effect	73.76***	0.000
时间固定/双固定效应 Time fixed/double fixed effect	1 352.07***	0.000

以验证模型的稳定性,结果如表7所示。

由表7回归I可知,畜牧业产业集聚的一次项和二次项均通过了1%显著性水平的检验,并且一次项系数为正,二次项系数为负,证实了研究假说1。这表明,产业集聚与畜牧业碳排放之间呈倒“U”型的关系,即随着产业集聚水平逐步提升,畜牧业碳排放表现出先上升后下降的趋势。究其原因:产业集聚的初期,排污权界定不清晰以及政府监管缺位的情况下,产业集聚形成区域内养殖规模扩张的同时会引起碳排放量的增加,造成畜牧产业在空间上的“集中排放”;另外,产业发展之初,畜牧养殖基础设施不完善以及饲料加工、疫病防控和良种繁育等社会化服务体系尚不健全,再加上技术创新能力低和技术创新风险高等因素,影响了技术溢出效应作用的发挥,因而,此阶段集聚效应带来的环境负外部性大于正外部性,进而导致畜牧业碳排放总量的增加。而后,随着政府支农投入的增加、环境规制力度的趋紧和科技人员的聚集,畜牧业基础设施趋于完善、管理模式接近最优,上下游服务组织以及社会服务体系日益健全;与此同时,环境规制激活

了产业内部的“创新补偿效应”,技术创新的意愿、能力和风险均有所改变,集聚效应的正外部性大于负外部性,因而,在产业集聚超过某一阈值之后,技术溢出和规模效应将会抑制畜牧业碳排放。

控制变量中,环境规制水平和科技人员密度对畜牧业碳排放表现出了抑制作用,并且分别通过了5%和1%显著性水平检验。这主要源于以下原因:第一,“污染天堂效应”的存在,使得治污能力差、养殖效益低且以粗放经营为主的畜牧养殖主体会转移到环境规制力度较为宽松的地区,部分养殖场户甚至直接选择“退出”,所以降低了畜牧业碳排放总量;环境规制激活了“创新补偿效应”,适当的环境规制力度能够引起养殖主体对自身养殖效率低下的反思,从而进行养殖技术创新,实现养殖效益提升与污染减排的双重效果。第二,畜牧业比种植业更需要科技的支撑,饲喂技术、育种技术和疫病防控技术等对于养殖效率的提升以及碳排放的抑制至关重要,而技术的研发与推广需要畜牧科技人员的持续投入和转化,因而科技人员密度对畜牧业碳排放表现为抑制作用。

表7 各变量对畜牧业碳排放影响的空间滞后模型回归结果
Table 7 Spatial lag model regression results of the impact of each variable on carbon emissions from animal husbandry

变量 Variable	回归 I Regression I		回归 II Regression II		回归 III Regression III	
	系数 Coefficient	Z统计量 Z-statistic	系数 Coefficient	Z统计量 Z-statistic	系数 Coefficient	Z统计量 Z-statistic
LIA	617.364***	5.67	646.296***	5.76	642.042***	5.69
LIA ²	−108.922***	−5.03	−114.639***	−5.14	−113.408***	−5.04
SAI	−402.011	−1.64	−434.838*	−1.72	−430.994*	−1.70
ER	−18.567**	−2.19	−19.570**	−2.24	−19.410**	−2.21
INF	0.016**	2.33	0.013*	1.84	0.013*	1.82
FIA	862.993*	1.72	920.612*	1.77	1 034.284**	2.00
LRD	15.401	0.84	12.660	0.67	12.948	0.68
LR	−255.591	−0.59	−266.987	−0.59	−252.835	−0.56
STA	−5.685***	−3.59	−6.153***	−3.77	−6.078***	−3.70
R ²	0.358		0.331		0.340	

注:回归I、回归II和回归III分别对应基于地理距离空间权重矩阵、邻接空间权重矩阵和反地理距离空间权重矩阵的回归结果。
Note: Regression I, regression II and regression III correspond to regression results based on geographical distance spatial weight matrix, adjacent spatial weight matrix and anti-geographical distance spatial weight matrix, respectively.

农民收入水平和财政支农投入促进了畜牧业碳排放,并且分别通过了5%和10%显著性水平检验。可能的解释是:第一,畜牧业养殖效益要比种植业高,农民更倾向于通过畜牧业来增加收入,从而带来畜牧养殖规模扩大和畜牧业碳排放的进一步增加;另外,农民收入的增加以及膳食结构的变化,其对肉蛋奶等动物蛋白的需求也会随之增加,同样会引起畜牧业碳排放的增加。第二,财政支农投入对于农民增收起着积极作用^[37],因而其对畜牧业碳排放的作用机理与农民收入水平具有相似之处;此外,财政支农投入提升了养殖主体从事畜牧生产的积极性和能力,客观上导致了碳排放的增加,由于财政支农资金使用结构、效率以及监管等尚存“漏洞”,未能在促进农民增收的同时达到污染减排的效果。

进一步地,通过比较回归I、回归II和回归III的结果可知,各个解释变量对被解释变量的影响方向与显著性特征在不同权重矩阵嵌入的模型中基本一致,因而回归I的结果具有较强的稳健性。

4.3 产业集聚对畜牧业碳排放的空间溢出效应

由于空间滞后项的引入,空间计量模型回归系数并不能反映出解释变量的直接和间接效应,因此,本研究基于Lesage等^[38]的思路,利用偏微分的方法求解各变量的直接效应和间接效应。直接效

应是指本地区自变量对因变量的影响,也称本地效应;间接效应是指邻区自变量对本地区因变量的影响,也称空间溢出效应;总效应是直接效应和间接效应的综合,表示自变量对因变量的平均影响。

根据表8可知,产业集聚水平一次项和二次项的直接效应均通过了1%显著性水平的检验,同时产业集聚也表现出了明显的空间溢出效应,研究假说2得到了印证。具体而言,产业集聚水平每提高1%,本地畜牧业碳排放将会增长635.61%,而产业集聚水平超过拐点之后,产业集聚水平每提高1%,本地区畜牧业碳排放反而降低111.55%,表现出了产业集聚污染治理效应。但从产业集聚的空间溢出效应来看,情况却恰恰相反,产业集聚的空间溢出效应与直接效应作用方向相反。可能的解释是,产业集聚与产业转移存在互动关系,在宏观政策引导下以及规模经济的驱动下,为提高养殖效率、降低交易和信息成本,畜牧业将会向资源禀赋优势区或者优先发展区转移,当某一区域形成畜牧产业集聚后,该地区畜牧经济的竞争力显然会高于非集聚方式下的邻近地区,就会吸引邻近地区的养殖主体或者投资者向产业集聚区转移或者增加投资,因而产业集聚的初期会导致本地区畜牧业碳排放的增加,而邻区碳排放的减少。随着产业集聚水平的进一步提升,畜牧业投资增加、畜牧经济稳步发展和

表8 各变量对畜牧业碳排放的直接与间接效应

Table 8 Direct and indirect effects of each variable on carbon emissions from animal husbandry

变量 Variable	直接效应 Direct effect		间接效应 Indirect effect		总效应 Total effect	
	系数 Coefficient	Z统计量 Z statistic	系数 Coefficient	Z统计量 Z statistic	系数 Coefficient	Z统计量 Z statistic
LIA	635.611***	6.67	-344.803***	-4.66	290.809***	4.71
LIA ²	-111.550***	-5.53	60.430***	4.31	-51.120***	-4.14
SAI	-406.327	-1.61	223.385	1.52	-182.942	-1.60
ER	-19.117**	-2.28	10.329**	2.15	-8.788**	-2.10
INF	0.018***	2.60	-0.010**	-2.24	0.008***	2.66
FIA	993.552*	1.94	-527.480*	-1.95	466.072*	1.72
LRD	14.715	0.73	-7.859	-0.69	6.856	0.75
LR	-205.612	-0.46	104.295	0.45	-101.317	-0.46
STA	-6.033***	-3.48	3.289***	2.92	-2.744***	-3.11

科技人员汇集,进而促进了技术水平的提升和管理模式的优化,区域内的技术溢出和经验溢出效应明显,因而产业集聚在拐点之后由于效率的提升抑制了碳排放的增加;但对于邻区而言,产业集聚区会与其形成竞争,周围地区的资本、劳动力、专业技术人员以及赖以发展的宝贵资源等也会向集聚地转移,产业集聚所产生的“磁场效应”使得“强者愈强,弱者愈弱”,经济上的对立会加剧邻区采取以牺牲效率的方式来获取更高的产出和效益,因而,在此期间会增加邻区畜牧业碳排放。

控制变量中,环境规制水平和科技人员密度的本地效应显著,并且均为负向作用,但对周围地区却产生了正向溢出效应。这说明环境规制产生了“污染天堂效应”,环境规制水平的提升抑制了本地畜牧业碳排放的增加,同时促使部分畜牧产业向环境规制宽松的邻近地区转移,加剧了邻区污染;科技人员密度增加显然会提升本地的养殖效率,促进畜牧业减碳,但这种科技力量的补强可能以牺牲邻区为代价,因而本地区科技人员密度对邻区碳排放的空间溢出效应为正。农民收入水平和财政支农投入的本地效应显著为正,空间溢出效应显著为负。地区间收入水平的差异,会使劳动力从低收入地区向高收入地区转移,并且促

进了邻区规模化经营,一定程度上抑制了邻区畜牧业碳排放;本地区财政支农投入的增加会对邻区产生吸引力,从而引起产业转移,降低邻区畜牧业碳排放。

4.4 政府干预、产业集聚及畜牧业碳排放

畜牧产业集聚本质上是以市场机制为导向,要素自由流动并发生集聚,但畜牧业不同于工业,其风险、效益是和工业无法比拟的,另外,畜牧业造成的环境污染问题也越来越受到重视。因此,出于政绩的考核以及畜牧养殖业的脆弱性,政府可能会通过某些政策和措施来加快或者减缓产业集聚,比如财政支农投入和环境规制措施(排污费)等。因此,在产业集聚层面,本研究加入了财政支农投入和环境规制水平与产业集聚的交互项,进而考察政府干预对于产业集聚与畜牧业碳排放关系的调节作用。

由表9可知,环境规制与产业集聚的交互项系数通过了显著性检验,并且为负值,说明产业集聚水平对畜牧业碳排放的边际效应随环境规制水平的提升而降低。一方面,环境规制会加快落后产能的淘汰,抑制碳排放的增加;另一方面环境规制可能激发产业集聚的技术创新,从而降低碳排放,因而环境规制减缓了由产业集聚带来的畜牧业碳排放的增长效应。

表9 政府干预、产业集聚与畜牧业碳排放的回归结果

Table 9 Regression results of government intervention, industrial agglomeration and carbon emissions from animal husbandry

变量 Variable	模型 IV Model IV		模型 V Model V		模型 VI Model VI	
	系数 Coefficient	T值 T value	系数 Coefficient	T值 T value	系数 Coefficient	T值 T value
LIA	644.487***	5.82	593.646***	5.35	612.094***	5.43
ER×LIA	−36.051*	−1.94	—	—	−10.085*	−1.8
FIA×LIA	—	—	507.512*	1.89	506.750*	1.89
其他变量 Other variable	控制变量		控制变量		控制变量	
R ²	0.361		0.351		0.345	

财政支农投入与产业集聚的交互项系数也通过了显著性检验,并且为正值,说明产业集聚水平对畜牧业碳排放的边际效应随财政支农投入的增加而增加。其原因可能是,财政支农投入的增加会提高道德风险,一些畜牧业相关生产主体可能会滋

生“骗补”行为继而盲目扩张,财政支农资金的低效使用导致畜牧业在低水平上集聚,无法实现产业集聚的减排效果;同时,由于财政支出的增加会强化养殖主体“坐享其成”的心理,从而缺乏减排的内生动力。

5 结论与政策建议

本研究基于2007—2021年31省(市、自治区)的面板数据,利用国家发改委2011年发布《省级温室气体清单编制指南(试行)》给出的碳排放因子,测算了中国畜牧业碳排放现状,并结合核密度估计方法揭示了其动态演进趋势,最后利用空间滞后模型讨论了产业集聚对畜牧业碳排放的直接影响和间接影响。主要结论如下:

1)全国畜牧业碳排放呈缩减趋势,各省畜牧业碳排放差异显著,整体呈“西高东低”的分布格局。2007—2021年全国畜牧业碳排放总量由2007年的31 840.19万t降至31 713.96万t。

2)产业集聚水平和畜牧业碳排放均具有明显空间相关性,并且两者之间呈倒“U”型的关系,产业集聚最终会抑制畜牧业碳排放的增加,环境规制水平和科技人员密度对畜牧业碳排放也表现出了抑制作用,农民收入水平和财政支农投入加剧了畜牧业碳排放。

3)产业集聚水平一次项和二次项具有明显的直接效应和空间溢出效应。产业集聚水平每提高1%,本地畜牧业碳排放将会增长635.61%,而邻地降低344.80%,拐点之后,产业集聚水平每提高1%,本地畜牧业碳排放降低111.55%,邻地增加60.43%。环境规制水平和科技人员密度对周围地区产生正向溢出效应,而农民收入水平和财政支农投入却反之。

4)政府干预对产业集聚的减排效应有显著影响,产业集聚水平对畜牧业碳排放的边际效应随环境规制水平的提升而降低;产业集聚水平对畜牧业碳排放的边际效应随财政支农投入的增加而增加。

基于上述研究结论,提出以下政策建议:第一,产业集聚短期内引致的“集中排放”,是造成产业集聚区污染加剧的主要原因。对此,各地区要严把畜牧养殖主体的准入条件,各个地区要根据自身资源环境、土地承载力和畜牧养殖基础设施等条件,制定畜牧养殖主体及上下游相关产业的转入门槛,从“源头”上治理产业集聚区的碳排放问题;各级政府要予以重视,在获取产业集聚“红利”的同时,要注意到与之相伴的环境污染问题,要注重产业集聚的内在质量。第二,加强财政支农资金的监管,充分发挥产业集聚的技术溢出和规模经济效应。尽管

财政支农投入会加剧畜牧业碳排放,但是财政支农投入可通过促进经济发展、完善基础设施、激活畜牧科技创新能力等方式加快产业集聚与畜牧业碳排放关系拐点的到来,从而实现技术溢出和经验溢出带来的减排效应。第三,适度增加环境规制力度,环境规制会激发“创新补偿效应”,提升集聚区的技术创新内生动力,然后辅之政策力量引导养殖主体采用先进的饲喂技术和粪污处理技术,改变畜禽碳排放因子,让畜牧产业在更高水平上集聚。第四,完善区域间的经验帮扶与互助交流机制,实现区域间的合作共赢。产业集聚会引起区域间人力、物力和财力的转移和争夺,再加上“污染天堂效应”的存在,容易造成集聚区和非集聚区的两极分化,为此,要打破技术溢出壁垒,促进区域间育种、饲喂等养殖技术的协同创新和成果共享,实现区域协同减排效果。

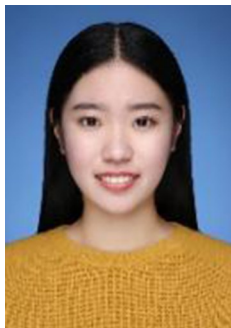
参考文献 References

- [1] 周力. 产业集聚、环境规制与畜禽养殖半污染源污染[J]. 中国农村经济, 2011(2): 60-73
Zhou L. Industrial agglomeration, environmental regulation and source pollution of livestock and poultry breeding[J]. *Chinese Rural Economy*, 2011(2): 60-73 (in Chinese)
- [2] 李健,王庆山,张吉辉. 区域产业集群碳排放弹性分析与路径研究[J]. 软科学, 2012, 26(7): 70-74
Li J, Wang Q S, Zhang J H. Analysis and path research on carbon emission elasticity of regional industrial clusters[J]. *Soft Science*, 2012, 26(7): 70-74 (in Chinese)
- [3] 王海星,周耀东. 产业集聚与城市工业碳排放:来自经开区的证据[J]. 软科学, 2023, 37(9): 102-108, 130
Wang H X, Zhou Y D. Industrial agglomeration and urban industrial carbon emissions: Evidence from economic development zones[J]. *Soft Science*, 2023, 37(9): 102-108, 130 (in Chinese)
- [4] 丁斐,庄贵阳,刘东. 环境规制、工业集聚与城市碳排放强度:基于全国282个地级市面板数据的实证分析[J]. 中国地质大学学报:社会科学版, 2020, 20(3): 90-104
Ding F, Zhuang G Y, Liu D. Environmental regulation, industrial agglomeration, and urban carbon emission intensity: An empirical analysis based on panel data from 282 prefectural cities in China[J]. *Journal of China University of Geosciences: Social Science Edition*, 2020, 20(3): 90-104 (in Chinese)
- [5] 刘习平,盛三化,王珂英. 经济空间集聚能提高碳生产率吗[J]. 经济评论, 2017(6): 107-121
Liu X P, Sheng S H, Wang K Y. Can agglomeration of economic space improve carbon productivity[J]. *Economic Review*, 2017(6): 107-121 (in Chinese)
- [6] 王桂新,武俊奎. 产业集聚、城市规模与碳排放[J]. 工业技术经济, 2012, 31(6): 68-80
Wang G X, Wu J K. Industrial agglomeration, urban scale, and carbon

- emissions[J]. *Industrial Technology and Economics*, 2012, 31(6): 68-80 (in Chinese)
- [7] 任晓松, 刘宇佳, 赵国浩. 经济集聚对碳排放强度的影响及传导机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(4): 95-106
- Ren X S, Liu Y J, Zhao G H. The impact and transmission mechanism of economic agglomeration on carbon emission intensity [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2020, 30 (4): 95-106 (in Chinese)
- [8] 刘耀彬, 袁华锡, 封亦代. 产业集聚减排效应的空间溢出与门槛特征[J]. 数理统计与管理, 2018, 37(2): 224-234
- Liu Y B, Yuan H X, Feng Y D. Spatial spillover and threshold characteristics of industrial agglomeration emission reduction effects [J]. *Mathematical Statistics and Management*, 2018, 37 (2): 224-234 (in Chinese)
- [9] 邵帅, 张可, 豆建民. 经济集聚的节能减排效应: 理论与中国经验[J]. 管理世界, 2019, 35(1): 36-60, 226
- Shao S, Zhang K, Dou J M. Energy saving and emission reduction effects of economic agglomeration: Theory and Chinese experience [J]. *Management World*, 2019, 35(1): 36-60, 226 (in Chinese)
- [10] 毛小明, 钟诚. 产业集聚对于中国省域碳排放的影响及空间效应分析[J]. 南昌大学学报: 人文社会科学版, 2022, 53(2): 56-65
- Mao X M, Zhong C. Analysis of the impact and spatial effects of industrial agglomeration on regional carbon emissions in China [J]. *Journal of Nanchang University: Humanities and Social Sciences Edition*, 2022, 53(2): 56-65 (in Chinese)
- [11] 师帅, 李翠霞, 李媚婷. 畜牧业“碳排放”到“碳足迹”核算方法的研究进展[J]. 中国人口资源与环境, 2017, 27(6): 36-41
- Shi S, Li C X, Li M T. Research progress of accounting methods from ‘carbon emission’ to ‘carbon footprint’ in animal husbandry [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2017, 27 (6): 36-41 (in Chinese)
- [12] 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 greenhouse gas emissions from livestock and poultry in China [J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2010, 26(10): 247-252 (in Chinese)
- [13] 孟祥海, 程国强, 张俊彪, 王宇波, 周海川. 中国畜牧业全生命周期温室气体排放时空特征分析[J]. 中国环境科学, 2014, 34(8): 2167-2176
- Meng X H, Cheng G Q, Zhang J B, Wang Y B, Zhou H C. Temporal and spatial characteristics of greenhouse gas emissions during the whole life cycle of animal husbandry in China [J]. *China Environmental Science*, 2014, 34(8): 2167-2176 (in Chinese)
- [14] 郭娇, 齐德生, 张妮娅, 孙铝辉, 胡荣桂. 中国畜牧业温室气体排放现状及峰值预测[J]. 农业环境科学学报, 2017, 36(10): 2106-2113
- Guo J, Qi D S, Zhang N Y, Sun L H, Hu G R. Current situation and peak prediction of greenhouse gas emissions from animal husbandry in China [J]. *Journal of Agro-Environmental Science*, 2017, 36(10): 2106-2113 (in Chinese)
- [15] 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(2): 17-29
- Li T Y, Xiong H, Wang M L. How to develop China's dairy industry under the goal of ‘double carbon’: Research on carbon emission of dairy industry from the perspective of the whole industry chain [J]. *Issues of Agricultural Economy*, 2022(2): 17-29 (in Chinese)
- [16] 陈瑶, 尚杰. 中国畜牧业脱钩分析及影响因素研究[J]. 中国人口资源与环境, 2014, 24(3): 101-107
- Chen Y, Shang J. Analysis and influencing factors of animal husbandry decoupling in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2014, 24(3): 101-107 (in Chinese)
- [17] 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, Liang L W. Measurement and spatiotemporal evolution mechanism of carbon emissions from provincial animal husbandry in China [J]. *Resources Science*, 2017, 39(4): 698-712 (in Chinese)
- [18] Sakamoto L S, Berndt A, Pedrosa A D, Lemes A P, Azenha M V, Alves T C, Rodrigues P H M, Corte R R, Leme P R, Oliveira P P A. Pasture intensification in beef cattle production can affect methane emission intensity [J]. *Journal of Animal Science*, 2020, 98(10): 309
- [19] 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: 135-136
- [20] 王欢, 乔娟. 中国畜牧业温室气体排放的脱钩与预测分析[J]. 中国生态农业学报: 中英文, 2019, 27(5): 793-802
- Wang H, Qiao J. Decoupling and prediction of greenhouse gas emissions from animal husbandry in China [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2019, 27(5): 793-802 (in Chinese)
- [21] 苏旭峰, 杨小东, 冉启英. 基于碳排放视角的中国畜牧业绿色增长分析[J]. 生态经济, 2022, 38(4): 101-107
- Su X F, Yang X D, Ran Q Y. Analysis of green growth of animal husbandry in China based on carbon emission [J]. *Ecological Economy*, 2022, 38(4): 101-107 (in Chinese)
- [22] 胡中应, 胡浩. 产业集聚对我国农业碳排放的影响[J]. 山东社会科学, 2016(6): 135-139
- Hu Z Y, Hu H. Impacts of industrial agglomeration on agricultural carbon emissions in China [J]. *Shandong Social Sciences*, 2016(6): 135-139 (in Chinese)
- [23] 程琳琳, 张俊彪, 何可. 农业产业集聚对碳效率的影响研究: 机理、空间效应与分群差异[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(9): 218-230
- Cheng L L, Zhang J B, He K. Effects of agricultural agglomeration on carbon efficiency: Mechanism, spatial effects and cluster differences [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23 (9): 218-230 (in Chinese)
- [24] 张哲断, 穆月英. 产业集聚能提高农业碳生产率吗[J]. 中国人口资源与环境, 2019, 29(7): 57-65
- Zhang Z X, Mu Y Y. Can industrial agglomeration improve agricultural carbon productivity [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(7): 57-65 (in Chinese)
- [25] 田云, 尹志昊. 中国农业碳排放再测算: 基本现状、动态演进及空间溢出效应[J]. 中国农村经济, 2022(3): 104-127
- Tian Y, Yin M H. Recalculation of agricultural carbon emissions in China: Basic status, dynamic evolution and spatial spillover effect [J]. *China Rural Economy*, 2022(3): 104-127 (in Chinese)
- [26] 田云, 尹志昊. 产业集聚对中国农业净碳效应的影响研究[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2021(3): 107-117, 188
- Tian Y, Yin M H. Study on the effect of industrial agglomeration on the net carbon effect of agriculture in China [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2021(3): 107-117, 188 (in Chinese)
- [27] 张园园, 吴强, 孙世民. 生猪养殖规模化程度的影响因素及其空间效应: 基于13个生猪养殖优势省份的研究[J]. 中国农村经济, 2019(1): 62-78

- Zhang Y Y, Wu Q, Sun S M. Influencing Factors and Spatial effects of pig breeding scale: A study based on 13 provinces with advantages in pig breeding[J]. *Chinese Rural Economy*, 2019(1): 62-78 (in Chinese)
- [28] 陈建军, 胡晨光. 产业集聚的集聚效应: 以长江三角洲次区域为例的理论和实证分析[J]. *管理世界*, 2008(6): 68-83
- Chen J J, Hu C G. Agglomeration effect of industrial agglomeration: Theoretical and empirical analysis of the Yangtze River Delta sub region as an example[J]. *Management World*, 2008(6): 68-83 (in Chinese)
- [29] Quah D. Galton's fallacy and tests of the convergence hypothesis[J]. *The Scandinavian Journal of Economics*, 1993(4): 427-443
- [30] 杨仁发. 产业集聚能否改善中国环境污染[J]. *中国人口资源与环境*, 2015, 25(2): 23-29
- Yang R F. Whether industrial agglomeration can improve environmental pollution in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(2): 23-29 (in Chinese)
- [31] 农业农村部畜牧兽医司, 全国畜牧总站. 中国畜牧兽医年鉴, 2008—2022 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2008—2022
- Department of Animal Husbandry and Veterinary, Ministry of Agriculture and Rural Areas, National Animal Husbandry Station. *Chinese Animal Husbandry and Veterinary Yearbook*, 2008—2022 [M]. Beijing: China Agriculture Press, 2008-2022
- [32] 国家统计局. 中国统计年鉴, 2008—2022 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008—2022
- National Bureau of Statistics. *China Statistical Yearbook*, 2008-2022 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2008-2022
- [33] 国家财政部. 中国财政年鉴, 2008—2022 [M]. 北京: 中国财政杂志社, 2008—2022
- Ministry of Finance, People's Republic of China. *China Fiscal Yearbook*, 2008—2022 [M]. Beijing: China Finance Magazine, 2008-2022
- [34] 国家统计局, 生态环境部. 中国环境统计年鉴, 2008—2022 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008—2022
- National Bureau of Statistics, Ministry of Ecology and Environment. *China Environmental Statistics Yearbook*, 2008—2022 [M]. Beijing: China Statistical Publishing House, 2008-2022
- [35] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴, 2008—2022 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2008—2022
- Department of Rural Socio-Economic Survey, National Bureau of Statistics. *China Rural Statistical Yearbook*, 2008—2022 [M]. Beijing: China Statistics Press, 2008-2022
- [36] 中国农业机械工业协会, 机械工业信息研究所. 中国农业机械工业年鉴, 2008—2022 [M]. 北京: 机械工业出版社, 2008—2022
- China Agricultural Machinery Industry Association, Machinery Industry Information Research Institute. *China Agricultural Machinery Industry Yearbook*, 2008-2022 [M]. Beijing: China Machine Press, 2008-2022
- [37] 罗东, 矫健. 国家财政支农资金对农民收入影响实证研究[J]. *农业经济问题*, 2014, 35(12): 48-53
- Luo D, Jiao J. Empirical study on the impact of national financial support funds on farmers' income[J]. *Issues in Agricultural Economics*, 2014, 35(12): 48-53 (in Chinese)
- [38] Lesage J, Pace R K. *Introduction to Spatial Econometrics* [M]. Boca Raton: Chapman and Hall/CRC Press, 2009

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 杜凤君, 山东农业大学经济管理学院(商学院)农林经济管理专业博士研究生, 专业方向: 农业经济理论与政策。曾获得山东农业大学2024年一等学业奖学金、东海药业奖学金、研究生推免奖学金、优秀研究生志愿者等荣誉称号。参与国家社会科学基金项目研究1项, 省自科规划、教育部人文社科规划项目研究4项。先后在《农村经济》《世界农业》《中国生态农业学报(中英文)》《华侨大学学报(哲学社会科学版)》等刊物发表学术论文4篇。



通讯作者简介: 郑军, 山东农业大学教授, 博士生导师, 山东省现代农业产业技术体系薯类产业经济岗位专家。主要从事农业经济理论与政策、农产品供应链与质量安全等方面的研究。现任中国区域农产品品牌专家指导委员会委员, 山东省市场学会副会长, 中国商品学会理事。近年来, 主持国家社科基金、教育部人文社科规划基金等省部级以上项目8项, 获山东省社科优秀成果三等奖2项, 发表学术论文60余篇, 出版专著或教材5部, 获省委书记或副省长等批示2项。