

引用格式:

胡池群, 马晓钰, 刘家民. 城乡融合对农业碳排放强度的影响研究 [J]. 农业现代化研究, 2023, 44(4): 668-679.

Hu C Q, Ma X Y, Liu J M. Research on the impact of urban-rural integration on the carbon emission intensity of agriculture [J].

Research of Agricultural Modernization, 2023, 44(4): 668-679.

DOI: 10.13872/j.1000-0275.2023.0071



## 城乡融合对农业碳排放强度的影响研究

胡池群<sup>1</sup>, 马晓钰<sup>1,2\*</sup>, 刘家民<sup>1</sup>

(1. 新疆大学经济与管理学院, 新疆 乌鲁木齐 830046; 2. 新疆大学新疆创新管理研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830046)

**摘要:** 发挥城乡融合对农业碳排放强度的抑制作用, 对促进农村绿色低碳转型以及助力农业农村现代化具有重要的现实意义。本文基于城乡融合发展理论, 利用 2005—2020 年 30 个省(市、区)面板数据, 采用经典面板模型分析城乡融合对农业碳排放强度的影响, 并探讨了其作用机制和异质性。结果表明, 全国和三大区域(东、中、西部地区)的城乡融合发展水平呈持续上升趋势, 而农业碳排放强度则呈显著下降趋势, 两者之间的波动趋势呈相反态势。城乡融合对农业碳排放强度具有显著的负向影响。基于地理区位和粮食生产地区分析, 城乡融合对东部地区和粮食主产区的农业碳排放强度抑制作用更为明显; 城乡融合通过提高农业技术进步和农业规模化经营来抑制农业碳排放强度。为此, 积极推动精准的城乡融合政策, 加强农业技术进步和农业规模化经营, 重视城乡融合减排效应的差异性, 是实现降低农业碳排放强度的关键方向。

**关键词:** 城乡融合; 农业碳排放强度; 农业技术进步; 农业规模化经营; 粮食主产区

中图分类号: F323.3

文献标识码: A

文章编号: 1000-0275 (2023) 04-0668-12

### Research on the impact of urban-rural integration on the carbon emission intensity of agriculture

HU Chi-qun<sup>1</sup>, MA Xiao-yu<sup>1,2</sup>, LIU Jia-min<sup>1</sup>

(1. School of Economics and Management, Xinjiang University, Urumqi, Xinjiang 830046, China;

2. Center for Innovation Management Research of Xinjiang, Urumqi, Xinjiang 830046, China)

**Abstract:** Leveraging the role of urban-rural integration in curbing agricultural carbon emissions intensity holds significant practical value for promoting low-carbon transitions in rural areas and advancing agricultural and rural modernization. Grounded in the theory of urban-rural integration development, this study employs a classical panel model to examine the impact of urban-rural integration on agricultural carbon emissions intensity. Using panel data spanning 2005 to 2020 from 30 provinces (cities, districts), the study delves into the mechanisms and heterogeneity of this relationship. Results reveal an ongoing upward trajectory in national and regional (eastern, central, and western) urban-rural integration development, juxtaposed with a notable decline in agricultural emissions intensity—opposite fluctuation trends. Urban-rural integration significantly dampens the intensity of agricultural carbon emissions. Further analyses spotlight a pronounced suppression of emissions intensity in the eastern region and major grain-producing areas due to urban-rural integration. Moreover, the urban-rural integration achieves this by bolstering agricultural technology advancement and scaling operations. To this end, proactive promotion of targeted urban-rural integration policies, reinforcement of agricultural technology progress and scaled operations, and recognition of emission reduction divergence are pivotal for curbing agricultural carbon emissions intensity.

**Key words:** urban-rural integration; agricultural carbon emissions intensity; agricultural technological progress; scaled agricultural operations; main grain-producing areas

城乡融合是建设农业强国和实现中国式现代化的必由之路<sup>[1]</sup>。党的二十大报告明确提出“坚持农业农村优先发展, 坚持城乡融合发展, 畅通城乡要素流动”。随着我国经济社会的不断发展, 城市与

农村之间的联系和互动日益密切, 城乡差距逐渐减小。然而, 农业化学品的使用和土地过度开发等问题导致了农业农村环境问题日益凸显, 这已成为制约我国城乡建设高质量发展的重要原因。据统计数

基金项目: 国家社会科学基金项目(21XJK007)。

作者简介: 胡池群(1986—), 女, 湖南常德人, 博士研究生, 主要从事资源与环境经济学研究, E-mail: huchiqun888@stu.xju.edu.cn; 通信作者:

马晓钰(1978—), 女, 新疆乌鲁木齐人, 博士, 博士生导师, 主要从事人口、资源与可持续发展研究, E-mail: maxiaoyu@xju.edu.cn。

收稿日期: 2023-07-07; 接受日期: 2023-09-11

Foundation item: National Social Science Foundation of China (21XJK007).

Corresponding author: MA Xiao-yu, E-mail: maxiaoyu@xju.edu.cn.

Received 7 July, 2023; Accepted 11 September, 2023

据,全球温室气体排放总量的约25%来自农业和土地使用变化<sup>[2]</sup>。农业既是重要的碳排放来源,也具备巨大的碳吸收潜力<sup>[3]</sup>。因此,农业在保障粮食安全的同时为应对气候变化和实现低碳经济发展做出贡献。在“双碳”背景下,我国针对农业碳排放问题已经采取了一系列固碳减排措施。这些措施包括推广高效耕作和养殖技术、合理利用农田氮肥、发展循环农业和有机农业等。“十四五”全国农业绿色发展规划中,更明确提出了增强减排固碳能力和改善农业生态系统的具体要求。在中国式现代化进程中,城乡融合与农业固碳减排是推动农村现代化的关键目标。如何协调城乡发展与农业低碳转型,以及两者之间的作用关系和机制,尤其是地区差异性,需进一步明确。

已有文献为城乡融合和农业碳排放提供了丰富的研究基础。首先,关于城乡融合的研究。城乡融合的形成和发展经历了“统筹城乡发展→城乡发展一体化→城乡融合发展”的演进过程<sup>[4]</sup>。在内涵上,强调城乡联系与融合,将城乡视为一个有同等地位的有机整体<sup>[5]</sup>。在实践路径上,从健全城乡融合发展体制机制、推进户籍和土地制度改革等多个角度探讨了推进城乡融合发展的实践路径<sup>[6-7]</sup>。另外,有研究基于人口、经济、社会 and 空间等维度构建多指标体系,以衡量城乡融合的发展水平<sup>[8]</sup>。为进一步探究城乡融合发展水平的地区差异,部分研究采用Kernel密度估计、泰尔指数、Dagum基尼系数等方法探讨了其时空分布及收敛性<sup>[9-10]</sup>,为准确把握城乡融合的发展现状提供了重要依据和实践遵循。然而现有研究大多基于单一维度或多维度中的两个或三个展开讨论,并在此基础上构建城乡融合指标体系,但忽略了城乡融合的生态维度,导致城乡融合指标体系构建尚不科学。其次,关于农业碳排放的研究。长期以来,节能减排主要关注工业碳排放,而对农业节能减排的关注度相对较低。尽管我国农业碳排放量有所下降,但绝对值仍然较高<sup>[11]</sup>。目前已有学者对我国农业碳排放的指标和核算体系开展了深入研究<sup>[12]</sup>,并在此基础上对农业碳排放的现状及其演变规律进行了深入分析<sup>[13]</sup>。学者还发现,农业碳排放受到农业经济发展、农产品贸易和技术发展等因素的共同影响<sup>[14-16]</sup>。然而,以上研究侧重于核算农业碳排放和分析其影响因素,却忽略了其动态变化趋势。同时,也没有考虑到城乡融合这一重要实践对农业碳排放的影响,这降低了研究的现实意义。最后,关于城乡融合对碳排放的影响研究。已有研究多侧重于城市地区在碳排放约束下城乡融

合发展效率,如施建刚等<sup>[17]</sup>在考虑碳排放非期望产出的情况下,验证了长三角地区27个中心城市城乡融合发展效率及其动态演进特征。但也有少数学者分析了城乡融合对农业碳排放效率的影响,并认为城乡融合发展对农业碳排放效率具有显著的负向影响<sup>[18]</sup>。然而,现有研究尚未充分探究城乡融合对农业碳排放强度的影响、异质性及其内在作用机理,难以为城乡融合过程中农业碳排放强度问题的解决提供有效指导。

鉴于此,本文以城乡融合发展理论为基础,利用30个省(市、区)2005—2020年面板数据,从经济、人口、社会、空间以及生态五个方面构建城乡融合指标体系,运用熵值法评估各指标权重,采用经典面板模型研究城乡融合对农业碳排放强度的影响和作用机制。此外,还将探讨不同地理区位和粮食生产功能下,城乡融合对农业碳排放强度的异质性影响。本研究旨在激活我国城乡融合发展的新潜能,推进农业农村的绿色低碳转型,并为相关政策制定提供借鉴。

## 1 理论分析

### 1.1 城乡融合对农业碳排放强度的影响

城乡融合主要通过三个方面影响农业碳排放强度:首先,城乡融合有利于实现城乡资源要素的流动和互联互通。城乡之间的资源要素流动为乡村振兴提供新活力,也为乡村经济转型提供动力,因此成为影响农业碳排放强度的关键因素<sup>[18]</sup>。同时,城乡融合推进基础设施互联互通和基本公共服务体系一体化,从而形成节约资源和绿色低碳的空间格局。其次,城乡融合可以促进农村能源结构的转变。在“双碳”背景下,农村开始转向发展清洁能源产业,如太阳能和风能等新能源的应用。2022年农业农村部、国家发展改革委印发了《农业农村减排固碳实施方案》,为农业农村的减污降碳和能源结构转型提供了政策保障。最后,绿色低碳是城乡融合发展的重要环节。随着城乡生态融合的不断深化,农村地区朝着绿色低碳方向发展的势头不断增强。为了实现城乡融合的环境效应,通过探索多种有效的发展路径,以促进农业农村实现绿色低碳化。综上,本文认为城乡融合对农业碳排放强度具有抑制作用。

### 1.2 城乡融合、农业技术进步对农业碳排放强度的影响

城乡融合推动农业产业升级及技术进步,主要表现在三个方面:首先,优化要素配置。城乡融合导致农村劳动力向城市流动,促进了土地等生产要

素有序流转和整合,实现了生产要素优化配置。通过优化城乡资源要素配置,提升农业技术创新,引领化肥和农药减量增效以及污染监管治理<sup>[19]</sup>。第二,提升农业科技创新能力。城市地区拥有较多的科研院所和创新平台等资源,城乡融合发展促进了农业科技进步与城市科技的融合与创新。农业通过获取城市科技来提升自身的科技创新能力,推动农业技术创新和先进设备引入,从而提高劳动生产率<sup>[20-21]</sup>。同时,引入精准施肥等新技术,减少化学品过度使用,从而降低农业碳排放强度。第三,推动农村产业链的升级和优化。城乡融合带来了先进的科技和专业化的农业产业链,提供了更高质量和更高效的农业服务,推动了农民对高品质和环保农产品的不断增长需求,并推动了农业生产的低碳转型。研究表明,通过提升产业结构,降低单位能源消耗的碳排放,推动农业节能发展,从而降低农业碳排放强度<sup>[22]</sup>。综上所述,本文认为城乡融合通过提高农业技术进步来降低农业碳排放强度。

### 1.3 城乡融合、农业规模化经营对农业碳排放强度的影响

城乡融合对农业规模化经营的作用,主要表现在三个方面:首先,内在规模效应。由于城乡二元结构和土地制度的限制,农业经营长期以来存在碎片化问题,农田集约化管理十分困难。规模化和专业化的农业发展有效地解决农业和农村劳动力投入不足的问题,特别有助于促进农村一二三产业的融合发展<sup>[23]</sup>。其次,外在规模效应。随着城乡融合不断深化和市场开放度的提高,城乡之间的资源整合和互补性发展为农业规模化经营创造了现实条件。农业活动逐渐从传统的农村地区扩散到城市周边,从而实现农业规模化经营。第三,生产成本效应。城乡融合可以促进农业投入要素的资本革新和改变集聚方式,优化农业经营模式和生产要素投入结构的优化,提高农业的环保效率<sup>[24]</sup>。农业规模化经营有利于维持农业生态环境的稳定,提高农产品的获取效率,降低成本,减少能源消耗和农业碳排放<sup>[25]</sup>。综上,本文认为城乡融合通过提高农业规模化经营

来降低农业碳排放强度。

## 2 研究方法

### 2.1 数据来源

考虑到数据可得性和连续性,本文选取 2005—2020 年 30 个省(市、区)的面板数据进行实证研究,由于西藏、港澳台的数据存在缺失,未将其纳入研究样本。农业碳排放测算数据、城乡融合指标数据、控制变量以及作用机制变量均来源于《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》、Wind 数据库和中国研究数据服务平台。农业生产总值以 2005 年为基期进行平减处理,部分缺失数据采用移动平均法填补。

### 2.2 变量选择

1) 被解释变量。本文被解释变量为农业碳排放强度,用以衡量省(市、区)农业碳排放水平。在计算农业碳排放强度之前,需要先测度农业碳排放量,本文主要以狭义农业(种植业)为研究对象。参考前人的研究基础<sup>[26-27]</sup>,从农用化肥、农药、农膜、农用柴油、翻耕和灌溉六个方面对农业碳排放量进行估算。农业碳排放估算公式:

$$E = \sum_{i=1}^n E_i = \sum_{i=1}^n T_i \times K_i \quad (1)$$

式中: $E$ 为农业碳排放总量(kg), $E_i$ 表示第*i*类农业碳源产生的农业碳排放量(kg), $K_i$ 为第*i*类碳源数据总量(kg), $T_i$ 为第*i*类碳源对应的排放转化系数(表1),参考谢会强和吴晓迪<sup>[18]</sup>,段华平等<sup>[28]</sup>,夏四友等<sup>[29]</sup>的研究成果进行确定。

农业碳排放强度由农业碳排放总量与农业实际生产总值的比值表示,计算公式为:

$$AC = E/AG \quad (2)$$

式中:AC为农业碳排放强度(kg/万元), $E$ 为农业碳排放总量(kg),AG为农业实际生产总值(万元)。

2) 核心解释变量。本文的核心解释变量为城乡融合。城乡融合是一个受多种因素影响的复杂系统。

表 1 农业碳排放碳源、系数及参考来源

Table 1 Carbon sources, coefficients and reference sources of agricultural carbon emissions

碳源	碳排放系数	数据参考来源
化肥	0.896 kg/kg	谢会强和吴晓迪 <sup>[18]</sup> ;田云等 <sup>[26]</sup> ;夏四友等 <sup>[29]</sup>
农药	4.934 kg/kg	谢会强和吴晓迪 <sup>[18]</sup> ;田云等 <sup>[26]</sup> ;夏四友等 <sup>[29]</sup>
农膜	5.180 kg/kg	谢会强和吴晓迪 <sup>[18]</sup> ;田云等 <sup>[26]</sup> ;夏四友等 <sup>[29]</sup>
柴油	0.593 kg/kg	田云等 <sup>[26]</sup> ;夏四友等 <sup>[29]</sup>
翻耕	312.600 kg/km <sup>2</sup>	谢会强和吴晓迪 <sup>[18]</sup> ;田云等 <sup>[26]</sup>
农业灌溉	266.480 kg/hm <sup>2</sup>	谢会强和吴晓迪 <sup>[18]</sup> ;段华平等 <sup>[28]</sup> ;夏四友等 <sup>[29]</sup>



基于我国国情，并综合考虑指标数据的客观性、科学性 and 可获得性。借鉴已有研究<sup>[18,30]</sup>，从经济融合、人口融合、社会融合、空间融合和生态融合五个维度构建了由 20 个具体指标组成的评价体系（表 2）。

表 2 城乡融合指标体系  
Table 2 Indicator system of urban-rural integration development evaluation

子系统	指标层	指标描述（单位）	指标属性
经济融合	城乡居民人均收入比（%）	城镇居民人均可支配收入与农村居民人均可支配收入之比	负
	城乡居民家庭人均消费比（%）	城镇居民人均消费水平与农村居民人均消费水平之比	负
	城乡恩格尔系数比（%）	城市恩格尔系数与农村恩格尔系数之比	正
	城乡产业结构（%）	农业部门与非农部门劳动生产率之比	正
人口融合	非农与农业从业比重（%）	第二、三产业从业人数与第一产业从业人数之比	正
	城乡人口密度比（%）	城镇人口密度与农村人口密度之比	负
	人口城镇化水平（%）	城镇人口与总人口之比	正
	城乡教育资源（%）	普通高等学校在校学生数与区域常住人口之比	正
社会融合	城乡文教娱乐对比系数（%）	城镇居民人均文教娱乐服务支出与农村居民人均文教娱乐服务支出之比	负
	城乡医疗保健对比系数（%）	城镇居民家庭平均每人全年医疗保健支出与农村居民家庭平均每人全年医疗保健支出之比	负
	城乡居民失业保险覆盖率（%）	城乡居民失业保险参保人数与区域常住人口之比（%）	正
	城乡交通通讯对比系数（%）	城镇居民人均交通通讯支出与农村居民人均交通通讯支出之比	负
空间融合	城市空间扩张（%）	农作物总播种面积与建成区面积之比	正
	交通网密度（km/km <sup>2</sup> ）	铁路营业里程和公路里程之和与土地总面积之比	正
	城乡居民私人拥有汽车量（辆/人）	城乡居民私人汽车拥有量	正
	土地城镇化水平（%）	建成区面积与土地总面积之比	正
生态融合	城乡绿化水平（%）	建成区绿化覆盖率	正
	城乡生活垃圾处理（%）	生活垃圾无害化处理率	正
	城乡节能减排（万 t 标准煤/亿元）	能源消费总量与 GDP 之比	负
	城乡森林面积覆盖率（%）	森林面积与土地总面积之比	正

在综合指标体系中，各指标权重的确定至关重要。借鉴现有研究<sup>[31]</sup>，采用熵值法对各指标权重进行计算，以避免因主观因素权重判断而导致的偏差。在进行熵值法计算之前，采用极差标准化方法进行无量纲处理。然后，运用线性加权的方法计算城乡融合发展水平。具体计算公式为：

$$S = \sum_{j=1}^n W_j \times X_{ij} \quad (3)$$

式中： $n$  表示指标数量；下标  $ij$  表示第  $i$  个省（市、区）的第  $j$  个指标， $X_{ij}$  表示标准化处理后的数值； $W_j$  为各子系统中各指标的权重； $S$  为城乡融合发展水平， $S$  越大，表示城乡融合发展水平越高。

3) 作用机制变量。本研究采用农业技术进步和农业规模化经营为作用机制变量。在农业技术进步方面，借鉴陈帅等<sup>[32]</sup>的研究，使用劳动生产率作为度量指标，并选取粮食总产量与第一产业从业人数之比来表示。而在农业规模化经营方面，参考了马九杰等<sup>[33]</sup>的方法，选取农作物播种面积与第一产业从业人员的比值进行度量。

4) 控制变量。通过对已有文献梳理<sup>[15,19]</sup>，并综合考虑土地、技术等生产要素及财政支持、贸易

开放等外部环境对农业碳排放强度的影响，选取财政支农、农业成灾率、贸易开放、农业保险、环境规制和农村人力资本作为主要控制变量。具体变量定义见表 3。

### 2.3 模型设定

为考察城乡融合对农业碳排放强度的影响。本文参考王大超和赵红<sup>[8]</sup>、谢会强和吴晓迪<sup>[18]</sup>的方法，构建如下模型：

$$AC_{it} = \alpha + \beta IR_{it} + \lambda X_{it} + \mu_i + \gamma_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

式中： $i$ 、 $t$  分别表示样本所在省（市、区）和相应年份， $AC_{it}$  为被解释变量农业碳排放强度， $IR_{it}$  为解释变量城乡融合， $X$  为一系列控制变量。为消除数据的异方差，在实证分析过程中，对所有变量进行对数化处理。 $\alpha$ 、 $\beta$  和  $\lambda$  为模型待估系数， $\mu_i$ 、 $\gamma_t$  和  $\varepsilon_{it}$  分别表示省（市、区）固定效应（以下简称省份固定效应）、年份固定效应和其他扰动项。

## 3 结果与分析

### 3.1 城乡融合发展水平演进特征分析

从全国范围来看，2005 年至 2020 年间，城

表 3 变量选取及描述性统计  
Table 3 Variable selection and descriptive statistics

变量类型	变量名称	指标描述	均值	标准差
被解释变量	农业碳排放强度 (kg/万元)	农业碳排放总量与农业实际生产总值之比	371.492	92.702
解释变量	城乡融合	根据公式(3)测算得出	0.258	0.102
作用机制变量	农业技术进步 (t/人)	粮食总产量与第一产业从业人员之比	2.436	1.798
	农业规模化经营 (hm <sup>2</sup> /人)	农作物播种面积与第一产业从业人员之比	0.681	0.348
控制变量	财政支农 (%)	农林水事务财政支出与地方财政一般预算支出之比	10.565	3.403
	农业成灾率 (%)	农作物受灾面积与农作物总播种面积之比	19.911	14.629
	贸易开放 (%)	贸易进出口总额与国内生产总值之比	28.824	32.574
	农业保险 (×10 <sup>6</sup> 元)	农业保险保费收入	989.482	1 180.878
	环境规制 (%)	环境保护支出与地方财政一般预算支出之比	2.911	1.286
	农村人力资本 (%)	农村大专及以上学历人口与 6 岁以上总人口之比	3.019	2.286

乡融合发展水平年度均值从 0.183 上升至 0.346 (表 4), 总体呈现稳步上升态势, 年均增长率为 4.32%。这一变化趋势与党的十六大报告强调统筹城乡经济社会发展的重要性密切相关。该报告旨在破解城乡发展不协调的矛盾, 改变城乡二元结构, 构建新型工农和城乡关系。党的十九大报告更进一步明确了“建立健全城乡融合发展体制机制和政策体系”的目标, 允许要素在城乡之间自由流动, 推广先进的技术和农业管理模式, 加大对农业农村的投入, 从而持续提升城乡融合发展水平。通过农村基础设施建设、公共服务支持、农村产业发展和土地制度改革等政策支持, 为城乡融合提供了制度化的支持, 逐步奠定了城乡融合发展的基础, 逐渐减小了地区差异。在实践中, 我国的城乡统筹发展政策逐渐形成了理论依据, 且已基本形成统筹城乡发

展的制度框架。

分地区来看, 2005—2020 年东部、中部和西部地区城乡融合年度均值分别为 0.242~0.442、0.171~0.311 和 0.130~0.272 (表 4)。东部地区城乡融合发展水平最高, 且高于全国平均水平。其次是中部, 最低为西部, 中西部地区城乡融合发展水平均低于全国水平。此外, 中部和西部之间的差距呈逐渐缩小的趋势。就融合趋势而言, 东部、中部和西部地区城乡融合水平均呈上升态势, 年均增长率分别为 4.09%、4.07% 和 5.05%。尤其是西部地区的增速最快。这主要是因为城乡融合发展初期, 由于资源分配不均和基础设施建设落后, 西部经济发展水平相对较低, 导致城乡差距较大。然而, 凭借自身的优势和政策扶持, 西部地区的城乡融合发展空间较大, 从而促使其发展水平增速明显。

表 4 全国及三大地区年均城乡融合发展水平和农业碳排放强度

Table 4 The level of urban-rural integration development and agricultural carbon emissions intensity across the national and three major regions

年份	城乡融合发展水平				农业碳排放强度 (kg/万元)			
	全国	东部	中部	西部	全国	东部	中部	西部
2005	0.183	0.242	0.171	0.130	435.865	410.389	470.942	432.318
2006	0.195	0.259	0.184	0.135	427.350	397.069	459.251	431.950
2007	0.200	0.263	0.188	0.141	426.736	393.773	471.464	422.740
2008	0.208	0.274	0.195	0.149	417.409	379.585	459.512	421.124
2009	0.222	0.290	0.205	0.163	416.534	372.307	469.335	417.662
2010	0.230	0.303	0.210	0.168	411.826	367.218	465.541	412.552
2011	0.240	0.313	0.218	0.179	400.923	350.987	449.624	412.021
2012	0.249	0.324	0.226	0.188	392.721	339.622	444.297	404.711
2013	0.259	0.337	0.235	0.195	381.599	328.265	433.364	393.680
2014	0.271	0.348	0.248	0.206	371.016	317.618	423.363	382.642
2015	0.280	0.359	0.256	0.214	356.921	302.539	407.882	370.877
2016	0.291	0.374	0.266	0.223	341.930	292.889	390.815	351.878
2017	0.306	0.393	0.277	0.235	321.294	275.813	369.188	328.220
2018	0.318	0.413	0.285	0.245	299.489	256.611	348.619	302.438
2019	0.333	0.428	0.298	0.259	278.763	242.818	325.520	276.220
2020	0.346	0.442	0.311	0.272	263.492	229.127	310.975	258.558

进一步地,从分省(市、区)来看,以2020年为例,上海、北京和天津的城乡融合发展水平最高,分别为0.699、0.633和0.514。而青海、甘肃和新疆等西部省份的城乡融合发展相对滞后,分别为0.201、0.208和0.237(图1)。这表明东部和西部地区的城乡融合发展水平存在显著差异。这可能是因为东部沿海省份具有良好的经济基础和丰富的自然资源,为城乡融合发展奠定了良好基础,吸引了更多人口

和资金流入,更有效地促进城乡之间资源的优化配置。虽然西部地区的城乡融合发展水平增速明显,但由于该地区地域辽阔,交通和物流等基础设施相对滞后,限制了城乡融合发展。此外,西部地区的经济发展水平相对较低,产业结构单一,技术创新能力相对不足。但通过不断加强基础设施建设和经济发展,为西部地区提供更多的机遇和支持。因此,西部地区城乡融合发展空间仍然较大。

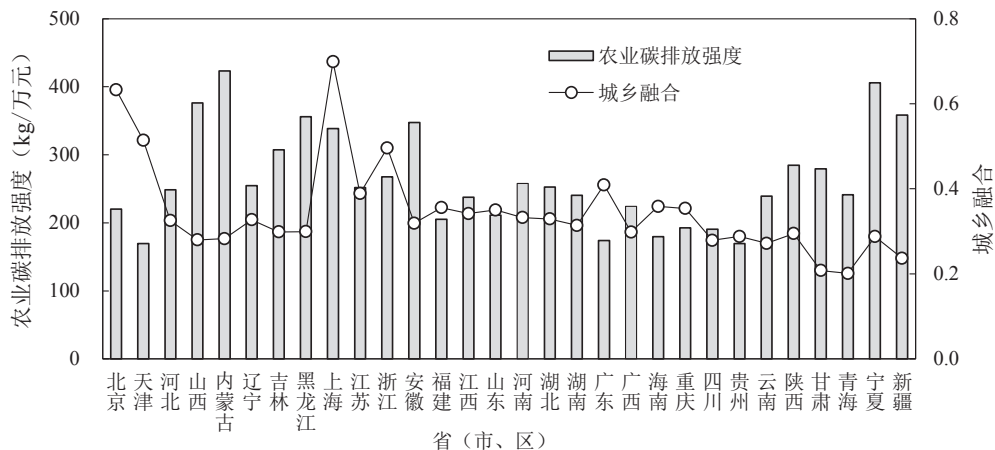


图1 2020年各省(市、区)农业碳排放强度和城乡融合分布情况

Fig. 1 Agricultural carbon emissions intensity and urban-rural integration and distribution by provinces (city, district) in 2020

### 3.2 农业碳排放强度演进特征分析

在全国范围内,2005—2020年农业碳排放强度年度均值,从2005年的435.865 kg/万元下降至2020年的263.492 kg/万元,农业碳排放强度年度均值降幅显著(表4)。尤其在2012—2020年间,农业碳排放强度下降速度相较之前有所增加。这种增加趋势的原因在于,我国高度重视生态环境保护,积极推进“生态文明建设”战略。随着城乡融合不断深化,城乡间资源共享和双向流动加速,资源得以更为合理地配置和优化利用。同时,政府还提出了一系列切实可行的环保政策,例如生态补偿机制和农村环境保护等,加强对农村环境的监管,推进农业绿色、生态和可持续发展,从而显著改善了农业和农村环境质量。

分地区来看,2005—2020年东部地区农业碳排放强度年度均值在410.389~229.127 kg/万元之间波动,中部地区在470.942~310.975 kg/万元之间波动,西部地区432.318~258.558 kg/万元之间波动(表4)。中部地区农业碳排放强度最高,西部次之,东部最低。这可能是因为中西部农业生产方式相对传统,农业技术化水平较低,在农业生产过程中大量使用农药、化肥等,导致农业碳排放量强度较高。从发展趋势上看,东部、中部和西部地区的农业碳排放

强度均呈下降趋势,年均下降率分别为3.81%、2.73%和3.37%。这主要是由于东部地区的农业生产方式逐渐向生态友好方向转型升级,农业经济向多元化发展,这些措施使得东部农业碳排放强度得到有效控制。而中部地区的农业结构相对较为单一,主要以粮食种植为主,这可能导致农业碳排放的优化空间有限,难以迅速降低农业碳排放强度。相比东部地区,西部地区在农业生产过程中可能没有及时掌握和应用新的农业科技和高效农业设备,导致农业碳排放的降低进展相对缓慢。

从分省级层面来看,以2020年为例,农业碳排放强度最高省份是内蒙古,达到423.222 kg/万元,最低是天津,仅为169.328 kg/万元(图1)。内蒙古作为粮食主产区,为保障粮食产出,大面积耕种需要使用农药和化肥等农业化学品。这些化学物质的使用过程中会产生大量农业碳排放。相反天津市依托现代化农业基础设施、环保型农业生产方式和严格的环境规制,使得其农业碳排放维持在较低水平。

综合来看,全国和三大地区城乡融合发展水平持续上升,与此同时,全国和三大地区农业碳排放强度均呈现显著下降的趋势。两者间变化趋势相反,这表明在不断推进城乡融合的背景下,通过积极推



广现代化生产技术, 可以促使农业生产方式向更为环保的方向转型, 逐渐减少农药和化肥使用。这将对农业碳排放强度产生负向影响, 进一步印证了提高城乡融合发展水平可以有效抑制农业碳排放强度的增长。

### 3.3 城乡融合对农业碳排放强度的影响分析

表 5 为城乡融合影响农业碳排放强度的基准回

归结果。其中, 模型 1 为不加控制变量仅控制双向固定效应, 模型 2 为加入控制变量并控制省份固定效应, 模型 3 同时加入控制变量和双向固定效应。从回归结果中可以得知, 城乡融合对农业碳排放强度的回归系数至少在 5% 的显著性水平下为负数, 这表明城乡融合能够显著降低农业碳排放强度。

表 5 城乡融合对农业碳强度影响的基准回归结果

Table 5 Estimation results of a baseline regression model for the impact of integrated urban-rural on the carbon emissions intensity of agriculture

变量	模型 1		模型 2		模型 3	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
城乡融合	-0.186***	0.070	-0.726***	0.064	-0.169**	0.077
财政支农			0.176***	0.034	0.069*	0.036
农业成灾率			0.023***	0.008	0.015**	0.006
贸易开放			-0.053***	0.018	-0.037**	0.015
农业保险			0.005	0.006	-0.017**	0.007
环境规制			-0.014	0.013	-0.020*	0.011
农村人力资本			-0.043***	0.016	-0.024*	0.014
常数项	5.620***	0.100	4.563***	0.139	5.692***	0.132
年份固定效应	控制		—		控制	
省份固定效应	控制		控制		控制	
观测值	480		480		480	
R <sup>2</sup>	0.920		0.885		0.929	

注: \*、\*\* 和 \*\*\* 分别表示在 10%、5% 和 1% 统计水平显著。下表同。

控制变量分析结果表明 (模型 3), 财政支农、农业成灾率、贸易开放、农业保险、环境规制和农村人力资本等因素均对农业碳排放强度有显著影响。其中, 财政支农对农业碳排放强度的影响在 10% 水平上显著为正。这可能是因为财政支农政策能够促进农业技术进步和可持续发展, 从而提高农业生产力。然而, 财政支农政策也存在着增加农业碳排放强度的风险。过度的财政支持可能导致农业生产过剩, 或偏向于使用高碳和高污染的农业技术和生产方式。按照边际效用递减规律, 这些做法的利用效率将逐渐降低, 反而会增加农业碳排放强度<sup>[34]</sup>。农业成灾率在 5% 水平上显著为正, 主要原因在于当农业遭受洪涝、干旱或病虫害等破坏后, 一方面, 农业减产会导致农业吸收大气中的二氧化碳量减少, 从而削弱农业的碳吸收功能; 另一方面, 为重建农业, 需要在短时间内投入大量要素, 这可能导致农业碳排放量大幅度提高<sup>[19]</sup>。贸易开放对农业碳排放强度的影响在 5% 水平上显著为负。这可能是因为随着贸易开放程度的增加, 农业生产效率、国际合作与技术交流得到提升, 从而有助于减少资源浪费, 进一步降低农业碳排放强度。农业保险对农业碳排放强度在 5% 水平上显著为负。这可能是

因为农业保险提高了农民的风险抵御能力, 促使农业采用更环保的种植方式, 大胆尝试新型农业生产方式, 这些因素有助于降低农业碳排放强度。环境规制对农业碳排放强度在 10% 水平上显著为负。这可能是因为加强环境规制可以促进农业生产可持续性, 同时也体现了地方政府对环境问题重视程度, 在一定程度上推动传统农业向生态农业转型。农村人力资本对农业碳排放强度在 10% 的水平上显著为负。这可能是由于农村人力资本水平越高, 农民的低碳环保意识更强, 更愿意采用低碳生产方式。

### 3.4 稳健性检验分析

为确保计量结果的稳健性, 本文进行了四种稳健性检验 (表 6)。首先, 替换核心解释变量的回归结果显示, 城乡融合系数在 1% 的显著水平下为负, 这表明基准回归结果具备稳健性。其次, 经过缩尾处理后的估计结果显示, 在 1% 的显著性水平下, 城乡融合系数仍为负。这进一步支持了基准回归结论的准确性。此外, 当改变估计窗宽 (删除首尾年份) 时, 估计结果也显示出城乡融合系数在 5% 的显著性水平下为负。这表明城乡融合对农业碳排放强度具有明显的负面影响。最后, 采用更换估计方法 (使用混合 OLS 模型) 的回归结果显示城乡融合的回归

表6 稳健性检验结果  
Table 6 Robustness test results

变量	替换核心解释变量		缩尾处理		改变估计窗宽		更换估计方法	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
城乡融合	-0.416***	0.099	-0.242***	0.071	-0.217**	0.087	-0.169**	0.069
常数项	6.133***	0.110	5.635***	0.130	5.619***	0.149	5.547***	0.104
年份固定效应	控制		控制		控制		控制	
省份固定效应	控制		控制		控制		控制	
观测值	480		480		420		480	
R <sup>2</sup>	0.933		0.935		0.940		0.929	

系数在5%的显著水平下为负。综上，通过四个不同的角度对基准回归结果进行了例证，证明其具有良好的稳健性，并显示出城乡融合对农业碳排放强度具有显著的负向影响。这进一步增强了城乡融合对农业碳排放强度影响分析结论的可信度。

### 3.5 内生性检验分析

在基准回归中，本文尽可能控制与农业碳排放强度相关的变量，并引入时间和省份的双固定效应。然而，由于受到数据获取的限制，仍然可能存在遗漏变量，例如政策因素和环境保护意识等。忽视这些因素可能会导致模型估计中城乡融合对农业

碳排放强度影响的偏差。同时，模型中也可能存在双向因果关系。这些情况均会导致模型中存在内生性问题。为了解决这些问题，本研究参考陈爱贞等<sup>[35]</sup>的研究方法，使用城乡融合滞后一期作为核心解释变量的工具变量。检验结果显示，Cragg-Donald Wald  $F$  统计量为 1479.520，拒绝了弱工具变量假设，说明满足工具变量要求（表7）。第一阶段检验结果显著为正，第二阶段检验结果显著为负，这表明在缓解内生性后，城乡融合仍然能够显著降低农业碳排放强度，这进一步确认了基准回归结果的可信性。

表7 内生性检验结果  
Table 7 Endogenous test results

变量	阶段一（城乡融合）		阶段二（农业碳排放强度）	
	系数	标准误	系数	标准误
城乡融合			-0.307**	0.147
城乡融合滞后一期	0.841***	0.031		
控制变量	控制		控制	
年份固定效应	控制		控制	
省份固定效应	控制		控制	
Cragg-Donald Wald $F$			1 479.520	
观测值			450	
R <sup>2</sup>			0.169	

### 3.6 城乡融合对农业碳排放强度的异质性分析

1) 基于地理区位的异质性分析。为验证城乡融合降低农业碳排放强度是否受到地理区位的影响，本文参照国家统计局的划分标准，将样本分组为东部和中西部地区2个子样本。结果显示，城乡融合能够抑制东部地区和中西部地区的农业碳排放强度，但城乡融合对东部地区农业碳排放强度估计系数的绝对值更大（表8）。这可能是因为我国的地理环境具有明显的分布特征。东部地区具备优越的农业发展条件，拥有充足的土地和水资源，且气候条件适宜。相比之下，农业在中西部地区经济中扮演着重要角色，且农业生产基础偏低，城乡基础设施差异较大。因此，城乡融合通过加快农业现代化

进程提高资源利用效率，对东部地区的农业碳排放强度抑制作用更为明显，对中西部地区的农业现代化带动作用相对较小。

2) 基于粮食生产功能的异质性分析。为保障粮食安全并发挥地区优势，国家设立了13个省份为粮食主产区。根据粮食生产功能，将样本分组为粮食主产区和非粮食主产区2个子样本。结果显示，城乡融合能够抑制粮食主产区的农业碳排放强度，在5%水平上显著为负，对非粮食主产区的农业碳排放强度影响为负，但不显著（表8）。这可能是因为粮食主产区通常拥有肥沃的土壤、丰富的水资源、较为完善的农业基础设施和农业产业链等条件，使得粮食主产区更容易推动城乡融合发展。同时，粮



表 8 异质性分析检验结果  
Table 8 Heterogeneity analysis

变量	东部		中西部		粮食主产区		非粮食主产区	
	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误	系数	标准误
城乡融合	-0.340*	0.204	-0.161**	0.067	-0.395**	0.160	-0.101	0.107
常数项	6.045***	0.390	5.509***	0.141	5.380***	0.281	5.755***	0.174
控制变量	控制		控制		控制		控制	
年份固定效应	控制		控制		控制		控制	
省份固定效应	控制		控制		控制		控制	
观测值	176		304		208		272	
R <sup>2</sup>	0.899		0.955		0.942		0.926	

食主产区的农业生产规模化程度较高,这意味着更容易引入城市要素,如高新技术和现代管理模式,以提高农业生产的效率和质量,从而推动农业碳排放强度的降低。

### 3.7 城乡融合对农业碳排放强度的作用机制检验分析

基于上述结果分析,为了更深入地探究城乡融合对农业碳排放强度的影响机制,本文参考江艇<sup>[36]</sup>以及钱龙等<sup>[37]</sup>的研究,并从农业技术进步和农业规模化经营两个方面进一步探讨。回归结果显示,城乡融合对农业技术进步的影响在 1% 水平上显著为正(表 9)。这可能是因为随着城乡融合的快速推进,农村居民的收入不再局限于满足基本生活需求,而是投入更多的资金到农业生产中。同时,这一趋势也促使农业生产中采用更为清洁、高效的机器和

设备以提高农业劳动生产率。在国家政策的引导和支持下,城乡融合旨在促进农业农村发展和农业科技进步。通过引入新装备和新技术,不断实现创新突破,提升农业技术水平和生产效率,并促进绿色生产技术和生产方式的采纳,从而促使城乡融合降低农业碳排放强度。此外,城乡融合对农业规模化经营的估计系数在 1% 水平上显著为正。这可能是因为城乡融合可以推动城乡空间的有机融合,优化城乡间土地资源空间布局,为农业规模化经营提供土地资源。与此同时,城乡融合在加速推进过程中,城市资金、劳动力和技术等要素向农村流动,推动农村经济实现转型升级。这又进一步促使农业生产从分散式转向规模化,从而减少了农业生产过程中的碳排放,有效地抑制了农业碳排放强度的增加。

表 9 作用机制检验结果  
Table 9 Mechanism analysis results

变量	农业技术进步		农业规模化经营	
	系数	标准误	系数	标准误
城乡融合	1.052***	0.212	1.124***	0.178
常数项	1.539***	0.312	0.763***	0.266
控制变量	控制		控制	
年份固定效应	控制		控制	
省份固定效应	控制		控制	
观测值	480		480	
R <sup>2</sup>	0.940		0.924	

## 4 结论与政策建议

### 4.1 结论

本文立足于“双碳”目标和城乡融合发展的新阶段,将农业碳排放强度纳入城乡融合环境效应的分析框架,先系统地城乡融合影响农业碳排放强度的理论逻辑进行梳理,借助熵值法对城乡融合发展水平进行测算,再采用经典面板模型实证分析城乡融合对农业碳排放强度的影响、异质性及其作用路径,主要研究结论如下:

1) 基准回归分析发现,城乡融合对农业碳排放强度具有显著的抑制作用。全国和三大地区城乡融合发展水平呈持续上升趋势,而农业碳排放强度呈显著下降趋势,两者之间的波动趋势相反。

2) 异质性分析表明,城乡融合在东部地区和粮食主产区对农业碳排放强度的抑制作用更为明显。因此,在推进城乡融合和加快农业绿色低碳转型过程中,应充分考虑地区差异、资源禀赋和经济差异等因素,就地施策并制定农业农村可持续发展政策非常重要。

3) 机制分析表明, 城乡融合通过促进农业规模化经营和农业技术进步来抑制农业碳排放强度。城乡融合的快速发展推动农业生产模式由分散式向规模化转变, 实现了投入要素集约化, 在一定程度上减少农业生产中的碳排放量。农业技术进步有助于采用绿色、清洁和高效的生产方式, 从而有效降低农业碳排放强度。

当前研究对提高城乡融合发展水平和降低农业碳排放强度提供了思路借鉴, 但也存在一定的局限性。本文从省域来探究城乡融合对农业碳排放强度的影响, 样本量较少。在未来研究中, 基于数据可得性, 可以将研究样本扩大至县域、城市或流域, 以拓展该研究领域的范围。随着社会和经济的动态发展, 城乡融合的内涵不断丰富和完善, 其指标体系也应因时而变, 这样才能更准确地评估城乡融合的进展和成效。在传导路径中, 仅探讨了农业技术进步和农业规模化经营对农业碳排放强度的抑制作用。因此, 在未来研究中, 从农户消费习惯、要素配置和土地政策等角度, 进一步挖掘二者之间的作用机制。

#### 4.2 政策建议

1) 加快推进城乡融合发展, 发挥城乡融合对农业碳排放强度的减量效应。一方面, 通过建立统一的城乡规划体制和制度, 消除阻碍人口、技术、资本和信息等要素自由流动的障碍, 加速资源优化配置, 形成有效服务于农业农村建设长效机制。另一方面, 为了推进农业可持续发展, 应将“双碳”目标融入农村生态环境治理体系, 促进农村能源结构的转变, 发挥环境规制、贸易开放、农业保险和农村人力资本对农业碳排放强度的抑制作用, 并加强监管和引导财政支农政策为减少农业碳排放强度提供支持和保障。此外, 增强农业风险防御能力, 鼓励农户应用先进低碳技术和管理方法, 使其更好地采用低碳农业实践, 从而降低农业碳排放强度。

2) 依据各地实际情况, 发挥东部地区和粮食主产区对农业碳排放强度的抑制作用。在城乡融合发展过程中, 各地应根据地理区域和粮食生产功能等差异, 制定精准的政策, 有效发挥城乡融合对东部地区和粮食主产区农业碳排放强度的抑制作用。具体来说, 东部地区应构建多维城乡融合发展体系, 在积极推进产业发展的同时, 还应提倡农业绿色低碳生产, 推动农业向可持续方向发展, 并继续提升其对农业碳排放强度的抑制作用。粮食主产区不仅要全力抓好粮食生产, 还要发挥其对农业碳排放强度的抑制效应。并加大推广科学种植和农业生产管

理技术, 促进农业生态化发展。

3) 加快推动农业规模化经营和农业技术进步是降低农业碳排放强度的有效手段, 也是助力农业农村现代化过程中的重要纽带。为此, 应科学规划农田利用, 调整农业生产要素投入的比例, 完善农业投入要素的集约化。引导家庭分散经营向适度规模经营转变, 通过合作社、农业企业等形式进行联合生产和经营, 促进农业生产由分散式向规模化转变, 达到降低农业碳排放的目标。另外, 从能源端口降低农业碳排放, 例如应用太阳能、风能和生物质能驱动的农业机械装备。同时, 促进农村产业链的优化升级和创新突破, 实现农业科技进步与城市科技的融合, 提高农业生产效率, 有效降低农业碳排放和环境污染。

#### 参考文献:

- [1] 刘守英, 龙婷玉. 城乡融合理论: 阶段、特征与启示 [J]. 经济学动态, 2022(3): 21-34.  
Liu S Y, Long T Y. The theory of urban-rural integration: Stages, characteristics and enlightenment[J]. Economic Perspectives, 2022(3): 21-34.
- [2] Laborde D, Mamun A, Martin W, et al. Agricultural subsidies and global greenhouse gas emissions[J]. Nature Communications, 2021, 12: 2601.
- [3] 高旺盛, 陈源泉, 王小龙, 等. 中国种植业碳中和技术路径探讨与对策建议 [J]. 农业现代化研究, 2022, 43(6): 941-947.  
Gao W S, Chen Y Q, Wang X L, et al. Discussion of the technical path and the countermeasures on the carbon neutralization of crop planting sector in China[J]. Research of Agricultural Modernization, 2022, 43(6): 941-947.
- [4] 郭君平, 曲颂, 刘合光. 中国城乡关系的演进脉络、结构性失衡及重构方略 [J]. 改革, 2022(9): 83-93.  
Guo J P, Qu S, Liu H G. The evolution, structural imbalance and reconstruction strategies of China's urban-rural relationship[J]. Reform, 2022(9): 83-93.
- [5] Fang C L. On integrated urban and rural development[J]. Journal of Geographical Sciences, 2022, 32(8): 1411-1426.
- [6] 杨骞, 金华丽. 新时代十年中国的城乡融合发展之路 [J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2023, 22(3): 127-140.  
Yang Q, Jin H L. China's development road on urban-rural integration in ten years of the new era[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2023, 22(3): 127-140.
- [7] 张海鹏. 中国城乡关系演变 70 年: 从分割到融合 [J]. 中国农村经济, 2019(3): 2-18.  
Zhang H P. The evolution of China's urban-rural relations in the past seven decades: From separation to integration[J]. Chinese Rural Economy, 2019(3): 2-18.
- [8] 王大超, 赵红. 中国城乡融合发展效率评价及其影响因素研究 [J]. 财经问题研究, 2022(10): 101-109.  
Wang D C, Zhao H. Efficiency evaluation of urban-rural integration development and its influencing factors in China[J].

- Research on Financial and Economic Issues, 2022(10): 101-109.
- [9] Ma L B, Liu S C, Fang F, et al. Evaluation of urban-rural difference and integration based on quality of life[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 54: 101877.
- [10] 张海朋, 何仁伟, 李立娜, 等. 环首都地区城乡融合水平时空分异及乡村振兴路径[J]. 自然资源学报, 2021, 36(10): 2652-2671.
- Zhang H P, He R W, Li L N, et al. Spatio-temporal differentiation of urban-rural integration level and rural revitalization path in the Capital Region[J]. Journal of Natural Resources, 2021, 36(10): 2652-2671.
- [11] Yang H, Wang X X, Bin P. Agriculture carbon-emission reduction and changing factors behind agricultural eco-efficiency growth in China[J]. Journal of Cleaner Production, 2022, 334: 130193.
- [12] 赵敏娟, 石锐, 姚柳杨. 中国农业碳中和目标分析与实现路径[J]. 农业经济问题, 2022(9): 24-34.
- Zhao M J, Shi R, Yao L Y. Analysis on the goals and paths of carbon neutral agriculture in China[J]. Issues in Agricultural Economy, 2022(9): 24-34.
- [13] 黄晓慧, 杨飞, 陆迁. 粮食主产区农业碳排放回弹效应研究[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(12): 2780-2788.
- Huang X H, Yang F, Lu Q. Research on the rebound effect of agricultural carbon emission based on technological progress in main grain producing areas[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022, 31(12): 2780-2788.
- [14] Zhang H S, Li S P. Carbon emissions' spatial-temporal heterogeneity and identification from rural energy consumption in China[J]. Journal of Environmental Management, 2022, 304: 114286.
- [15] 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(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 Science Edition), 2022(6): 45-57.
- [16] 何艳秋, 成雪莹, 王芳. 技术扩散视角下农业碳排放区域溢出效应研究[J]. 农业技术经济, 2022(4): 132-144.
- He Y Q, Cheng X Y, Wang F. Study on the regional spillover effect of agricultural carbon emission based on the perspective of agricultural technology diffusion[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2022(4): 132-144.
- [17] 施建刚, 段锴丰, 吴光东, 等. 碳排放约束下长三角地区城乡融合发展效率[J]. 经济地理, 2021, 41(6): 57-67.
- Shi J G, Duan K F, Wu G D, et al. Efficiency of urban-rural integration development in the Yangtze River Delta under the background of carbon emission constraint[J]. Economic Geography, 2021, 41(6): 57-67.
- [18] 谢会强, 吴晓迪. 城乡融合对中国农业碳排放效率的影响及其机制[J]. 资源科学, 2023, 45(1): 48-61.
- Xie H Q, Wu X D. Impact and its mechanism of urban-rural integration on the efficiency of agricultural carbon emissions in China[J]. Resources Science, 2023, 45(1): 48-61.
- [19] 颜光耀, 陈卫洪, 钱海慧. 农业技术效率对农业碳排放的影响——基于空间溢出效应与门槛效应分析[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(2): 226-240.
- Yan G Y, Chen W H, Qian H H. Effects of agricultural technical efficiency on agricultural carbon emission: Based on spatial spillover effect and threshold effect analysis[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2023, 31(2): 226-240.
- [20] 吴丽丽, 郑炎成, 李谷成. 碳排放约束下我国油菜全要素生产率增长与分解——来自13个主产区的实证[J]. 农业现代化研究, 2013, 34(1): 77-80.
- Wu L L, Zheng Y C, Li G C. Growth and source of rape total factor productivity in China under carbon emissions constraint: An empirical study from 13 main producing areas[J]. Research of Agricultural Modernization, 2013, 34(1): 77-80, 94.
- [21] 杨福霞, 郑凡, 杨冕. 中国种植业劳动生产率区域差异的动态演进及驱动机制[J]. 资源科学, 2019, 41(8): 1563-1575.
- Yang F X, Zheng F, Yang M. Dynamic evolution mechanism of regional disparity in labor productivity of planting[J]. Resources Science, 2019, 41(8): 1563-1575.
- [22] 徐清华, 张广胜. 农业机械化对农业碳排放强度影响的空间溢出效应——基于282个城市面板数据的实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(4): 23-33.
- Xu Q H, Zhang G S. Spatial spillover effect of agricultural mechanization on agricultural carbon emission intensity: An empirical analysis of panel data from 282 cities[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(4): 23-33.
- [23] 吕岩威, 刘洋. 农村一二三产业融合发展: 实践模式、优劣比较与政策建议[J]. 农村经济, 2017(12): 16-21.
- Lu Y W, Liu Y. The integration and development of rural primary, secondary and tertiary industries in rural areas: Modes of practice, strength and weakness, policy suggestions[J]. Rural Economy, 2017(12): 16-21.
- [24] 姜松, 周洁, 邱爽. 适度规模经营是否能抑制农业面源污染——基于动态门槛面板模型的实证[J]. 农业技术经济, 2021(7): 33-48.
- Jiang S, Zhou J, Qiu S. Can appropriate scale operation restrain agricultural non-point source pollution? Empirical study based on dynamic threshold panel model[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2021(7): 33-48.
- [25] 魏梦升, 颜廷武, 罗斯炫. 规模经营与技术进步对农业绿色低碳发展的影响——基于设立粮食主产区的准自然实验[J]. 中国农村经济, 2023(2): 41-65.
- Wei M S, Yan T W, Luo S X. The impacts of scale management and technological progress on green and low-carbon development of agriculture: A quasi-natural experiment based on the establishment of major grain-producing areas[J]. Chinese Rural Economy, 2023(2): 41-65.
- [26] 田云, 张俊飏, 李波. 基于投入角度的农业碳排放时空特征及因素分解研究——以湖北省为例[J]. 农业现代化研究, 2011, 32(6): 752-755.
- Tian Y, Zhang J B, Li B. Research on spatial-temporal characteristics and factor decomposition of agricultural carbon emission based on input angle: Taking Hubei Province for example[J]. Research of Agricultural Modernization, 2011, 32(6): 752-755.



- [27] 黄伟华, 祁春节, 黄炎忠, 等. 财政支农投入提升了农业碳生产率吗?——基于种植结构与机械化水平的中介效应[J]. 长江流域资源与环境, 2022, 31(10): 2318-2332.  
Huang W H, Qi C J, Huang Y Z, et al. Does financial support for agriculture improve agricultural carbon productivity? Analysis on the mediating effects of planting structure and mechanization level[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2022,31(10): 2318-2332.
- [28] 段华平, 张悦, 赵建波, 等. 中国农田生态系统的碳足迹分析[J]. 水土保持学报, 2011, 25(5): 203-208.  
Duan H P, Zhang Y, Zhao J B, et al. Carbon footprint analysis of farmland ecosystem in China[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2011, 25(5): 203-208.
- [29] 夏四友, 赵媛, 许昕, 等. 1997—2016年中国农业碳排放率的时空动态与驱动因素[J]. 生态学报, 2019, 39(21): 7854-7865.  
Xia S Y, Zhao Y, Xu X, et al. Spatiotemporal dynamics and driving factor analysis of agricultural carbon emissions rate in China from 1997 to 2016[J]. Acta Ecologica Sinica, 2019,39(21): 7854-7865.
- [30] 罗婉璐, 王武林, 林珍, 等. 中国城乡融合时空演化及驱动因素[J]. 地理科学进展, 2023, 42(4): 629-643.  
Luo W L, Wang W L, Lin Z, et al. Spatiotemporal evolution and driving factors of urban-rural integration in China[J]. Progress in Geography, 2023, 42(4): 629-643.
- [31] Li Z, Luo Z J, Wang Y, et al. Suitability evaluation system for the shallow geothermal energy implementation in region by Entropy Weight Method and TOPSIS method[J]. Renewable Energy, 2022, 184: 564-576.
- [32] 陈帅, 侯孟阳, 李园园, 等. 黄河流域水资源、能源与粮食生产的时空匹配及阻尼效应[J]. 农业工程学报, 2022, 38(18): 246-254.  
Chen S, Hou M Y, Li Y Y, et al. Spatial-temporal matching patterns for grain production using water and energy resources and damping effect in the Yellow River Basin[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2022, 38(18): 246-254.
- [33] 马九杰, 杨晨, 崔恒瑜, 等. 农业保险的环境效应及影响机制——从中国化肥面源污染视角的考察[J]. 保险研究, 2021(9): 46-61.  
Ma J J, Yang C, Cui H Y, et al. The environmental effect and formation mechanisms of the promotion of agricultural insurance: From the perspective of non-point source pollution of chemical fertilizers in China[J]. Insurance Studies, 2021(9): 46-61.
- [34] 吴伟伟. 支农财政、技术进步偏向的农田利用碳排放效应研究[J]. 中国土地科学, 2019, 33(3): 77-84.  
Wu W W. Effect of fiscal support to agriculture and technical-biased progress on carbon emission from farmland use[J]. China Land Science, 2019, 33(3): 77-84.
- [35] 陈爱贞, 陈凤兰, 何诚颖. 产业链关联与企业创新[J]. 中国工业经济, 2021(9): 80-98.  
Chen A Z, Chen F L, He C Y. Industry chain linkage and firm's innovation[J]. China Industrial Economics, 2021(9): 80-98.
- [36] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.  
Jiang T. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. China Industrial Economics, 2022(5): 100-120.
- [37] 钱龙, 刘聪, 郑淋议, 等. 高标准农田建设如何影响农地流转[J]. 中国土地科学, 2023, 37(2): 62-70.  
Qian L, Liu C, Zheng L Y, et al. How does high-standard farmland construction affect farmland transfer[J]. China Land Science, 2023, 37(2): 62-70.

(责任编辑: 孟岑)