

引用格式: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.] DOI: 10.18402/resci.2023.01.04

城乡融合对中国农业碳排放效率的影响及其机制

谢会强,吴晓迪

(贵州大学经济学院,贵阳 550025)

摘要:【目的】城乡融合作为农业生产要素配置效率提升的重要手段,是影响农业碳排放效率的关键因素。【方法】本文采用中国2005—2020年省域面板数据,在测度城乡融合发展水平和农业碳排放效率的基础上,综合运用固定效应模型、空间自回归模型和门槛效应模型探究了城乡融合发展对农业碳排放效率的影响效果及其作用机制。【结果】研究发现:①总体上,城乡融合发展指数对农业碳排放效率具有显著的负向影响。机制检验表明,城乡融合发展有助于提升农业低碳技术效率,但对前沿技术进步具有显著负向影响,进而不利于改善农业碳排放效率。上述研究结论在空间溢出视角下仍然成立。②从城乡融合发展的不同维度来看,“人的融合”能够通过改善技术效率来有效提升农业碳排放效率,而“地的融合”和“资本的融合”虽然对技术效率均具有正向影响,但由于受到技术进步的负向制约,最终阻碍了农业碳排放效率的总体提升。③门槛计量分析发现,地区经济发展水平是约束城乡融合发展和农业碳排放效率关系的显著门槛变量,当地区经济发展水平迈过阈值后,城乡融合发展能够对农业碳排放效率产生显著的提升效应。【结论】因此,地方政府在推进城乡融合发展过程中,应兼顾地区经济发展水平,着力构建以“人”为核心,统筹“地”和“资本”融合的城乡融合体系与机制,为以推动城乡协调发展为契机来实现低碳农业高质量发展创造条件。

关键词:城乡融合;农业碳排放效率;经济发展水平;空间自回归模型;门槛效应;中国

DOI: 10.18402/resci.2023.01.04

1 引言

农业低碳发展是全面应对气候变化的重要举措,也是中国乡村振兴和生态文明建设的必然要求。中国作为农业大国,农业发展关乎国计民生,确保重要农产品供给、保障粮食安全是维护社会稳定的“压舱石”。然而,由于农业生产活动的广泛性、普遍性,农业活动产生的碳排放已成为中国碳排放的重要来源。在实施乡村振兴战略过程中,如何统筹粮食安全与低碳发展是当前经济社会无法回避的现实难题,提高农业碳排放效率成为破解该难题的必然选择。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。城乡融合旨在打破城乡二元化格局,促进城乡要素双向流动,优化城乡要素配置,而要素配置效率的完善则是提高农业生产效率的关键所在^[1]。提高农业生产效率有利于在既定产出下减少农药、化肥、柴油等碳排放源的消耗,进而抑制农业生产活动中产生的碳排放,有助于农业碳排放效率的提升。那么,城乡融合发展能否有效提高农业碳排放效率?随着各地区间人力和物质资本的流动日趋频繁,城乡融合是否影响邻近地区的农业碳排放效率?准确回答上述问题对于中国提升城乡融

收稿日期:2022-10-27;修订日期:2023-01-02

基金项目:国家社会科学基金项目(18BGL222);贵州大学文科研究青年项目(GDYB2022033);贵州大学经济学院研究生创新基金项目(CJ2022031)。

作者简介:谢会强,男,湖北襄阳人,讲师,硕士生导师,研究方向为全球价值链与农业经济。E-mail: 541381689@qq.com

通讯作者:吴晓迪,男,湖北红安人,硕士研究生,研究方向为低碳经济与绿色经济。E-mail: wuxiaodi1023@163.com

2023年1月

合发展质效和实现低碳农业具有重要意义。

城乡融合是顺应城乡关系转型发展需求,实现国家现代化的必然选择。长期以来,农业农村为中国现代化建设做出了巨大贡献,是经济社会发展的“稳定器”和“蓄水池”^[2]。然而,在城市化高速发展的同时,农村空心化、农业边缘化等问题愈益突出,城乡差距逐渐扩大,城乡矛盾成为社会争论的焦点^[3]。对此,党的十九大报告指出,建立健全城乡融合发展机制,协同推进新型城镇化与乡村振兴进程,实现城乡要素双向流动,通过城市的反哺能力唤醒农村“沉睡资本”,充分发挥农村资源的独有优势,实现城乡共生共建共享共荣^[4]。据此,学者们基于不同视角对城乡融合发展的概念内涵展开讨论^[5-7],通过追溯城乡融合演进规律,结合其发展机理,提出城乡融合发展实现路径^[8,9]。同时,从定量研究的角度对不同地区城乡融合发展水平进行测度,并对其时空分异及收敛性展开分析^[10-13],为准确把握城乡融合发展现状提供了重要依据和实践遵循。关于农业碳排放效率的研究,最早源于Kaya等^[14]提出的碳生产率概念,学者们通过对理论基础和现实意义的探讨分析,将其定义为碳排放与名义GDP的比值。在此基础上,后续研究在评估指标的完善、权重的分配等方面取得许多有益成果^[15,16]。然而,随着研究的进一步深入,学者们认为这种单要素测算方式忽略了能源结构以及劳动、资本等投入要素的替代作用,存在一定的局限性。并基于全要素的视角提出碳排放效率这一概念,认为碳排放效率指的是在各投入要素不变的情况下,所得到的最大经济产出和最小碳排放^[17]。据此,学者们将数据包络分析法应用于农业碳排放效率的测度,并通过影响因素分析发现,技术进步、技术效率是提升碳排放效率的关键所在^[18-21]。

梳理文献发现,现有研究主要集中于农业碳排放效率的测算和影响因素,直接研究城乡融合对农业碳排放效率影响的文献较少,仅有部分学者研究了城镇化对农业碳排放效率的影响,然而并未得出一致结论^[22,23]。因此,本文理论分析并实证检验了城乡融合对农业碳排放效率的影响及作用机制。本文的边际贡献在于:①从城乡融合这一新的视角切入,基于技术进步和效率改善两种效应理论,分

析城乡融合对农业碳排放效率的影响,系统地揭示了城乡融合对农业碳排放效率的影响机制。②将城乡融合进一步分解为人的融合、地的融合与资本的融合,深入剖析不同维度的城乡融合对农业碳排放效率的异质性影响,为低碳背景下城乡融合发展规划提供经验参考。③从空间溢出视角分析了城乡融合对农业碳排放效率影响的作用机理,同时,将经济发展水平纳入分析框架,运用面板门槛模型实证检验了城乡融合对农业碳排放效率的非线性影响,为城乡融合对农业碳排放效率的影响“由负转正”提供新的诠释。

2 理论分析与研究假设

2.1 城乡融合对农业碳排放效率的影响

城乡融合主要通过技术进步效应和技术效率效应影响农业碳排放效率。技术进步是指生产前沿面的移动,即技术的创新。技术效率是指在既定的生产函数下,实际产出与最优潜在产出的差距,差距越小则技术效率越高。

城乡融合发展既可增强又可抑制技术进步效应,而技术进步正是农业碳排放效率提高的关键所在^[24]。一方面,城乡融合实现了信息的有效传递,为低碳农业技术进步提供了有利的条件。实力较强、发展较为成熟的低碳技术研发机构大多集中在城市^[25],而农业低碳技术的实践在农村,由于信息流通缺乏及时性和准确性,研发机构难以准确了解农业低碳技术的实践效果及需求,导致技术研发方向模糊。城乡融合加速了城乡间要素的流动,使研发机构能够及时获取技术应用反馈,为低碳技术的进一步研发提供精确的数据支撑,从而快速调整研发策略^[26],使得更多适用性良好的低碳农业技术能够为生产第一线的农户服务,推动了农业低碳技术的进步。另一方面,城乡融合发展也可能对技术进步产生阻碍作用。城乡融合的过程中需要耗费大量的人力、物力,在“地”和“资本”的融合中,大量的财政资金用于基础设施建设和农村社会福利改善,挤占政府对生态环境及技术研发的投入,抑制低碳农业技术进步^[27]。

在技术效率方面,城乡融合发展促进了资源要素在城乡间的双向流动,资源配置不断优化,技术效率得到有效改善,提高了农业碳排放效率。在城

乡融合对农业碳排放效率的影响中,技术效率效应主要体现在以下3个方面:①“人”的融合方面,城乡融合通过财政支持和政策引导,吸引大量的高素质人才走进农村,进而加快先进低碳技术在农业领域的扩散和传播,为农户提高资源利用率、合理使用农业低碳技术提供人力资源支持^[28],有利于农户将低碳技术合理地应用于农业生产性经营活动进而提高农业碳排放效率。②“地”的融合方面,基础设施的建设改善了城乡间的交通便利性,有利于节约各类绿色投入要素的交易成本^[29],提高农户对有机化肥、可降解农膜等低碳产品的采纳度。同时,地块的交换合并优化了土地结构,缓解了耕地分布零散和集中管理的矛盾,有利于规模效应的发挥^[30],进而在降低单位成本的同时,有效提高农业低碳技术的利用率,充分释放低碳生产力。③“资本”的融合方面,在农业低碳生产过程中,由于资金约束,农户面临着基础设施短缺,生产规模较小等诸多困境,而城乡间的资本融合不仅能减轻农户基本的生活负担,同时资本的双向流动使农户更加方便快捷地获取金融资本来助推其发展,破解了困扰低碳农业发展的资金约束,使农户能够购买并采用先进的生产资料,提高低碳生产效率。同时,与传统农业相比,低碳农业投入成本高,经济收益不稳定^[31]。由于“模糊厌恶”,导致风险规避型农户倾向于维持现状,这也是低碳农业发展缓慢的原因所在^[32]。保险作为资本融合的重要切入点,能够为农户分散风险,在保障农户增收,为城乡融合发展创造有利条件的同时,消除农户及农业企业使用新产品生产的后顾之忧,增强农户进行农业低碳生产的信心,提升农户低碳生产积极性,进而提高农业碳排放效率。

综合以上分析,从技术进步效应来看,城乡融合发展对农业碳排放效率的作用效果具有不确定性,而在技术效率方面,城乡融合表现出积极的影响。城乡融合对农业碳排放效率的抑制效应主要归结于对技术研发资金的挤占,提升效应主要通过城乡间要素自由流动来体现。从当前中国经济社会发展现状来看,城乡融合发展仍处于初级阶段,虽然已经取得一定成效,但城乡要素自由双向流动尚未完全实现,对农业碳排放效率的提升效应没有

得到充分发挥。而在城乡融合初期,基础设施建设往往需要大量的资金支持,此时城乡融合发展对农业低碳技术创新的影响程度较大,进一步强化了对农业碳排放效率提升的抑制效应。因此,城乡融合对农业碳排放效率的抑制效应大于提升效应。据此,提出假说1:

H1:城乡融合抑制农业碳排放效率的提升,其抑制作用主要表现在抑制技术进步。

2.2 经济发展水平的门槛效应

从宏观视角来看,当一个地区经济发展水平较低时,宏观发展战略以引导城乡经济增长,提高人均收入为主,政府对环境问题的重视程度较小,此时的农业经济增长往往伴随着高污染、高排放^[33]。同时,经济发展水平较低的地区,交通、网络等基础设施往往较为落后,城乡间资源要素的双向流动受阻,不利于城乡融合发展进程的推进。此时,为了保证城乡融合的顺利进行,政府需要投入大量的财政资金对基础设施进行完善,而经济发展水平较低的地区,财政收支本就难以平衡,财政负担的增加则会更大程度地挤占低碳技术的研发投入,对技术进步效应产生较大制约,进而抑制城乡融合对农业碳排放效率的提升效应。当一个地区经济发展水平较高时,政府的宏观政策不仅要维持经济的平稳运行,同时需要保障人们对美好生活的需求,即实现经济增长与生态保护的协同发展。此时政府将通过加强环境规制、增加低碳技术研发和推广等手段控制农业碳排放,高污染、高排放等不合理的农业耕作方式将难以维持,相继进行低碳转型^[34]。同时,交通网络的完善为城乡间资源要素的流动提供了较好的前提和基础,减少了所需的政府资金支持,有利于城乡融合对农业碳排放效率提升效应的充分发挥。从微观视角上来看,经济发展水平较低的地区,农户为提高自身效用水平更倾向于以牺牲环境为代价来获取更高的经济效益^[35]。当经济发展到一定水平时,随着收入的增加,基于边际效用递减规律,因收入增加而获得的满足感逐渐下降,物质资本的需求逐渐转化为对美好生活的需求,农户将会选择环境友好型的低碳生产模式。因此,经济发展作为社会各项生产活动的物质保障,与城乡融合对农业碳排放效率的作用效果密切相关。综上,

2023年1月

提出假说2:

H2:随着经济发展水平的提升,城乡融合与农业碳排放效率之间呈U型曲线关系。

3 模型设定、变量选取与数据说明

3.1 计量模型设定

3.1.1 基准模型

为了考察城乡融合对农业碳排放效率的影响。本文构建基准回归模型如下:

$$CMI_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 Ur_{it} + \alpha X_{it} + \mu_i + \nu_t + \gamma_{it} \quad (1)$$

式中: i, t 分别表示样本所在省域和相应年份; CMI_{it} 为被解释变量,即农业碳排放效率; Ur_{it} 为核心解释变量——城乡融合指数; X 为控制变量; α_0 为常数项; α_1 为核心解释变量的系数; α 为待估计参数; $\mu_i, \nu_t, \gamma_{it}$ 分别表示个体效应、时间效应和其他扰动项。

3.1.2 空间自相关检验

城乡融合的不断深入加速了各地区间信息往来以及人力、物质资本的迁移流动,低碳农业在相邻地区间的示范带动效应得以充分发挥,使得城乡融合对邻近地区农业碳排放效率具有一定的空间溢出效应。据此,本文从空间溢出视角出发,深入探析城乡融合对农业碳排放效率的影响。

采用空间计量分析前需对农业碳排放效率进行莫兰指数检验,确定农业碳排放效率是否存在空间关联性,本文选取邻接矩阵进行Moran's I 指数计算,以此表示空间关联程度,计算公式如下:

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{ij} (Y_i - \bar{Y})(Y_j - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2} \quad (2)$$

式中: I 为莫兰指数, $I > 0$ 表示空间正相关, $I < 0$ 表示空间负相关, $I = 0$ 则表示不存在空间相关性; Y_i, Y_j 分别为 i, j 地区的观测值; \bar{Y} 为预期平均值; n 为地区数量; w_{ij} 为地理邻接空间权重矩阵,相邻地区赋值为1,反之则为0。

3.1.3 空间计量模型

参考文献[36],在依次进行LM、LR检验后,选取空间自回归模型(SAR)分析城乡融合与农业碳排放效率之间的关系,其表达式为:

$$CMI_{it} = \beta_0 + \rho W_{ij} CMI_{it} + \beta_1 Ur_{it} + \beta X_{it} + \mu_i + \nu_t + \gamma_{it} \quad (3)$$

式中: β_0 为常数项; $W_{ij} CMI_{it}$ 为被解释变量的空间滞后项; β_1 为核心解释变量的系数; β 为待估计参数; ρ 为空间自相关回归系数,度量邻近省份农业碳排放效率对本省农业碳排放效率的影响。

3.1.4 门槛模型

根据假说2,城乡融合对农业碳排放效率的作用效果受该区域经济发展水平的影响,因此在式(1)的基础上考虑构建门槛效应模型:

$$CMI_{it} = \theta_1 Ur_{it} (RGDP \leq Z_1) + \theta_2 Ur_{it} (Z_1 < RGDP \leq Z_2) + \dots + \theta_m Ur_{it} (Z_{m-1} < RGDP \leq Z_m) + \theta_{m+1} Ur_{it} (RGDP > Z_m) + \theta X_{it} + \mu_i + \nu_t + \gamma_{it} \quad (4)$$

式中: θ_m 为不同门槛水平下核心解释变量的系数; $RGDP$ 为门槛变量,即区域经济发展水平; Z_m 为对应门槛值; θ 为待估计参数。

3.2 变量测度与选取

3.2.1 被解释变量

本文采用EBM-GML模型对农业碳排放效率进行测度。EBM模型将碳排放作为非合意产出纳入模型计算农业碳排放效率,能够有效衡量经济增长、空气污染和资源消耗的综合效率,实现数据包络分析中径向和非径向方法的有效结合;同时,基于全局技术构造的EBM-GML指数,能够处理线性规划无解及非传递性的问题,具有提高前沿精细度、增加决策单元数量等优势。假设 k 个决策单元(DMU),每个决策单元有 h 种投入 I ,是 u 种期望产出 O , c 种非期望产出 Z 。式(5)、(6)分别表示EBM规划式和EBM-GML表达式:

$$\begin{aligned} & \min \frac{\delta - \varepsilon_I \frac{1}{\sum_{d=1}^h e_d^h} \sum_{d=1}^h \frac{e_d^h S_d^h}{I_{ik}}}{\varphi + \varepsilon_O \frac{1}{\sum_{r=1}^q e_r^u} \sum_{r=1}^q \frac{e_r^u S_r^u}{O_{rk}} + \varepsilon_Z \frac{1}{\sum_{g=1}^p e_g^c} \sum_{g=1}^p \frac{e_g^c S_g^c}{Z_{gk}}} \\ & \text{s.t.} \begin{cases} I\lambda - \delta I_{dk} + S_d^h = 0 \\ O\lambda - \varphi O_{rk} - S_r^u = 0 \\ Z\lambda - \varphi Z_{gk} + S_g^c = 0 \\ \lambda \geq 0, S_d^h \geq 0, S_r^u \geq 0, S_g^c \geq 0 \end{cases} \quad (5) \end{aligned}$$

式中： δ 、 φ 表示投入和产出的径向效率值； ε_I 、 ε_O 、 ε_z 代表效率值中非径向部分重要程度的核心参数， $\varepsilon \in [0, 1]$ ，当 $\varepsilon = 0$ 时，为径向模型，当 $\varepsilon = 1$ 时，为非径向模型； e_d^h 、 e_r^u 、 e_g^c 分别表示为第 d 种投入、第 r 种产出和第 g 种非期望产出的权重； S_d^h 、 S_r^u 、 S_g^c 为对应的松弛变量； λ 为对应的权重系数。

$$\begin{aligned} CMI^{t,t+1}(h^t, u^t; h^{t+1}, u^{t+1}) \\ &= \left[\frac{1 + D^t(h^t, u^t)}{1 + D^t(h^{t+1}, u^{t+1})} \times \frac{1 + D^{t+1}(h^t, u^t)}{1 + D^{t+1}(h^{t+1}, u^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{1 + D^t(h^t, u^t)}{1 + D^t(h^{t+1}, u^{t+1})} \times \left[\frac{1 + D^{t+1}(h^t, u^t)}{1 + D^{t+1}(h^{t+1}, u^{t+1})} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (6) \\ &= EC(h^{t+1}, u^{t+1}; h^t, u^t) \times TC(h^{t+1}, u^{t+1}; h^t, u^t) \end{aligned}$$

式中： D^t 、 D^{t+1} 分别表示 t 、 $t+1$ 期的生产技术集，农业碳排放效率 CMI 大于1时表示实现了效率增长，反之则为效率下降。此外，农业碳排放效率 CMI 能够进一步分解为技术进步 TC 和技术效率 EC 。

本文选取的投入要素为农林牧渔从业人员数、农作物总播种面积、机械动力以及农业固定资产投资，以农业总产值作为测算农业碳排放效率的期望产出，农业碳排放作为非期望产出。其中，由于统计数据中农业固定资产投资为流量指标，因此，本文沿用永续盘存法（以2005年为基期），选取严格意义上的农业固定资产投资，计算公式为：

$$V_i^t = (1 - \rho)V_i^{t-1} + F_i^t \quad (7)$$

式中： V 为资本存量； ρ 为资本折旧率； F 为投资额。

关于农业碳排放的测算，参照已有文献经验^[37]，本文主要从以下3个方面进行考察：一是农业生产活动中因要素投入而产生的碳排放，主要存在6大碳源：农药、化肥、翻耕、灌溉、农膜、柴油。二是畜禽养殖产生的碳排放，具体表现为粪便管理中产生的 N_2O 和 CH_4 及其肠道发酵产生的 CH_4 。根据中国养殖结构特征，畜禽主要种类包括牛、猪、羊三大种类，故本文与经验文献保持一致，仅对以上3类畜禽所产生的碳排放进行测度。三是水稻养殖过程中产生的 CH_4 ，由于水稻生产周期的不稳定性，采用中

位数130天作为生产周期核算标准。将以上碳排放源的使用量乘以相应的碳排放系数加总即为农业碳排放总量，相关碳排放系数及来源见表1。

3.2.2 解释变量

经济发展水平($RGDP$)。根据上述理论分析，可知城乡融合对农业碳排放效率的影响受经济发展水平制约，故本文选取人均GDP作为门槛变量进行分析。

城乡融合发展水平(UR)。对于城乡融合发展指数的测度，本文建立城乡融合发展指标体系并结合熵权法赋权取值得出各省城乡融合发展指数。城乡融合是立足于当前国情，通过对城乡关系及其发展规律深刻洞察而提出的重要国策，是对城乡一体化的继承和升华。城乡融合重点强调城乡间要素的自由流动，然而，由于难以准确获取城乡间各类要素流动情况的相关数据，现有文献主要通过采用体现城乡融合过程的传导性动力类指标、反映城乡融合原因的分析性对比类指标、表征城乡融合结果的现实性状态类指标综合反映城乡融合发展水平^[41]。在当前中国情景下，城乡融合发展主要体现在人的融合、地的融合以及资本的融合3个方面^[42]，因此，本文参考经验文献，从人的融合、地的融合以及资本的融合3个方面构建指标体系（表2）。

表1 农业碳排放源、系数及来源

Table 1 Agricultural carbon emission sources, coefficients, and source of references

碳排放源	碳排放系数	参考来源
化肥/(kg/kg)	0.8956	美国橡树岭国家实验室
农药/(kg/kg)	4.9341	美国橡树岭国家实验室
柴油/(kg/kg)	0.5927	IPCC 联合国气候变化政府间专家委员会
农膜/(kg/kg)	5.1800	南京农业大学农业资源与生态环境研究所
翻耕/(kg/km ²)	312.6000	中国农业大学农学与生物技术学院
灌溉/(kg/km ²)	266.4800	南京农业大学农学院
牛/(kg/(头·年))	415.9100	IPCC 联合国气候变化政府间专家委员会
猪/(kg/(头·年))	34.0910	IPCC 联合国气候变化政府间专家委员会
羊/(kg/(只·年))	35.1918	IPCC 联合国气候变化政府间专家委员会
水稻/(kg/(m ² ·天))	3.1360	Wang 等 ^[38] 、Matthews 等 ^[39] 、Cao 等 ^[40]

表2 城乡融合发展评价指标体系

Table 2 Indicator system of urban-rural integration development evaluation

维度	指标	计算公式	类型
人的融合	城乡居民人均收入比/%	城镇居民家庭人均全年可支配收入/农村居民家庭人均全年可支配收入(对比)	-
	城乡居民人均消费比/%	城市家庭人均消费/农村家庭人均消费(对比)	-
	城乡恩格尔系数比/%	城市恩格尔系数/农村恩格尔系数(对比)	+
	城乡居民城乡家庭文教娱乐支出比/%	城市居民家庭文教娱乐支出/农村居民家庭文教娱乐支出(对比)	-
	城市化水平/%	城镇人口数/总人口数(状态)	+
地的融合	人均私人汽车拥有量/(辆/千人)	私人汽车拥有量/总人口(动力)	+
	交通网密度/(km/km ²)	公路与铁路运营总里程/区域总面积(状态)	+
	人均邮电业务量/(万元/人)	邮电业务总量/总人口(状态)	+
	农地面积占比/%	农作物播种面积/总面积(状态)	+
资本的融合	城乡人均医疗保健支出比/%	城市人均医疗保健支出/农村人均医疗保健支出(对比)	-
	城乡居民基本养老保险支出比/%	城乡居民基本养老保险支出/地方财政一般预算支出(动力)	+
	城乡居民失业保险参保人数比/%	城乡居民失业参保人数/总人数(动力)	+

在该指标体系中,“人”的融合是指城乡间人口的互动融合,进而推动以人为本的知识和生活水平趋同,具体反映在城乡居民收入、城乡居民消费等融合情况。“地”的融合是指城乡空间的融合情况以及城乡间土地资源的空间布局,城乡地域空间的融合关键在于要素流动网络的构建,其发展水平通过交通基础设施完备程度指标“交通网密度”“私人汽车拥有量”和信息流通指标“人均邮电业务量”来体现。同时,城乡融合旨在推动农业农村发展,而土地是农业发展的根基,也是农村发展的最重要的资源。据此,本文将“农地面积占比”纳入指标体系,通过土地资源以及农业用地的开发和利用情况,反映城市和工业在城乡融合进程中对农业农村的反哺效果。“资本”的融合则强调的是社会资本在城乡间的分配情况,即城乡居民在社会公共福利中能够享受到同等待遇。在此基础上,文章采用熵权法对指标权重进行测算,并通过计算得出城乡融合发展水平指数。

3.2.3 控制变量

除上述核心解释变量外,本文还选取一系列控制变量,以控制其他可能影响农业碳排放效率的因素。①财政支农(*gov*)。采用农业财政支出与GDP比值来测度财政支农程度;②受灾程度(*disaster*)。采用受灾面积与农作物总播种面积比值来度量;③土地经营规模(*scale*)。采用农作物总播种面积与农林牧渔从业人数的比值来测度土地经营规模;④

土地质量(*quality*)。使用灌溉面积与总播种面积的比值作为土地质量代理变量;⑤人力资本水平(*human*)。采用中国人力资本与劳动经济研究中心公布的权威数据,即以Jorgenson-Fraumeni(J-F)终身收入法的终生收入法基础,并采用Mincer基本收入方程估算实际人均人力资本来衡量地区人力资本水平;⑥环境规制(*regulation*)。采用地区污染治理投资占GDP比重衡量环境规制力度;⑦农业结构系数(*structure*)。使用粮食作物播种面积与农作物总播种面积比值反映农业生产结构。

3.3 数据来源

本文的样本数据是以中国各省份为单元的面板数据集,涵盖30个省份(因数据缺失,不包括西藏和港澳台地区);考虑城乡融合数据可得性,样本数据的时间跨度为2005—2020年。其中,人力资本数据来源于中国人力资本与劳动经济研究中心;其他数据均来自于各省级统计年鉴、中国国家统计局、中国人民银行、《中国农村统计年鉴》《中国金融年鉴》以及CCER经济金融数据库。其中部分缺失数据使用差值法补齐。

4 结果与分析

4.1 基准回归分析

在不考虑空间自相关的情况下,对基准方程(1)进行回归,根据Hausman检验结果,本文采用固定效应模型进行估计。

表3列(1)为城乡融合对农业碳排放效率的影

表3 基准方程回归结果

Table 3 Benchmark regression results

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
	<i>CMI</i>	<i>EC</i>	<i>TC</i>	<i>CMI</i>	<i>EC</i>	<i>TC</i>	<i>MI</i>
	固定效应	固定效应	固定效应	随机效应	随机效应	随机效应	IV-2SLS
<i>Ur</i>	-0.179** (-2.15)	0.261*** (3.39)	-0.432*** (-5.86)	-0.171** (-2.47)	0.251*** (4.07)	-0.412*** (-6.95)	-0.892** (-2.36)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>_cons</i>	1.118*** (8.81)	1.158*** (9.88)	0.968*** (8.62)	1.014*** (13.64)	1.291*** (19.73)	0.754*** (12.00)	1.083*** (12.28)
Anderson canon. corr. LM statistic							18.295 {0.000}
Cragg-Donald Wald F statistic							18.689 [16.38]
<i>N</i>	450	450	450	450	450	450	450
<i>R</i> ²	0.095	0.150	0.247				0.092

注: *、**、*** 分别表示在 10%、5%、1% 的水平下显著。下同。() 内为 *t* 或 *z* 统计量; [] 内数值为 Stock-Yogo 检验 10% 水平上的临界值; { } 内数值为 Anderson 检验对应的 *p* 值。

响,结果显示,*Ur*的系数为-0.179,在5%的统计水平下显著为负,表明城乡融合对农业碳排放效率具有显著的抑制作用。为进一步检验其作用机制,将城乡融合与技术效率(*EC*)、技术进步(*TC*)分别进行回归。由表3列(2)可知,*Ur*的系数为0.261,在1%的统计水平下显著为正,即城乡融合对技术效率的提升具有促进作用。表3列(3)中*Ur*的系数为-0.432,说明城乡融合抑制了技术进步。列(4)~(6)为对应的随机效应检验,其显著性与固定效应模型回归结果保持一致。

为缓解城乡融合与农业碳排放效率之间可能存在的内生性问题,本文引入地形作为工具变量,地形作为自然因素不易受到人类活动影响,与农业碳排放效率不存在显著且直接的相关性,满足工具变量强外生性的基本假设。表3列(7)展示了工具变量的回归结果,可以发现,在考虑内生性问题后,城乡融合对农业碳排放效率依然表现出显著的负向影响,与基准回归相比并未出现本质变化,进而证明了基准回归结果的可靠性。

上述的实证研究表明城乡融合抑制了农业碳排放效率的提升。进一步将城乡融合指数分解为人的融合指数、地的融合指数和资本的融合指数,通过因子分析法深入分析其影响机制。表4中*F1*表示人的融合指数,*F2*表示地的融合指数,*F3*表示

资本的融合指数。

表4为分别加入*F1*、*F2*、*F3*后对农业碳排放效率、技术进步和技术效率影响的估计结果。从检验结果来看,人的融合是农业碳排放效率提升的关键所在,其作用效果主要体现在对技术效率的提升上。而地的融合和资本的融合虽然有助于技术效率的提升,但同时也抑制了技术进步,总体来看,均对农业碳排放效率具有显著的负向影响。其原因可能在于,地的融合和资本的融合需要耗费大量的人力、物力,挤占政府对绿色技术研发的投入,进而对技术进步和农业碳排放效率产生消极影响。

4.2 空间自相关检验

通过上文的分析可以发现,城乡融合发展抑制了农业碳排放效率的提升,阻碍了低碳农业发展。低碳农业发展的关键在于农户农业低碳生产行为的采纳^[43],而农户的行为意愿很大程度上可能受到邻近地区农户行为结果的影响^[44]。据此,本文采用莫兰指数对相邻地区间农业碳排放效率的空间相关关系进行检验。表5报告了莫兰指数计算结果,可以看出,除2007、2012、2017年外,其显著性水平均大于10%,表明中国30个省份的农业碳排放效率存在显著的空间相关性,由此证明了采用空间计量模型对本文论题进行研究的合理性。

2023年1月

表4 作用机制检验

Table 4 Test of action mechanism

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	<i>CMI</i>	<i>CMI</i>	<i>CMI</i>	<i>EC</i>	<i>EC</i>	<i>EC</i>	<i>TC</i>	<i>TC</i>	<i>TC</i>
<i>F1</i>	0.068*			0.073**			-0.005		
	(1.91)			(2.22)			(-0.16)		
<i>F2</i>		-0.018**			0.024***			-0.040***	
		(-2.38)			(3.34)			(-5.98)	
<i>F3</i>			-0.027***			0.025***			-0.053***
			(-2.72)			(2.67)			(-5.95)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>_cons</i>	1.417***	0.981***	1.115***	1.665***	1.347***	1.200***	0.765***	0.650***	0.927***
	(6.16)	(7.84)	(8.95)	(7.79)	(11.63)	(10.35)	(3.62)	(5.86)	(8.39)
<i>N</i>	450	450	450	450	450	450	450	450	450
<i>R</i> ²	0.093	0.097	0.101	0.137	0.149	0.141	0.184	0.249	0.249

表5 2006—2020年中国各省农业碳排放效率的

Moran's *I*指数值Table 5 Moran's *I* index values for the efficiency of agricultural carbon emissions in China, 2006-2020

年份	Moran's <i>I</i> 值	Z值	<i>P</i> 值
2006	0.136**	1.659	0.049
2007	0.033	0.604	0.273
2008	0.201**	2.205	0.014
2009	0.217***	2.399	0.008
2010	0.254***	2.687	0.004
2011	0.110*	1.364	0.086
2012	-0.037	-0.029	0.488
2013	-0.200**	-1.716	0.043
2014	-0.181*	-1.477	0.070
2015	-0.224**	-1.722	0.043
2016	0.256***	2.659	0.004
2017	-0.063	-0.267	0.395
2018	0.136*	1.538	0.062
2019	-0.191*	-1.415	0.078
2020	-0.182*	-1.377	0.084

4.3 空间计量模型估计

莫兰指数分析为空间效应提供了初步检验,为进一步分析城乡融合对农业碳排放效率的空间效应,结合LM和LR检验结果,本文采用空间自回归模型进行估计,估计结果如表6所示。

表6列(1)–(3)中,空间自回归系数 *Spatial rho* 的估计值均在1%水平下显著,表明本地区农业碳排放效率与相邻地区农业碳排放效率之间存在显

表6 空间自回归模型估计

Table 6 Estimation with spatial autoregression mode

	(1)	(2)	(3)
	<i>MI</i>	<i>EC</i>	<i>TC</i>
	<i>Main</i>	<i>Main</i>	<i>Main</i>
<i>Ur</i>	-0.112*	0.204***	-0.198***
	(-1.81)	(3.35)	(-4.45)
控制变量	控制	控制	控制
<i>_cons</i>	0.516***	1.004***	0.279***
	(6.30)	(10.29)	(5.25)
<i>Spatial rho</i>	0.511***	0.221***	0.670***
	(11.62)	(3.87)	(20.28)
<i>N</i>	450	450	450

著的空间自相关效应。在以上3列回归结果中,核心解释变量城乡融合(*Ur*)的系数分别在10%、1%和1%水平下显著,具体而言,本地区的城乡融合发展水平是否对邻近地区农业碳排放效率产生空间溢出效应,需对变量进行偏微分分解^[45]。

表7报告了进行偏微分分解后的估计结果,其中,直接效应表示本地区城乡融合对本地区农业碳排放效率的影响,间接效应表示本地区城乡融合对邻近地区农业碳排放效率的影响。由列(1)–(3)可知,在空间自回归模型估计下,城乡融合能够直接抑制本地区农业碳排放效率的提高,且通过了10%的显著性水平下检验。与直接效应相似,城乡融合空间溢出效应为-0.109,在10%的统计水平下显著为负,表明城乡融合对邻近区域的农业碳排放效率

表7 空间自回归模型估计

Table 7 Spatial autoregression model estimation

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
	<i>CMI</i>	<i>CMI</i>	<i>CMI</i>	<i>EC</i>	<i>EC</i>	<i>EC</i>	<i>TC</i>	<i>TC</i>	<i>TC</i>
	总效应	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应
<i>Ur</i>	-0.232*	-0.123*	-0.109*	0.260***	0.205***	0.055**	-0.607***	-0.234***	-0.373***
	(-1.84)	(-1.87)	(-1.77)	(3.41)	(3.38)	(2.53)	(-4.60)	(-4.65)	(-4.31)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制	控制
<i>N</i>	450	450	450	450	450	450	450	450	450

同样具有显著的负向作用。为了进一步探究城乡融合对农业碳排放效率的空间影响机制,将农业碳排放效率指数分解成技术效率指数和技术进步指数。由列(4)–(6)可知,在技术效率方面,直接效应为0.205,在1%的统计水平下显著为正,间接效应为0.055,在5%的统计水平下显著为正,表明城乡融合的发展能够改善本地区和邻近地区的技术效率。列(7)–(9)为加入城乡融合与技术进步指数项后的估算结果,显示城乡融合对技术进步的直接效应和间接效应分别为-0.234和-0.373,且均在1%的统计水平下显著为负,说明城乡融合的发展抑制本地区和相邻地区的技术进步。原因在于:一方面城乡融合发展实现了资源要素在城乡间的双向流动,资源配置的不断优化使得技术效率得到有效改善。另一方面,中国目前仍处于发展中国家阶段,尤其在经济欠发达的地区,由于财政收入有限,基础设施落后等原因,城乡融合所需耗费的资金占比相对更高,挤占了对生态环境及技术研发的投入,从而抑制了低碳农业技术进步。此外,本地区技术效率和技术进步的改变对相邻地区能够产生示范带动效应,致使邻近地区城乡融合对农业碳排放效率的影响亦呈现类似规律。

4.4 门槛效应回归结果

结合前文理论分析可知,由于受不同经济发展水平的影响,城乡融合对农业碳排放效率的影响可

能存在明显的非线性特征,即伴随着经济发展水平的提高,城乡融合对农业碳排放效率的影响可能还会发生转折式或跳跃式变迁,而非单一的线性变化。据此,基于动态分析的视角,为进一步探究城乡融合对农业碳排放效率的非线性影响,采用门槛模型检验城乡融合对农业碳排放效率的影响是否受到经济发展水平的约束。表8门槛检验结果显示,经济发展水平依次通过了单一门槛和双重门槛检验,但未通过三重门槛检验。表明当经济发展水平作为门槛变量时,存在双重门槛效应。

表9汇报了相应的门槛区间以及回归系数,当 $RGDP \leq 1.760$,即经济发展处于较低水平时,城乡融合对农业碳排放效率表现出较强的抑制效应。当经济发展到中等水平,即 $1.760 < RGDP \leq 5.513$ 时,城乡融合虽对农业碳排放效率仍表现出负向影响,但已有所缓和。当 $RGDP > 5.513$,即经济发展水平较高时,城乡融合对农业碳排放效率的影响显著为正,表明此时城乡融合发展能够显著提升农业碳排放效率。从而说明了城乡融合对农业碳排放效率的影响呈阶梯式“U”型曲线关系,进一步验证了假说H2。即当经济发展水平较低时,城乡融合对技术进步效应的抑制效应大于对技术效率的促进效应,此时城乡融合对农业碳排放效率表现出负向影响。随着经济发展水平的提升,城乡融合发展对低碳技术进步效应的抑制效应逐渐减弱,当经济发展

表8 门槛效应检验

Table 8 Threshold effect test

门槛变量	门槛个数	<i>F</i> 统计量	<i>P</i> 值	1%临界值	5%临界值	10%临界值
<i>RGDP</i>	单一门槛	18.875	0.010	18.184	12.376	11.001
	双重门槛	19.746	0.000	16.310	12.958	10.115
	三重门槛	5.220	0.347	20.664	14.185	11.819

2023年1月

表9 门槛值估计结果

Table 9 Threshold estimation results

门槛变量	门槛区间	回归系数
RGDP	$RGDP \leq 1.760$	-0.527***
	$1.760 < RGDP \leq 5.513$	-0.140
	$RGDP > 5.513$	0.256***

达到较高水平时,城乡融合对技术效率的促进效应占据主导,总体上城乡融合提高了农业碳排放效率。

5 结论与政策建议

5.1 结论

本文从理论层面分析了城乡融合对农业碳排放效率的影响及其机理,并基于熵权法和EBM-GML模型,测算城乡融合发展水平和农业碳排放效率,在此基础上,采用空间自回归模型实证检验了2005—2020年城乡融合对农业碳排放效率的影响机制。最后,从经济发展水平的视角切入,运用门槛模型,考察了城乡融合与农业碳排放效率之间的非线性关系。主要结论如下:

(1)城乡融合发展抑制了农业碳排放效率的提升,且存在负向的空间溢出效应。表明城乡融合发展不仅对本地区农业碳排放效率的提升产生负向影响,同时也抑制了邻近地区农业碳排放效率的提升。将农业碳排放效率进一步分解为技术效率与技术进步后,发现城乡融合发展改善了本地区及邻近地区的技术效率,但在一定程度上阻碍了技术进步,进而遏制农业碳排放效率增长。

(2)城乡融合对农业碳排放效率的影响呈现出不同维度的异质性。在城乡融合发展过程中,人的融合是农业碳排放效率提升的关键所在,其作用效果主要体现在对技术效率的提升上,对技术进步的影响并不显著。而地的融合和资本的融合虽然有助于技术效率的提升,但同时也抑制了技术进步,从而抑制了农业碳排放效率的提升。

(3)面板门槛回归结果显示,经济发展在城乡融合对农业碳排放效率的影响中存在双重门槛效应。当经济发展水平低于门槛值1.760时,城乡融合的发展将抑制农业碳排放效率的提升;当经济发展水平处于门槛值1.760和门槛值5.513之间时,城乡融合仍然对农业碳排放效率产生负向作用,但其

作用效果明显减弱;当经济发展水平高于门槛值5.513时,城乡融合发展将有助于农业碳排放效率的提升。整体来看,在不同经济发展水平下,城乡融合与农业碳排放效率呈阶梯式“U”型曲线关系。

5.2 政策建议

基于上述研究结论并结合中国农业低碳发展现状,本文提出以下政策建议:

(1)城乡融合与绿色技术创新协同发展。研究表明,城乡融合发展通过阻碍前沿技术进步降低了农业碳排放效率。因此,地方政府应合理分配财政支出,满足绿色技术研发所需的基本财政支持,兼顾前沿技术研发投入与城乡一体化建设的内在平衡。同时,充分发挥财税政策的支持和引导作用,建立健全激励绿色技术创新的税收、补贴、信用等政策,激发绿色技术研发活力,加快农用能源领域关键核心技术的攻关,以此减少城乡融合进程中农业碳排放的效率损失。

(2)持续推进城乡融合发展战略,构建以“人”的融合为核心,统筹“地”“资本”融合的新型发展格局。研究表明,城乡融合对农业碳排放效率的提升主要体现在“人”的融合中。因此,在城乡融合发展进程中,应以“人”的融合为核心,在培养农户增收能力,缩小城乡居民生活水平差距的同时,优化城乡间劳动力分布结构,健全人才向专业岗位流动、向基层流动的激励机制。与此同时,逐步推进“地”“资本”融合,通过加快户籍制度改革准确把握城乡空间重构趋势,并进一步完善文化、医疗等普惠性公共服务体系,实现城乡空间布局一体化和城乡公共福利均等化,为兼顾城乡融合发展与低碳目标实现提供新发展思路。

(3)城乡融合与区域经济协同发展。经济发展水平不仅会影响政府财政能力,更关系到农户绿色生产意愿。因此,各级政府在实施城乡融合进程中,应充分保障区域经济建设,推动城乡融合与经济协调发展。对于经济发展水平较高的地区,进一步构建以人口融合、用地融合、资本融合为主导,以产业融合、生态环境融合、科教融合为抓手的多维城乡融合发展体系。对于经济发展水平较低且增速较缓的地区,确保经济持续健康发展,在追求经济效益的同时,提高低碳生产意识,避免以牺牲环

境为代价达到经济增速的目的。在此前提下,通过加快经济建设,为统筹推进生态环境治理与城乡融合发展奠定物质基础,实现社会效益与绿色效率双赢。此外,进一步探索构建多维度城乡融合发展体系,从县域角度探索全国范围多尺度城乡收入空间特征及不同尺度城乡收入形成机制是今后研究方向。

如何提高农业碳排放效率是当前学术界研究的热点议题。本文结合理论分析和实证研究,以城乡融合为切入点,探讨了对农业碳排放效率的影响,取得了诸多有价值的结论,但仍存在以下不足:①城乡融合的内涵正在持续丰富和升华,本文从“人”“地”“资本”3个维度构建指标体系,衡量方式仍需完善。后续研究可考虑将以上3个维度进行细化,构建以人口融合、用地融合、资本融合、产业融合、生态环境融合、科教融合等为主体的多维城乡融合发展体系,深入探究城乡融合对农业碳排放效率的影响。②从现实来看,城乡融合率先从县域范围开展,从省域层面进行研究稍显不足。但考虑到数据可得性,本文采用省域面板数据,后续若数据可得,可从县域层面展开研究。

参考文献(References):

- [1] Zhou P F, Yang S Y, Wu X H, et al. Calculation of regional agricultural production efficiency and empirical analysis of its influencing factors—based on DEA-CCR model and Tobit model[J]. *Journal of Computational Methods in Sciences and Engineering*, 2022, 22(23): 1-14.
- [2] 谢秋山, 陈世香. 中国农民公共就业服务政策演变的逻辑、趋势与展望[J]. *中国农村经济*, 2021, (2): 42-58. [Xie Q S, Chen S X. The evolution logic, trends and prospects of Chinese farmers' public employment services policies since 1949[J]. *China Rural Economy*, 2021, (2): 42-58.]
- [3] 杜国明, 刘美. 基于要素视角的城乡关系演化理论分析[J]. *地理科学进展*, 2021, 40(8): 1298-1309. [Du G M, Liu M. A factor-based theoretical analysis of urban-rural relationship change[J]. *Progress in Geography*, 2021, 40(8): 1298-1309.]
- [4] 曾亿武, 宋逸香, 林夏珍, 等. 中国数字乡村建设若干问题刍议[J]. *中国农村经济*, 2021, (4): 21-35. [Zeng Y W, Song Y X, Lin X Z, et al. Some humble opinions on China's digital village construction[J]. *Chinese Rural Economy*, 2021, (4): 21-35.]
- [5] 黄燕芬, 张超. “十四五”期间健全城乡融合发展机制研究[J]. *中国人口科学*, 2021, (1): 12-22. [Huang Y F, Zhang C. Research on improving the mechanism for an integrated urban-rural development during the 14th five-year plan period[J]. *Chinese Journal of Population Science*, 2021, (1): 12-22.]
- [6] 张博胜, 杨子生. 中国城乡协调发展与农村贫困治理的耦合关系[J]. *资源科学*, 2020, 42(7): 1384-1394. [Zhang B S, Yang Z S. Coupling relationship between urban-rural coordinated development and rural poverty governance[J]. *Resources Science*, 2020, 42(7): 1384-1394.]
- [7] 许彩玲, 李建建. 城乡融合发展的科学内涵与实现路径: 基于马克思主义城乡关系理论的思考[J]. *经济学家*, 2019, (1): 96-103. [Xu C L, Li J J. The scientific connotation and realization path of urban and rural integration development: Thought based on the Marxist theory of urban-rural relations[J]. *Economist*, 2019, (1): 96-103.]
- [8] 方创琳. 城乡融合发展机理与演进规律的理论解析[J]. *地理学报*, 2022, 77(4): 759-776. [Fang C L. Theoretical analysis on the mechanism and evolution law of urban-rural integration development[J]. *Acta Geographica Sinica*, 2022, 77(4): 759-776.]
- [9] 岳文泽, 钟鹏宇, 甄延临, 等. 从城乡统筹走向城乡融合: 缘起与实践[J]. *苏州大学学报(哲学社会科学版)*, 2021, 42(4): 52-61. [Yue W Z, Zhong P Y, Zhen Y L, et al. From urban-rural coordination to urban-rural integration: The origin and practice[J]. *Journal of Soochow University (Philosophy & Social Science Edition)*, 2021, 42(4): 52-61.]
- [10] Rao C J, Gao Y. Evaluation mechanism design for the development level of urban-rural integration based on an improved TOPSIS method[J]. *Mathematics*, 2022, DOI: 10.3390/math10030380.
- [11] 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, DOI: 10.1016/j.scs.2019.101877.
- [12] 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.]
- [13] Shan B Y, Zhang Q, Ren Q X, et al. Spatial heterogeneity of urban-rural integration and its influencing factors in Shandong Province of China[J]. *Scientific Reports*, 2022, DOI: 10.1038/s41598-022-18424-0.
- [14] Kaya Y, Yokobori K. *Environment, Energy, and Economic: Strategies for Sustainability*[M]. Tokyo: United Nations University Press, 1997.
- [15] Guo X J, Wang X, Wu X L, et al. Carbon emission efficiency and low-carbon optimization in Shanxi Province under “dual carbon”

2023年1月

- background[J]. *Energies*, 2022, DOI: 10.3390/en15072369.
- [16] 闫东升, 孙伟. 长江三角洲一体化区域扩容对城市碳排放强度的影响评估与机制[J]. *资源科学*, 2022, 44(7): 1358–1372. [Yan D S, Sun W. Impact of regional integration area enlargement on urban carbon emission intensity and mechanism: An empirical study based on the Yangtze River Delta[J]. *Resources Science*, 2022, 44(7): 1358–1372.]
- [17] 马大来, 陈仲常, 王玲. 中国省际碳排放效率的空间计量[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(1): 67–77. [Ma D L, Chen Z C, Wang L. Spatial econometrics research on inter-provincial carbon emissions efficiency in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015, 25(1): 67–77.]
- [18] 郭四代, 钱昱冰, 赵锐. 西部地区农业碳排放效率及收敛性分析: 基于SBM-Undesirable模型[J]. *农村经济*, 2018, (11): 80–87. [Guo S D, Qian Y B, Zhao R. Analysis of the efficiency and convergence of agricultural carbon emissions in the western region based on the SBM-Undesirable model[J]. *Rural Economy*, 2018, (11): 80–87.]
- [19] 展进涛, 徐钰娇, 葛继红. 考虑碳排放成本的中国农业绿色生产率变化[J]. *资源科学*, 2019, 41(5): 884–896. [Zhan J T, Xu Y J, Ge J H. Change in agricultural green productivity in China considering the cost of carbon emissions[J]. *Resources Science*, 2019, 41(5): 884–896.]
- [20] 吴贤荣, 张俊飏, 田云, 等. 中国省域农业碳排放: 测算、效率变动及影响因素研究: 基于DEA-Malmquist指数分解方法与Tobit模型运用[J]. *资源科学*, 2014, 36(1): 129–138. [Wu X R, Zhang J B, Tian Y, et al. Provincial agricultural carbon emissions in China: Calculation, performance change and influencing factors [J]. *Resources Science*, 2014, 36(1): 129–138.]
- [21] 张杰, 陈海, 刘迪, 等. 农户农业碳排放效率差异及多层次影响因素: 以陕西省米脂县为例[J]. *中国农业资源与区划*, 2022, 43(9): 90–100. [Zhang J, Chen H, Liu D, et al. Differences in carbon emission efficiency of farmers and its' multi-level influencing factors: A case of Mizhi County, Shanxi Province, China[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(9): 90–100.]
- [22] 郑阳阳, 罗建利. 农业生产效率的碳排放效应: 空间溢出与门槛特征[J]. *北京航空航天大学学报(社会科学版)*, 2021, 34(1): 96–105. [Zheng Y Y, Luo J L. Effect of agricultural production efficiency on carbon emissions: Spatial spillovers and threshold characteristics[J]. *Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics (Social Sciences Edition)*, 2021, 34(1): 96–105.]
- [23] 张永强, 田媛, 王珏, 等. 农村人力资本、农业技术进步与农业碳排放[J]. *科技管理研究*, 2019, 39(14): 266–274. [Zhang Y Q, Tian Y, Wang Y, et al. Rural human capital, agricultural technology progress and agricultural carbon emissions[J]. *Science and Technology Management Research*, 2019, 39(14): 266–274.]
- [24] 侯孟阳, 姚顺波. 空间视角下中国农业生态效率的收敛性与分异特征[J]. *中国人口·资源与环境*, 2019, 29(4): 116–126. [Hou M Y, Yao S B. Convergence and differentiation characteristics on agro-ecological efficiency in China from a spatial perspective[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2019, 29(4): 116–126.]
- [25] 曾亿武, 宋逸香, 林夏珍, 等. 中国数字乡村建设若干问题刍议[J]. *中国农村经济*, 2021, (4): 21–35. [Zeng Y W, Song Y X, Lin X Z, et al. Some humble opinions on China's digital village construction[J]. *Chinese Rural Economy*, 2021, (4): 21–35.]
- [26] 李兰冰, 高雪莲, 黄玖立. “十四五”时期中国新型城镇化发展重大问题展望[J]. *管理世界*, 2020, 36(11): 7–22. [Li L B, Gao X L, Huang J L. Prospects for major issues of China's new urbanization development during the “14th Five-Year Plan” period[J]. *Journal of Management World*, 2020, 36(11): 7–22.]
- [27] 徐盈之, 杨英超, 郭进. 环境规制对碳减排的作用路径及效应: 基于中国省级数据的实证分析[J]. *科学学与科学技术管理*, 2015, 36(10): 135–146. [Xu Y Z, Yang Y C, Guo J. The paths and effects of environmental regulation on China's carbon emissions: An empirical study based on Chinese provincial data[J]. *Science of Science and Management of S.& T*, 2015, 36(10): 135–146.]
- [28] 宋洪远. 智慧农业发展的状况、面临的问题及对策建议[J]. *人民论坛·学术前沿*, 2020, (24): 62–69. [Song H Y. The status and problems of smart agriculture development and responses[J]. *Frontiers*, 2020, (24): 62–69.]
- [29] Gbadegesin T, Popoola L, Muhoni L. Transaction cost factors affecting the economic life of smallholder paddy farmers in Tanzania [J]. *African Journal of Sustainable Development*, 2019, 9(1): 23–40.
- [30] Qi J C, Liu H P, Liu X P, et al. Spatiotemporal evolution analysis of time-series land use change using self-organizing map to examine the zoning and scale effects[J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2018, 76: 11–23.
- [31] Liu C H, Zheng H W. How social capital affects willingness of farmers to accept low-carbon agricultural technology (LAT)? A case study of Jiangsu, China[J]. *International Journal of Climate Change Strategies and Management*, 2021, 13(3): 286–301.
- [32] Niu Z H, Yi F, Chen C. Agricultural insurance and agricultural fertilizer non-point source pollution: Evidence from China's policy-based agricultural insurance pilot[J]. *Sustainability*, 2022, DOI: 10.3390/su14052800.
- [33] 岳立, 曹雨暄, 王宇. 能源政策的区域碳减排效应[J]. *资源科学*, 2022, 44(6): 1105–1118. [Yue L, Cao Y X, Wang Y. Effect of energy policies on regional carbon emission reduction[J]. *Resources Science*, 2022, 44(6): 1105–1118.]

- [34] 王克强, 李国祥. 环境规制的环境-经济效应研究[J]. 商业研究, 2020, (2): 34-43. [Wang K Q, Li G X. On environment-economy effects of environmental regulation[J]. Commercial Research, 2020, (2): 34-43.]
- [35] 朱俊峰, 邓远远. 农业生产绿色转型: 生成逻辑、困境与可行路径[J]. 经济体制改革, 2022, (3): 84-89. [Zhu J F, Deng Y Y. Green transformation of agricultural production: Logic of formation, dilemma and practical strategy[J]. Reform of Economic System, 2022, (3): 84-89]
- [36] 于斌斌, 苏宜梅. 土地财政如何影响土地利用效率: 基于规模与技术视角的动态空间杜宾模型检验[J]. 地理研究, 2022, 41(2): 527-545. [Yu, B B, Su Y M. How does land finance affect land use efficiency? Dynamic space Durbin model test based on the perspective of scale and technology[J]. Geographical Research, 2022, 41(2): 527-545.]
- [37] 田云, 林子娟. 中国省域农业碳排放效率与经济增长的耦合协调[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(4): 13-22. [Tian Y, Lin Z J. Coupling coordination between agricultural carbon emission efficiency and economic growth at provincial level in China[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(4): 13-22.]
- [38] Wang M X, Dai A G, Shen R X, et al. CH₄ emission from a Chinese rice paddy field[J]. Acta Meteorologica Sinica, 1990, 4(3): 265-275.
- [39] Matthews E, Fung I, Lerner J. Methane emission from rice cultivation: Geographic and seasonal distribution of cultivated areas and emissions[J]. Global Biogeochemical Cycles, 1991, 5(1): 3-24.
- [40] Cao M K, Dent J B, Heal O W. Methane emissions from China's paddyland[J]. Agriculture, Ecosystems and Environment, 1995, 55(2): 129-137.
- [41] 周佳宁, 邹伟, 秦富仓. 等值化理念下中国城乡融合多维审视及影响因素[J]. 地理研究, 2020, 39(8): 1836-1851. [Zhou J N, Zou W, Qin F C. Review of urban-rural multi-dimensional integration and influencing factors in China based on the concept of equivalence[J]. Geographical Research, 2020, 39(8): 1836-1851.]
- [42] 刘明辉, 卢飞. 城乡要素错配与城乡融合发展: 基于中国省级面板数据的实证研究[J]. 农业技术经济, 2019, (2): 33-46. [Liu M H, Lu F. Study on the influence of factor mismatch on urban-rural integration development: Evidence from Chinese provincial panel data[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2019, (2): 33-46.]
- [43] 胡保玲. 关系网络结构对农户低碳农业技术采用意愿的影响[J]. 经济与管理评论, 2016, 32(1): 38-44. [Hu B L. Impact of the structure of relationship network on the farmers' willingness to adopt low-carbon agricultural technologies[J]. Review of Economics and Management, 2016, 32(1): 38-44.]
- [44] 庞洁, 丘水林, 靳乐山. 生态补偿政策对农户湿地保护意愿及行为的影响研究: 以鄱阳湖为例[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(12): 2982-2991. [Pang J, Qiu S L, Jin L S. Effect of eco-compensation policy on farmers' willing and behavior of wetlands ecological protection: Based on Poyang lake[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2021, 30(12): 2982-2991.]
- [45] 赵涛, 张智, 梁上坤. 数字经济、创业活跃度与高质量发展: 来自中国城市的经验证据[J]. 管理世界, 2020, 36(10): 65-76. [Zhao T, Zhang Z, Liang S K. Digital economy, entrepreneurship and high-quality development: Empirical evidence from urban China [J]. Journal of Management World, 2020, 36(10): 65-76.]

Impact and its mechanism of urban–rural integration on the efficiency of agricultural carbon emissions in China

XIE Huiqiang, WU Xiaodi

(School of Economics, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: [Objective] Urban-rural integration, as an important means to improve the efficiency of agricultural production factor allocation, is a key factor that influences agricultural carbon emission efficiency. [Methods] This study explored the effect of urban-rural integration development on agricultural carbon emission efficiency and its mechanism of action using a combination of fixed effects model, spatial autoregressive model, and threshold effect model, based on measuring the level of urban-rural integration development and agricultural carbon emission efficiency using provincial panel data from 2005 to 2020 in China. [Results] The study found that: (1) On the whole, urban-rural integration development had a significant negative effect on agricultural carbon emission efficiency. The mechanism test showed that urban-rural integration development helped to improve the efficiency of low-carbon technologies in agriculture, but also had a significant negative impact on frontier technological progress, which in turn was not conducive to improving the efficiency of agricultural carbon emissions. The above findings still hold true under the spatial spillover perspective. (2) From the perspective of different dimensions of urban-rural integration development, “human resource integration” can effectively improve agricultural carbon emission efficiency by improving technical efficiency. Although both “land integration” and “capital integration” had a positive impact on technical efficiency, they were negatively constrained by technological progress, which ultimately hindered the overall improvement of agricultural carbon emission efficiency. (3) The threshold econometric analysis found that the level of regional economic development was a significant threshold variable that constrained the relationship between urban-rural integration development and agricultural carbon emission efficiency. When the level of regional economic development moved past the threshold, urban-rural integration development was able to produce a significant enhancement effect on agricultural carbon emission efficiency. [Conclusion] Therefore, in the process of promoting integrated urban-rural development, local governments should take into account the level of regional economic development and focus on building a system and mechanism for integrating “people” as the core and “land” and “capital” as a whole. This will create the conditions for the coordinated development of urban and rural areas as an opportunity to achieve high-quality development of low-carbon agriculture.

Key words: urban-rural integration; agricultural carbon emission efficiency; level of economic development; spatial autoregression model; threshold effect; China