

引用格式: 苏培添, 王磊. 数字普惠金融对中国农业碳排放强度影响的空间效应与机制[J]. 资源科学, 2023, 45(3): 593–608. [Su P T, Wang L. Spatial effect of digital inclusive finance on agricultural carbon emission intensity and mechanism[J]. Resources Science, 2023, 45(3): 593–608.] DOI: 10.18402/resci.2023.03.10

数字普惠金融对中国农业碳排放强度影响的空间效应与机制

苏培添¹, 王磊^{1,2}

(1. 浙江农林大学经济管理学院, 杭州 311300; 2. 浙江农林大学茶学与茶文化学院, 杭州 311300)

摘要:【目的】数字普惠金融成为降低农业碳排放强度的重要路径, 本文旨在展开二者之间的关系探讨。【方法】从空间效应及影响机制切入, 运用中国2011—2020年31个省份的数字普惠金融及农业碳排放强度数据, 基于核密度估计以及空间自相关分析农业碳排放强度的演化特征, 利用动态杜宾模型以及中介效应等模型分析数字普惠金融对农业碳排放强度的影响。【结果】研究表明: ①农业碳排放强度水平在持续下降, 空间异质性较强, 呈现出明显的集聚特征, 而数字普惠金融与农业碳排放强度的空间叠加形态存在一定的错位发展特征。②数字普惠金融对农业碳排放强度表现出显著的负向效应, 基于内生性检验、剔除样本及政策效应检验发现结论具有稳健性。数字普惠金融覆盖广度及数字化水平能显著抑制农业碳排放强度。③数字普惠金融通过影响农业技术创新水平及农业创业活跃度影响农业碳排放水平。而城镇化水平及市场化水平具有显著的调节作用, 能够强化数字金融减碳的效应。【结论】建议进一步优化数字普惠金融支持低碳农业发展的组织模式、加强数字基础设施体系建设以激发农业创新创业活力, 以此助推低碳农业发展。

关键词: 数字普惠金融; 农业碳排放强度; 空间溢出效应; 影响机制; 动态杜宾模型; 中国

DOI: 10.18402/resci.2023.03.10

1 引言

随着全球变暖带来的危害逐步加深, 气候变暖成为全人类亟待解决的关键难题。而碳排放是影响全球气候变暖的重要因素, 减少温室气体排放成为中国现阶段发展的重要目标。作为农业大国, 中国农业碳排放量约占中国总排放量的17%, 而农业作为温室气体排放的重要部门经常被忽视。确保农业实现2030年前碳达峰、2060年前碳中和, 成为推动中国农业可持续发展的重要目标之一。此外, 农业作为经济发展的基础性产业, 能为经济社会发展提供基本供给, 但农业生产易受环境变化影响, 气候变暖带来的环境不确定性会降低农业生产力^[1]。因此, 降低农业碳排放既能推动区域经济高质量发展, 也能为农业自身发展的可持续性提供动力。

与此同时, 伴随着数字经济不断发展, 数字普惠金融依托于大数据及网络平台, 服务空间持续扩展, 使得数字普惠金融带来的金融产品也渗透进农业领域。而数字普惠金融兼具数字化与普惠性两种特性, 不仅能够推动农业生产方式转型升级, 还可以促进数字化与智能化的农业生产模式广域覆盖, 对于强化农业绿色技术创新以及提升农业生产效应有重要的潜力^[2,3]。那么, 数字普惠金融能否推动农业高效低碳生产? 又是通过什么机制来实现? 对上述问题展开研究, 对于降低农业生产的碳排放强度、强化农业可持续发展能力有着重要的现实意义与理论价值。

农业碳减排的重要性使得该问题受到学术界的持续关注, 相关研究不断涌现, 已逐渐形成研究

收稿日期: 2022-12-06, 修订日期: 2023-02-09

基金项目: 国家社会科学基金项目(19BGL174)。

作者简介: 苏培添, 男, 福建泉州人, 博士研究生, 研究方向为农林经济管理与低碳经济。E-mail: spt1631@163.com

通讯作者: 王磊, 男, 湖南醴陵人, 教授, 博士生导师, 研究方向为农林经济管理。E-mail: waleland@foxmail.com

体系,主要聚焦于以下几个方面:①农业碳排放的测度,由于农业碳排放的来源较多,基于碳源不同,学者们主要关注种植业碳排放^[4]、畜牧业碳排放^[5]、农业能源碳排放^[6]以及基于全生命周期核算的农业碳足迹^[7]等视角;此外,农业碳排放效率测度也是学界关注的重点,一类研究是基于单一要素展开农业碳排放效率测度,主要是以碳排放量与农业经济产出比值来测度农业碳排放强度^[8],还有一类研究是基于多个要素来展开碳排放效率测度,从全要素视角来测度农业碳排放效率^[9]。②农业碳排放影响因素研究,在水土资源视角,Zhao等^[10]基于农业碳排放估算和省级水土资源匹配度(MDWL),采用对数平均除法指数(LMDI)模型探讨了水土资源开发与农业碳排放的关系;在农业技术创新视角,田云等^[11]基于回弹效应与空间溢出效应分析技术进步对农业能源碳排放强度的影响,结果发现技术进步对农业能源碳排放强度具有显著负向作用以及空间溢出效应;此外,产业集聚^[12]、农业发展政策^[13]以及农业专业化发展^[14]也被学者认为是影响农业碳排放的关键因素。

与本文主题相关的另一类文献是数字普惠金融与农业碳排放强度的关系研究,直接探讨两者关系的文献相对较少,较多研究聚焦于讨论金融发展与碳排放之间的关系,但是金融发展能否促进碳减排还未得出一致性结论。在关于金融发展能减少碳排放的研究方面,部分学者基于资源配置视角分析金融发展的促减排作用,认为金融是影响资源利用与效率提升的关键因素,金融部门的发展有利于以更低的成本提供更多的绿色发展融资,推动低碳发展^[15];另一部分学者则认为金融可以通过提升技术创新水平影响碳排放^[16];还有学者发现金融市场的优化在机制创新上会给碳减排提供动力^[17]。另一方面,许多研究认为金融发展不能降低碳排放,陈亮等^[18]基于中国30个省域碳排放数据分析金融发展与碳排放之间关系,发现金融发展不能有效降低碳排放;Zhang^[19]则基于协整理论、格兰杰因果关系检验、方差分解等方法探究金融发展对中国碳排放的影响,结果发现金融规模的增加会提升碳排放;陈向阳^[20]则探究金融结构与碳排放之间的关系,发现银行为主导的金融结构是碳排放增加的关键因

素。综上所述,由于研究视角及方法差异,金融发展与碳排放之间的关系还有所争议。而数字普惠金融作为数字经济与普惠性金融协同发展下的产物,对于改变传统金融服务模式,提升农业金融可得性,优化农业资源配置效率有一定作用,应具有促进农业碳减排的潜力^[21],这使得进行数字普惠金融与农业碳排放之间的相关关系研究存在一定的扩展空间。

基于此,本文根据2011—2020年31个省份数据,首先,分析数字普惠金融与农业碳排放强度的发展特征,并基于动态杜宾模型分析数字普惠金融对农业碳排放强度的影响;然后,通过动态杜宾模型与中介效应模型结合探究农业技术创新与农业创业活跃度的中介作用;最后,探究了城镇化水平、政府引导及市场化水平的调节效应。综合分析数字普惠金融对农业碳排放强度的影响,以期为推动绿色农业、农业可持续发展及双碳目标实现提供理论支撑和科学依据。

2 理论分析

2.1 数字普惠金融对农业碳排放强度的影响

数字普惠金融主要通过以下效应直接影响农业碳排放。一是资源配置优化效应,在农业领域,粗放式、高碳化的农业生产将会带来更多的负向外性,增加农业碳排放,而精细化、低碳化的农业生产方式将会带来正向的外性,有助于减小农业碳排放强度。数字普惠金融体系的发展通过优化资源配置,提高绿色全要素生产率^[22]。具体而言,数字普惠金融可以通过提高农村金融效率、降低农业融资成本,提高预期产出,提高农业绿色全要素生产率。而且数字普惠金融通过打破时间和空间限制,降低交易成本和金融服务门槛,提高农业中金融的配置效率。在数字普惠金融影响农业碳排放的过程中,数字普惠金融具有数字化发展优势,降低金融的运营和使用成本。因此,数字普惠金融通过发挥资源配置功能,提高资金使用配置效率,提高农村金融体系效率,提高农业生产效率,降低农业碳排放强度。二是缓解融资约束效应,在人工智能及大数据平台的支持下,能够使数字普惠金融发挥绿色金融的作用,为使用低碳技术的农业提供金融支持。传统的金融发展往往忽视了农村地区和农民

2023年3月

群体的金融需求,其结果是农业创新发展的积极性下降,不利于农业新技术、新品种涌现^[23]。数字普惠金融具有拓宽农民资金来源的潜力,有效缓解农村金融市场的“长尾”困境,推动高效、低碳、绿色的农业运营模式形成,以此降低农业碳排放强度。

针对数字普惠金融的空间溢出效应而言,随着数字经济的蓬勃发展,数字普惠金融凭借其数字化和金融属性,相比于传统金融而言,受空间约束的程度更小。许多研究阐述了数字普惠金融的空间溢出效应^[24],在数字化的加持下,互联网平台成为优质的沟通渠道,可以更好地增强农民对生活节能和农业低碳生产的意识,从而促进当地低碳农业的发展,并在周边地区产生空间溢出效应。

2.2 数字普惠金融对农业碳排放强度的影响机制

2.2.1 农业技术创新发展的作用

低碳农业发展已逐渐成为农业领域应对气候变化的主要措施,其中低碳农业技术是低碳农业生产模式的核心驱动力。随着农业技术的不断创新,由于化肥、农药等资源消耗和农业生产形成的碳排放将减少,农业碳排放强度将随之降低。数字普惠金融能够有机地参与农业产业组织变革、技术创新、设备完善、人力资本转化等过程,提高农业企业的技术创新、研发投入。在创新资本供给及组织变革的效应发挥下,数字普惠金融已逐渐成为推动农业技术创新的驱动力^[25]。

2.2.2 农业创业活跃度的作用

普惠金融的数字化对于农业创业具有重要意义,与传统普惠金融不同,数字普惠金融能够将便利化的服务和多样化的金融产品提供给有需要的用户,借助数字技术推动金融创新,妥善处理农业受到的信贷制约相关问题,不仅提供了及时、有效、便利的金融服务,还促进了农民创业环境的有效改善,大大激发了市场活力^[26]。当下中国农民创业依旧未摆脱筹款难的困境,数字普惠金融的发展使得金融服务涵盖面更广,提供的金融产品更为丰富,对于推动农业创业活跃度提升有着重要作用。由于政府环境规制的影响,新创的农业企业会倾向于低碳的运行方式,而且绿色的组织模式在绿色金融的促进下也更容易获得资本资助,这种模式为农业碳排放强度的降低提供了动力,也为农业可持续发展提供了支撑(图1)。

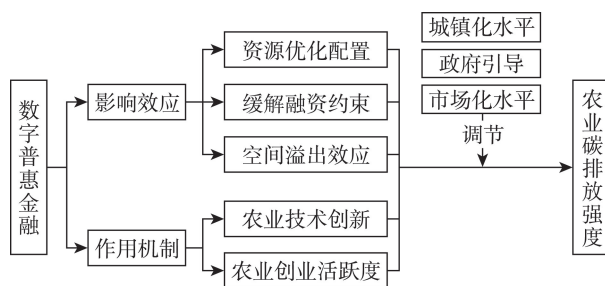


图1 数字普惠金融对农业碳排放强度影响的理论框架图

Figure 1 Theoretical framework of the impact of digital inclusive finance on agricultural carbon emission intensity

3 研究设计

3.1 研究方法

3.1.1 核密度估计

为了展示农业碳排放强度与数字普惠金融的数据分布特征,本文基于核密度估计展开分析,该方法可以用连续的密度曲线对变量的分布形态进行展示,假设变量 x 的密度函数为 $f(x)$,则 x 的密度函数值可用下式进行估计^[27]:

$$f(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x_i - x_0}{h}\right) \quad (1)$$

式中: $f(x)$ 表示核密度函数; x_i 表示农业碳排放强度或数字普惠金融; x_0 表示 x 的均值; n 表示研究省份的个数; h 表示带宽; $K(\cdot)$ 表示核函数。

3.1.2 探索性数据分析方法

空间相关性检验可以有效分析相关变量在地理单元间的空间相关性,本文基于全局Moran' I 指数探究农业碳排放强度与数字普惠金融的空间自空间相关特征,Moran' I 指数的相关公式^[28]如下:

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

式中: x_i 、 x_j 表示中国第 i 个与第 j 个省份的农业碳排放强度或数字普惠金融; w_{ij} 表示空间权重矩阵; \bar{x} 表示平均值。

3.1.3 空间计量模型

由于农业碳排放强度具有空间集聚特征,在探究数字普惠金融对农业碳排放强度的影响效应时,若忽视这种空间相关性,会使数字普惠金融的作用估计不准确,因此需建立空间计量模型^[29]。而且由于农业碳排放强度是长期因素影响的过程,数字普

惠金融及控制变量可能无法在当期发挥作用,根据Elhorst的研究^[30],构建动态空间杜宾模型如下:

$$\ln P_{it} = \varphi \ln P_{i(t-2)} + \theta \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln P_{i(t-2)} + \rho \sum_{j=1}^n W_{ij} \ln P_{it} + \alpha_0 + \beta \ln X_{it} + \sum_{j=1}^n \gamma W_{ij} \ln X_{it} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式中: P_{it} 表示第*i*个省域第*t*年的农业碳排放强度; X 表示数字普惠金融水平及控制变量; φ 和 θ 表示时间滞后效应及时空双重滞后效应的弹性系数^[31]; ρ 为空间滞后回归系数; β 表示自变量的回归系数; γ 表示自变量空间滞后回归系数,当 $\gamma=0$ 时,模型可以退化为空间滞后模型,当 $\gamma+\rho\beta=0$ 时,则可以退化为空间误差模型; α_0 表示常数项; μ_i 表示地区效应; λ_t 表示时间效应; ε_{it} 是随机干扰项。需要说明的是:本文采用了3种空间权重对空间杜宾模型进行处理^[32,33]:①空间邻接权重矩阵,基于省域空间邻接关系构建权重矩阵;②地理距离空间权重矩阵,基于省域的坐标计算球面距离,求出地理距离后再求倒数构建权重矩阵;③经济距离空间权重矩阵,即考虑两省域之间的经济距离,以省域人均GDP均值差距的倒数为测度依据构建矩阵。

3.2 变量说明

3.2.1 农业碳排放强度测度

在展开农业碳排放强度计算之前,需要测算农业碳排放量,本文基于农业生产对象对省域农业碳排放进行核算。参考前人研究基础^[34,35]及《省级温室气体清单编制指南(试行)》文件,从农业种植、农用物资、农业能源使用、动物养殖以及生物质燃烧产生的温室气体排放等视角进行测算:①农业种植产生的温室气体,一方面包括水稻在种植过程中的甲烷气体排放,但是由于各省份的水稻生长周期有所差异,参考前人研究^[34],选择中位值130天;另一方面包括翻耕土地产生的氧化亚氮排放,数据以当年农作物实际播种面积进行计算。②农业物资使用过程中产生的碳排放,如化肥、农药、农膜等产品在农业生产与应用过程中产生的碳排放。③农业能源使用产生的碳排放,本文主要关注农林牧渔业所使用的柴油、汽油以及煤炭等能源产生的碳排放量。④动物养殖产生的温室气体,主要关注动物肠道发酵甲烷、动物粪便产生的甲烷与氧化亚氮等温室气体。根据《省级温室气体清单编制指南》,畜禽

肠道发酵甲烷排放系数是取得其饲养方式的平均值,而畜禽粪便管理甲烷以及粪便管理氧化亚氮排放系数则是取6个区域(华北、东北、华东、中南、西南、西北)的平均值来计算的,最后,将畜禽发酵甲烷排放系数和粪便管理甲烷以及粪便管理氧化亚氮排放系数折算成碳排放当量(就温室效应而言,1 t甲烷相当于21 t二氧化碳,1 t氧化亚氮相当于310 t二氧化碳^[36])。以牛、马、驴、骡、骆驼、猪、山羊、绵羊以及家禽的养殖量作为测度依据。⑤生物质燃烧,主要考虑秸秆,由于现有统计年鉴中缺乏秸秆作为燃料的数据,参考相关研究做法^[37],选择水稻、小麦、玉米、油菜籽、大豆和棉花6种主要秸秆作物作为秸秆焚烧的碳源。

基于此,本文运用以下公式进行计算:

$$C = \sum C_k = \sum \delta_k T_k \quad (4)$$

式中: C 表示农业碳排放总量; C_k 表示第*k*类农业碳源产生的农业碳排放量; T_k 表示第*k*类碳源数据总量; δ_k 表示第*k*类碳源对应的排放转化系数,参考前人文献^[34,35],设定排放系数数据如表1所示。

农业碳排放强度主要是农业碳排放量与农业产出的比值,基于以下公式^[8]进行计算:

$$Ace_i = C_i / AGDP_i \quad (5)$$

式中: Ace_i 表示第*i*省域的农业碳排放强度; C_i 表示第*i*省域的农业碳排放总量; $AGDP_i$ 则表示第*i*省域的农林牧渔业总产值。为了使农业碳排放强度具有可比性,本文对农林牧渔业总产值进行平减处理,剔除价格等因素的干扰,选用2011年为基期,然后基于统计局公布的第一产业增加值指数进行计算。

3.2.2 其他变量说明

(1)核心解释变量:数字普惠金融。数字普惠金融是指利用数字技术和互联网平台提供金融服务,为无法访问传统金融服务的人们提供普惠性质服务的一种模式。该数据主要基于数字金融覆盖广度、数字金融使用深度以及普惠金融数字化程度进行衡量^[38]。其中,覆盖广度利用支付账户覆盖率来衡量,使用深度利用支付服务、货币基金服务、信贷服务、保险服务、投资服务和信用服务来衡量,数字化程度利用移动化、实惠化、信用化和便利化进行衡量,均来源于北京大学数字金融研究中心公布

2023年3月

表1 农业碳排放来源及排放系数

Table 1 Agricultural carbon emission sources and emission coefficients

碳源类型	碳源指标	排放系数	排放系数来源	使用数据
农业种植	水稻(gCE/(m ² ·天))	3.136	吴贤荣等 ^[34]	稻谷播种面积/千hm ²
	翻土(kg CE/km ²)	312.600	IABCAU(中国农业大学农学与生物技术学院)	农作物总播种面积/千hm ²
农业物资	化肥(kg CE/kg)	0.896	ORNL(美国橡树岭国家实验室)	农用化肥施用折纯量/万t
	农药(kg CE/kg)	4.934	ORNL(美国橡树岭国家实验室)	农药使用量/万t
	农膜(kg CE/kg)	5.180	吴贤荣等 ^[34]	农用塑料薄膜使用量/t
	柴油(kg CE/kg)	0.593	IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)	农用柴油使用量/万t
农业能源	汽油(kg CE/kg)	0.554	IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)	农林牧渔业使用汽油量/万t
	煤炭(kg CE/kg)	0.756	IPCC(联合国政府间气候变化专门委员会)	农林牧渔业使用煤炭量/万t
	牛(kgCH ₄ (头·年)/ kgNO(头·年))	84.93/1.14	根据《省级温室气体清单编制指南》整理	牛期末数量/万头
动物养殖	马(kgCH ₄ (头·年)/ kgNO(头·年))	19.37/0.33	根据《省级温室气体清单编制指南》整理	马期末数量/万头
	驴(kgCH ₄ (头·年)/ kgNO(头·年))	10.75/0.18	根据《省级温室气体清单编制指南》整理	驴期末数量/万头
	骡(kgCH ₄ (头·年)/ kgNO(头·年))	10.75/0.18	根据《省级温室气体清单编制指南》整理	骡期末数量/万头
	骆驼(kgCH ₄ (头·年)/ kgNO(头·年))	47.6/0.33	根据《省级温室气体清单编制指南》整理	骆驼期末数量/万头
	猪(kgCH ₄ (头·年)/ kgNO(头·年))	4.45/0.19	根据《省级温室气体清单编制指南》整理	猪期末数量/万头
	山羊(kgCH ₄ (头·年)/ kgNO(头·年))	8.59/0.08	根据《省级温室气体清单编制指南》整理	山羊期末数量/万头
	绵羊(kgCH ₄ (头·年)/ kgNO(只·年))	8.40/0.08	根据《省级温室气体清单编制指南》整理	绵羊期末数量/万头
	家禽(kgCH ₄ (只·年)/ kgNO(头·年))	0.02/0.007	根据《省级温室气体清单编制指南》整理	家禽期末数量/万只
	小麦(kg CE/kg)	0.160	IPCC/ Huang等 ^[37]	小麦产量/万t
	稻谷(kg CE/kg)	0.180	IPCC/ Huang等 ^[37]	稻谷产量/万t
生物质燃烧	玉米(kg CE/kg)	0.170	IPCC/ Huang等 ^[37]	玉米产量/万t
	大豆(kg CE/kg)	0.150	IPCC/ Huang等 ^[37]	大豆产量/万t
	棉花(kg CE/kg)	0.130	IPCC/ Huang等 ^[37]	棉花产量/万t
	油菜籽(kg CE/kg)	0.220	IPCC/ Huang等 ^[37]	油菜籽产量/万t

的数据。

(2)控制变量。为了控制其他影响农业碳排放强度的因素,基于相关学者^[39,40]研究经验,选取以下变量作为控制变量:①农业产业集聚水平。产业集聚水平对于提升农业生产效率具有一定帮助,在集聚过程中,农业共性技术的应用程度在加深,机械化水平的覆盖广度也在加强,农业产出便会随之增加,这会导致农业碳排放强度的降低。该变量基于农林牧渔业总产值计算区位熵^[41]得到;②农业现代化水平。现代化水平的提升转变农业生产方式,降低传统农业中高污染生产模式,减小碳排放的产生,同时还能强化农业固碳作用,降低农业碳排放强度。该变量基于农业机械总动力水平来表征;③农业治理水平。治理水平的提升意味着该区域对农业发展的绿色化治理能力有所增强,这对于农业碳排放强度的降低有所帮助;④人力资本水平。人力资本可以通过转化农业要素配置水平,提升农业

发展质量,提高农业效率,降低农业碳排放强度。本文采用人均教育年限进行表征;⑤交通基础设施。交通基础设施水平的提升能够增强农业的转化水平,而且对于推动规模化、标准化农业生产模式的形成也有重要作用,这均能影响农业碳排放强度。本文使用道路长度/农村人口进行表征。

(3)机制变量。为了探究数字普惠金融影响农业碳排放强度的作用机制,基于前文理论分析,选取农业技术创新以及农业创业活跃度作为机制变量,分别以人均农业专利授权量(项)以及人均农业新创企业(个)进行表征。

(4)调节变量。城镇化水平、政府引导水平以及市场化水平对于数字普惠金融的减碳效应发挥可能存在调节作用,为了检验这一作用,将3个变量分别与数字普惠金融做交互项展开分析,分别以城镇常住人口/年末总人口、地方财政城乡社区事务支出(亿元)以及市场化指数进行表征(表2)。

表2 变量说明

Table 2 Description of variables

变量类型	影响因素	符号	变量说明
被解释变量	农业碳排放强度	<i>Ace</i>	农业碳排放总量/农林牧渔业增加值/(万 t/亿元)
核心解释变量	数字普惠金融水平	<i>Digital</i>	数字普惠金融指数
控制变量	农业产业集聚水平	<i>Aggl</i>	农林牧渔业总产值计算区位熵
	农业现代化水平	<i>Amode</i>	农业机械总动力水平/万 kW
	农业治理水平	<i>Agove</i>	农业土地有效灌溉率/%
	人力资本水平	<i>Capit</i>	平均受教育年限/年
	交通基础设施水平	<i>Traff</i>	道路长度/农村人口/(km/万人)
机制变量	农业技术创新	<i>Tech</i>	人均农业专利授权量/项
	农业创业活跃度	<i>Entre</i>	人均农业新创企业/个
调节变量	城镇化水平	<i>Urban</i>	城镇常住人口/年末总人口/%
	政府引导	<i>Gove</i>	地方财政城乡社区事务支出/亿元
	市场化水平	<i>Market</i>	市场化指数(来源于文献樊纲等 ^[42])

3.3 数据来源

选取 2011—2020 年 31 个省份作为研究对象(因数据可得性限制,不包括港澳台地区)。其中,所运用的农业碳排放测度数据及控制变量数据主要来源于 2012—2021 年的《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》以及各省份的统计局网站,需要特别说明的是,农业碳排放测度中使用的农业能源数据来源于《中国能源统计年鉴》,数字普惠金融数据来源于北京大学数字金融研究中心,农业专业授权量数据来源于国家知识产权局专利检索网站(<http://pss-system.cnipa.gov.cn/>),农业新创企业数据来源于天眼查网站(<https://www.tianyancha.com/>),市场化指数数据主要来源于樊纲等^[42]构建的市场化指数。

4 结果与分析

4.1 农业碳排放强度与数字普惠金融的空间演化格局

4.1.1 农业碳排放的核密度估计特征

本文运用 MATLAB 软件展开核密度估计,并对 2011—2020 年的中国农业碳排放强度及数字普惠金融进行可视化处理,以此展示两者的时序演化特征,如图 2 所示。

针对农业碳排放强度(图 2a):①整体而言,农业碳排放强度核密度曲线的峰值呈现曲折上升趋势,这表明省域间农业碳排放强度的差异呈现明显缩小趋势;峰值表现出往低值靠近的形态,这反映出在研究期内农业碳排放强度水平在持续下降。②基于核密度曲线形态视角分析,各年份的核密度

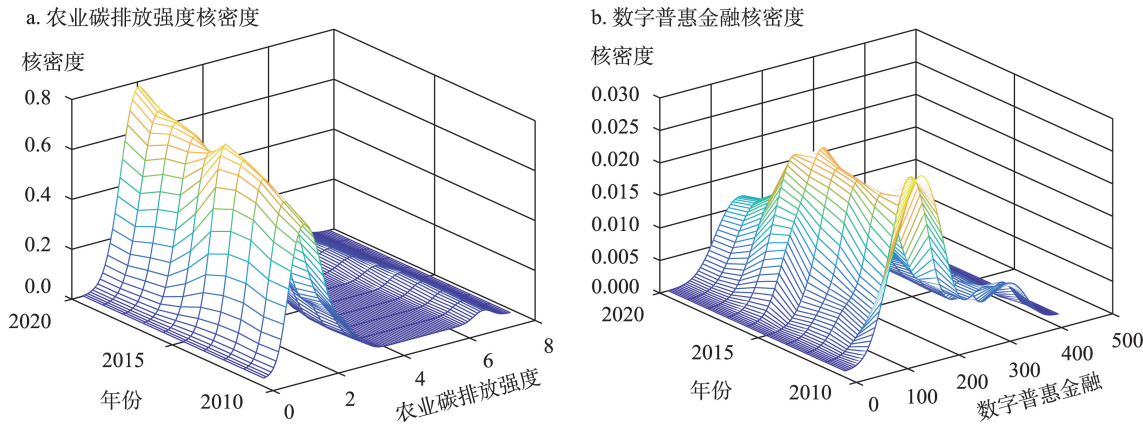


图2 2011—2020年数字普惠金融与农业碳排放强度的核密度估计图

Figure 2 Kernel density estimation results of digital inclusive finance and agricultural carbon emissions, 2011-2020

2023年3月

分布表现出一个峰为主导的曲线形态,这表明农业碳排放强度存在明显的水平极化特征;针对曲线拖尾表现而言,在研究期内曲线左侧拖尾并不明显,但是右侧表现出明显的拖尾特征,这表明农业碳排放强度水平主要集聚在左侧位置,有一些区域仍存在较高的碳排放强度。

针对数字普惠金融(图2b):①2011—2016年,数字普惠金融核密度曲线的峰值呈现倒“U”型趋势,这表明省域间农业碳排放强度的差异呈现明显扩大后缩小的趋势;而在2016年以后,峰值表现出持续下降,这表明数字普惠金融发展的差异化逐渐提升,而峰值逐渐向高水平转移,这可能是由于各地区对于数字普惠金融发展的重视度不断提升,在2016年政府工作报告提出要“大力发展”普惠金融,而且G20杭州峰会上发布的《G20数字普惠金融高级原则》,均反映出数字普惠金融的发展进入了全新的阶段。②基于核密度曲线形态视角分析,各年份的核密度分布的曲线形态从多峰向单峰转化,数字普惠金融发展水平集中特征趋向明显。

4.1.2 农业碳排放强度与数字普惠金融的空间分布特征

为了探究农业碳排放强度与数字普惠金融的空间分布特征,基于自然断点法将农业碳排放强度进行分级,分为低、较低、中、较高与高值区,然后运

用ArcGIS 10.8软件对两者进行可视化处理,并且为展示两者的空间关联关系,将两者进行叠加处理,结果如图3所示。结果发现:①针对农业碳排放强度而言,农业碳排放强度均值由2011年的1.739降至2020年的0.964,降低了44.6%,数值范围从2011年的0.741~8.848变为2020年的0.332~3.438,极差出现缩减的趋势,均表明随着时间推移,中国的农业碳排放强度在不断降低,数据波动不断减小,数据偏离平均值的程度明显下降。从各等级区域的变化来看,农业碳排放强度高值区数量出现减少趋势,从2011年的3个区域降至2020年的2个,这反映农业碳排放强度整体呈现下降的趋势。从空间分布来看,农业碳排放强度空间异质性较强,高值区及较高值区主要集中在西部地区,而且呈现出明显的集聚特征,这可能是西部地区的农业技术水平相对较低,相同农业产值下产生的农业碳排放较高;但随时间推移,各层级区域的农业碳排放呈现出渐进式下降的动态演进特征,分析其原因,一方面是各区域双碳政策差异驱动所致,另一方面也是农业发展与农业资源相互组合影响的结果。②针对数字普惠金融而言,数字普惠金融均值由2011年的40.004提升至2020年的341.219,发展水平提升了7倍多。表明在研究期内数字普惠金融取得了较大的发展,这不仅是数字经济发展推动了数字化水

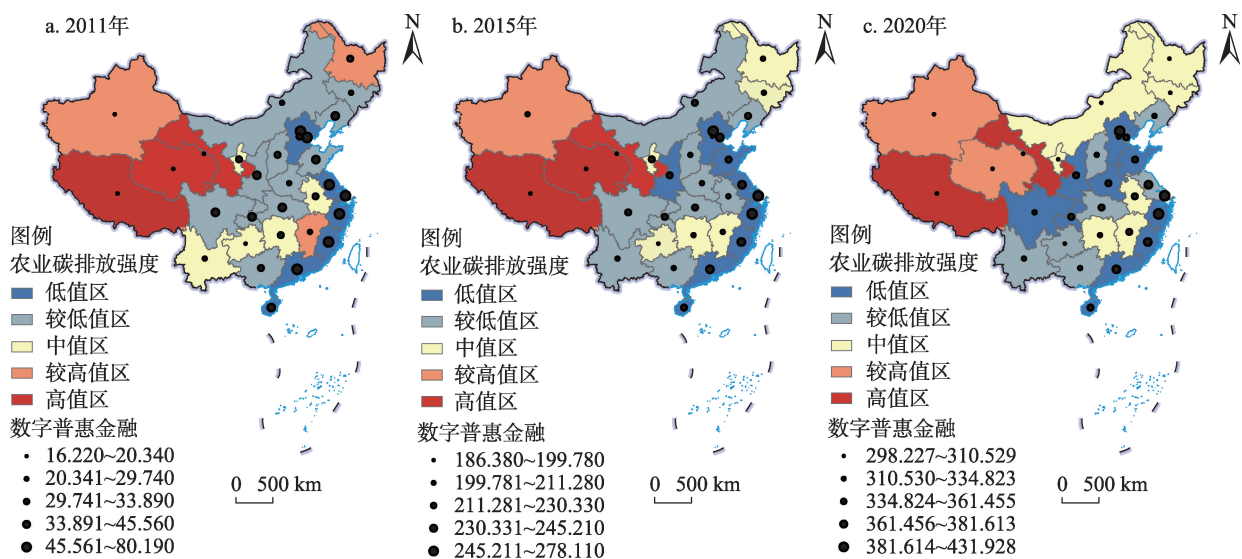


图3 2011、2015和2020年数字普惠金融与农业碳排放强度时空演化格局

Figure 3 Digital inclusive finance and the spatiotemporal pattern of agricultural carbon emission level, 2011, 2015 and 2020

注:基于自然资源部标准地图服务网站GS(2020)4618号标准地图制作,底图边界无修改。

平提升的结果,也是因为普惠金融得到了更多重视,这两大因素协同推动数字普惠金融发展水平得到较大提升。而从空间分布而言,数字普惠金融发展高水平区域主要集中在东部沿海地区,可能是由于数字经济发展水平、金融要素禀赋、地理区位因素等因素的影响,东西部差距较为明显。③针对数字普惠金融与农业碳排放强度的空间叠加形态而言,可直观发现两者存在一定的错位发展特征,数字普惠金融发展水平高的地方,农业碳排放强度水平相对较低,两者发展的演进机理仍需要后续内容展开验证。

4.1.3 农业碳排放强度与数字普惠金融的空间自相关特征

在农业碳排放强度以及数字普惠金融数据的基础上,运用Stata软件结合邻接权重矩阵数据计算全局Moran's I 指数,以此展开空间自相关分析,并对两者的指数值进行绘制,结果如图4所示。在邻近权重下,农业碳排放强度以及数字普惠金融数据的Moran's I 指数均通过了1%的显著性,从数值上看,Moran's I 指数均大于0,表明农业碳排放强度以及数字普惠金融在空间上具有明显的集聚特征。针对农业碳排放强度曲线形态而言,Moran's I 指数呈现波动变化趋势,但是整体呈上升态势,这表明农业碳排放强度的空间集聚程度在加深。针对数字普惠金融曲线形态而言,Moran's I 指数呈现曲折上升的增长趋势,从2011年的0.203增长至2020年的0.306,这也反映出数字普惠金融的集聚程度缓慢深化。对比两种数值发现,农业碳排放强度的集聚程度明显强于数字普惠金融,这与前文展示的空间

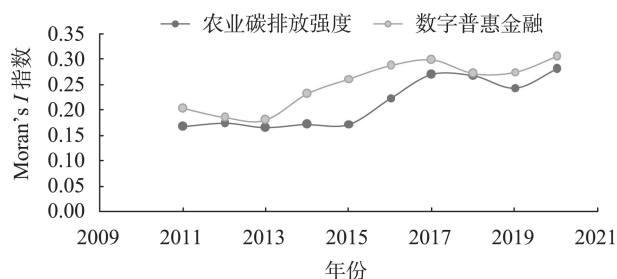


图4 2011—2020年数字普惠金融与农业碳排放强度影响的Moran's I 指数

Figure 4 Moran's I index of the impact of digital inclusive finance and agricultural carbon emission intensity, 2011-2020

分布形态相对应。

4.2 数字普惠金融对农业碳排放强度的影响

4.2.1 数字普惠金融对农业碳排放强度的基准回归结果

为了选择最佳模型,本文进行了LM检验、豪斯曼检验(选择随机效应模型还是固定效应模型)、Wald检验(选择时间固定效应、个体固定效应和双向固定效应)和LR检验(观察SDM模型是否会退化为SEM模型和SAR模型),检验结果发现双固定效应的动态杜宾模型(SDM)为最佳选择,最终结果如表3所示。进一步比较动态杜宾模型中3个权重回归结果的 R^2 ,发现使用地理距离权重来解释更佳。表3显示,核心解释变量数字普惠金融通过了显著性检验,系数为-0.489,这表明数字普惠金融对农业碳排放强度表现出负向效应,可能的原因是数字金融加速了农业技术创新和农业生产率的提升,遏制了农业能源消耗和碳排放强度的增加。数字普惠金融的加权项也通过了显著性检验,但是系数为正,这表明数字普惠金融的发展会提升地理邻近地区的农业碳排放强度,这可能是因为本地区数字普惠金融发展吸引了邻近地区的要素流入,导致邻近地区农业发展受限,因而提升了碳排放强度。

针对控制变量结果而言,农业产业集聚水平对农业碳排放强度有着显著的负向效应,这表明农业集聚程度的增加能降低农业碳排放,可能的原因是集聚带来的农业发展规模效应及竞争效应促进了农业技术水平的上升,这带来农业生产效率增加;农业现代化水平没有表现出显著作用,这表明现阶段的农业现代化水平仍相对不足,在降低碳排放强度上没能发挥作用;农业治理水平未通过显著性检验,这表明农业治理水平仍需要进一步提升;人力资本水平没有表现出显著的作用,可能是因为农业方面的人才仍相对不足;交通基础设施水平表现出显著的负向作用,即交通基础设施水平越高,农业碳排放强度越低,这表明交通基础设施水平能够增强农业的转化水平,进而提升农业产出需求,降低农业碳排放强度。

4.2.2 稳健性检验

为了检验数字普惠金融影响农业碳排放强度的稳健性,本文从以下几个方面展开分析。

(1)内生性检验

2023年3月

表3 数字普惠金融对农业碳排放强度的空间计量结果

Table 3 Spatial econometric model results of digital inclusive finance impact on agricultural carbon emission intensity

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	邻接权重		地理权重		经济权重	
	X	$W \times X$	X	$W \times X$	X	$W \times X$
$L, W \times Y$	-0.020 (-0.176)		-0.126 (-1.109)		-0.253* (-1.806)	
<i>Digital</i>	-0.333** (-2.416)	0.697*** (2.901)	-0.489*** (-3.299)	0.576* (1.713)	-0.224** (-2.361)	0.370** (2.090)
<i>Aggl</i>	-0.648*** (-8.965)	0.571*** (4.050)	-0.536*** (-7.121)	0.878*** (5.444)	-0.793*** (-9.302)	-0.808*** (-3.360)
<i>Amode</i>	-0.028 (-0.601)	-0.408*** (-4.186)	0.010 (0.221)	-0.483*** (-4.630)	0.007 (0.159)	0.611*** (5.016)
<i>Agove</i>	-0.027 (-0.297)	-0.602*** (-3.152)	-0.061 (-0.672)	-0.634** (-2.450)	0.086 (0.896)	1.178*** (4.208)
<i>Capit</i>	0.030 (0.214)	-0.870*** (-3.071)	-0.074 (-0.526)	0.076 (0.191)	-0.005 (-0.033)	1.905*** (5.004)
<i>Traff</i>	-0.261*** (-4.894)	-0.125 (-1.100)	-0.175*** (-3.367)	-0.886*** (-5.243)	-0.201*** (-3.709)	0.059 (0.505)
ρ	0.194** (2.026)		0.089 (0.907)		0.289** (2.531)	
σ^2_e	0.006*** (13.062)		0.006*** (13.116)		0.007*** (13.025)	
样本数	279	279	279	279	279	279
R^2	0.354	0.354	0.787	0.787	0.318	0.318
省份数量	31	31	31	31	31	31
省份固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES

注:***、**、*、分别表示通过1%、5%、10%水平下的显著性检验;括号内为*t*值。下同。

为了解决可能存在的内生性问题,本文使用1984年的邮局分布数据作为工具变量^[43]。同时,参考相关研究做法^[44],以1984年各区域人均邮局数量与时间变量构造交互项,作为数字普惠金融的工具变量,结果如表4的列(1)所示,由结果可知,数字普惠金融变量显著为负,与前文的回归结果一致,而且通过了Kleibergen-Paap rk的LM检验和Wald F检验,这表明该工具变量具有合理性。

(2)剔除部分区域

考虑到直辖市农业发展条件及技术水平与其他区域具有一定的差异性,为了避免影响研究结果的准确性,本文将直辖市的样本剔除然后重新回归,结果如表4的列(2)所示。表4显示数字普惠金融变量通过显著性检验,而且系数为负,这反映出前文结果具有稳健性。

(3)政策效应检验

2016年《G20数字普惠金融高级原则》提出后,数字化加持下的金融资源不断向欠发达地区倾斜。参考相关研究做法^[45],将数字普惠金融概念的提出作为政策冲击,并基于经济发展程度划分为实验组和控制组(经济发展水平低于全国平均值则为实验组,否则为控制组),使用DID模型展开实证回归,结果如表4的列(3)所示,可以看到政策变量显著为负,进一步表明了前文结果的稳健性。

4.2.3 数字普惠金融对农业碳排放强度影响的长短期效应分析

为了更为深入地探究数字普惠金融对农业碳排放强度影响的长短期效应,本文在邻接距离权重下进行直接效应和间接效应分解,得到表5。直接效应是区域内数字普惠金融对农业碳排放强度的

表4 稳健性检验结果

Table 4 Results of robustness test

变量	(1)	(2)	(3)
	IV	剔除变量	DID
Digital	-4.954*** (-3.149)	-0.179*** (-2.782)	
DID			-0.056** (-2.179)
Aggl	-0.519*** (-3.353)	-0.537** (-2.544)	-0.567** (-2.691)
Amode	-0.078 (-1.070)	-0.028 (-0.326)	-0.024 (-0.291)
Agove	0.063 (0.575)	-0.088 (-0.606)	-0.145 (-0.953)
Capit	-0.616 (-1.628)	-0.117 (-0.430)	-0.128 (-0.500)
Traff	0.445** (2.187)	-0.274* (-1.952)	-0.278* (-1.971)
Kleibergen-Paap rk LM 统计量	13.213[0.000]		
Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量	25.175[16.38]		
样本数	310	270	310
R ²		0.982	0.983
省份数量	31	27	31
省份固定	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES

驱动效应,而间接效应则反映区域之间数字普惠金融对农业碳排放强度产生的影响,结果显示长期效应的作用效果及显著性与短期效应差别不大,这说

明数字普惠金融在长短期内对农业碳排放强度相近。从短期效应而言,数字普惠金融加速金融创新,可以帮助农户和农企获得更便捷、更安全的金融服务,还能帮助农户和农企更好地投资于可持续农业和农业技术,从而减少农业碳排放。从长期效应而言,数字普惠金融可以改善农业生产的效率,从而减少农业碳排放,还可以提高农业的创新能力,促进农业可持续发展。

4.2.4 数字普惠金融分维度对农业碳排放强度的影响

为进一步分析数字普惠金融分维度对农业碳排放强度的影响,将数字普惠金融的覆盖广度(*Digital1*)、使用深度(*Digital2*)与数字化程度(*Digital3*)加入到模型中,回归结果如表6所示。由表可知,数字普惠金融广度通过了显著性检验,这表明数字普惠金融广度的提升会降低农业碳排放强度,数字普惠金融覆盖广度的扩大可以将数字普惠金融扩展到传统金融难以触及的领域和群体,为能够使用新技术和新品种的农民提供了资本获取能力和获取便利,进而提高新技术的应用水平,降低碳排放强度。数字普惠金融使用深度未通过显著性检验,这表明使用深度的提高没有显著作用。数字普惠金融的数字化水平通过了显著性检验,而且系数为负,这说明提高数字化水平可以降低农业碳排放强度,可能是因为数字化程度加深可以增加农民支付的便利性,降低金融服务成本,激活农村资本要素

表5 空间效应分解结果

Table 5 Decomposition results of spatial effects

变量	短期效应			长期效应		
	直接效应	间接效应	总效应	直接效应	间接效应	总效应
Digital	-0.313** (-2.365)	0.757*** (2.884)	0.444* (1.672)	-0.315** (-2.383)	0.749*** (2.907)	0.433* (1.674)
Aggl	-0.622*** (-8.848)	0.555*** (3.297)	-0.067 (-0.345)	-0.624*** (-8.892)	0.558*** (3.396)	-0.065 (-0.346)
Amode	-0.046 (-1.029)	-0.503*** (-4.052)	-0.549*** (-4.411)	-0.044 (-0.984)	-0.492*** (-4.060)	-0.536*** (-4.441)
Agove	-0.051 (-0.545)	-0.739*** (-3.046)	-0.790*** (-2.696)	-0.048 (-0.517)	-0.722*** (-3.064)	-0.770*** (-2.703)
Capit	0.003 (0.017)	-1.004*** (-2.598)	-1.001** (-2.174)	0.006 (0.044)	-0.983*** (-2.612)	-0.977** (-2.178)
Traff	-0.270*** (-4.766)	-0.225 (-1.437)	-0.495*** (-2.706)	-0.269*** (-4.768)	-0.214 (-1.404)	-0.483*** (-2.715)

2023年3月

表6 数字普惠金融分维度对农业碳排放强度的影响

Table 6 Impact of digital inclusive finance dimensions on agricultural carbon emission intensity

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	X	$W \times X$	X	$W \times X$	X	$W \times X$
$L.W \times Y$	-0.254*		-0.220		-0.208	
	(-1.819)		(-1.590)		(-1.466)	
Digital1	-0.296**	0.426**				
	(-2.506)	(2.165)				
Digital2			0.017	-0.668***		
			(0.202)	(-3.385)		
Digital3					-0.149**	0.484**
					(-2.355)	(2.102)
Aggl	-0.823***	-0.664***	-0.698***	-0.986***	-0.754***	-0.909***
	(-9.660)	(-2.685)	(-8.410)	(-4.291)	(-9.054)	(-3.960)
Amode	0.001	0.644***	0.024	0.618***	0.023	0.614***
	(0.031)	(5.310)	(0.581)	(5.177)	(0.540)	(5.067)
Agove	0.063	1.374***	0.159*	0.780***	0.154	0.830***
	(0.663)	(4.696)	(1.676)	(2.731)	(1.633)	(2.941)
Capit	0.026	1.904***	-0.063	1.647***	0.020	1.796***
	(0.172)	(5.057)	(-0.429)	(4.323)	(0.135)	(4.716)
Traff	-0.187***	0.048	-0.206***	0.216*	-0.214***	0.116
	(-3.425)	(0.419)	(-3.911)	(1.901)	(-4.090)	(1.051)
样本数	279	279	279	279	279	279
R^2	0.332	0.332	0.137	0.137	0.333	0.333
省份数量	31	31	31	31	31	31
省份固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES

的适配,促进农业碳排放强度的降低。

4.3 数字普惠金融对农业碳排放强度影响的机制分析

为了探究数字普惠金融对农业碳排放的影响机制,基于中介效应的原理构建动态空间中介效应分析模型,即首先通过动态杜宾模型分析数字普惠金融对机制变量的影响,在控制机制变量后分析数字普惠金融对农业碳排放强度的影响,若数字普惠金融变量的回归系数变小或者未能通过显著性检验,则表明该机制成立。

(1)农业技术创新发展的作用检验

基于上述思路展开农业技术创新发展的机制检验,结果如表7所示。列(1)为数字普惠金融对农业技术创新的回归检验,结果表明数字普惠金融变量通过了显著性检验,而且系数为正,这表明数字普惠金融能够推动农业技术创新水平的提升。这与一些学者的研究结论一致,认为数字普惠金融极

大地推动了绿色技术创新,这归因于融资约束的缓解^[46]。列(2)、列(3)为数字普惠金融对农业碳排放强度的回归检验,可以看到,列(3)中的数字普惠金融变量由显著变为了不显著,这验证了农业技术创新是数字普惠金融影响农业碳排放强度的机制,数字普惠金融为农业技术创新提供了资本支撑,也提升了创新的转化能力,进而影响农业生产率,而且农业污染治理的技术进步可以减少农业生产要素产生的污染排放,降低农业碳排放强度。

(2)农业创业活跃度的作用检验

表7的列(4)为数字普惠金融对农业创业活跃度的回归检验,结果表明数字普惠金融变量通过了显著性检验,而且系数为正,这表明数字普惠金融能够推动农业创业活跃度的提升。列(5)、列(6)为数字普惠金融对农业碳排放强度的回归检验,可以发现,列(6)中的数字普惠金融变量由显著变为了不显著,这验证了农业创业活跃度是数字普惠金融

表7 数字普惠金融对农业碳排放影响的作用机制检验

Table 7 Functional mechanism test of digital inclusive finance impact on agricultural carbon emissions

变量	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	农业创新	农业碳排放强度	农业碳排放强度	创业活跃度	农业碳排放强度	农业碳排放强度
L. $W \times Y$	-0.095 (-0.666)	-0.020 (-0.176)	-0.014 (-0.127)	-0.380*** (-2.927)	-0.020 (-0.176)	0.035 (0.313)
Digital	1.348*** (2.958)	-0.333** (-2.416)	-0.314 (-1.203)	1.482*** (3.441)	-0.333** (-2.416)	-0.304 (-1.195)
机制变量			-0.039*** (-4.231)			-0.045** (-2.426)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
样本数	279	279	279	279	279	279
R ²	0.527	0.177	0.173	0.293	0.177	0.182
省份数量	31	31	31	31	31	31
省份固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES	YES	YES	YES

影响农业碳排放强度的机制,数字普惠金融促进了农业创业活跃度,应用新兴技术的企业得到资助,农业产出得到提升,降低了污染排放,也缓解了农业碳排放强度。

4.4 调节效应分析

4.4.1 城镇化水平的调节效应分析

在城镇化推进过程中,人口不断向城镇转移,在这个过程中,农业发展的要素不断流失,但是也为规模化农业发展提供了可能,这对于降低农业碳排放强度具有一定帮助。同时,城镇化发展还意味着数字基础设施水平的提升,这为数字普惠金融广域覆盖提供了基础,会对农业碳排放强度产生影响。在模型中加入数字普惠金融与城镇化水平的交互项,如表8的列(1)所示,交互项系数为负,而且通过显著性检验,这表明城镇化水平能够加深数字普惠金融对农业碳排放强度的影响。

4.4.2 政府引导的调节效应分析

政府作为双碳政策的提出者与重要践行者,其对于农业碳排放强度的降低会有一定影响,为了分析政府引导的调节效应,将政府引导与数字普惠金融的交互项加入到模型中,如表8的列(2)所示,结果发现,交互项未通过显著性检验,这表明政府在引导数字普惠金融发挥其减碳效应的过程中,其作用发挥还相对不足,在后续发展中应当加强对农业碳排放的指引与对数字普惠金融的支持。

4.4.3 市场化水平的调节效应分析

区域中的市场化程度可以影响供需平衡,减少

表8 数字普惠金融对农业碳排放影响的调节效应分析

Table 8 Moderation effects of digital inclusive finance impact on agricultural carbon emissions

变量	(1)	(2)	(3)
	城镇化水平	政府引导	市场化水平
L. $W \times Y$	-0.082 (-0.616)	-0.276* (-1.947)	-0.240* (-1.685)
Digital	-0.004*** (-4.773)	-0.198 (-1.060)	-0.354* (-1.926)
Urban	-1.813*** (-4.205)		
Digital×Urban	-0.006*** (-2.790)		
Gove		-0.025 (-0.999)	
Digital×Gove		-0.000 (-0.008)	
Market			-0.018 (-1.532)
Digital×Market			-0.015* (-1.764)
控制变量	控制	控制	控制
样本数	279	279	279
R ²	0.738	0.455	0.447
省份数量	31	31	31
省份固定	YES	YES	YES
年份固定	YES	YES	YES

信息不对称,提高市场资源配置效率,影响农业全要素生产率,而且市场化水平对于数字普惠金融的作用发挥也有一定的影响。为了分析市场化水平

2023年3月

的调节作用,将数字普惠金融与市场化水平的交互项加入到模型中,如表8的列(3)所示,交互项显著为负,这表明市场化水平的调节作用显著,即市场化水平越高,数字普惠金融对农业碳排放强度的抑制作用越强。

5 结论与政策建议

5.1 结论

为探究数字普惠金融对农业碳排放强度的影响,本文根据2011—2020年31个省份数据,首先分析数字普惠金融与农业碳排放强度的发展特征,并基于动态杜宾模型分析数字普惠金融对农业碳排放强度的影响,然后通过动态杜宾模型与中介效应模型结合探究农业技术创新与农业创业活跃度的作用,最后探究了城镇化水平、政府引导及市场化水平的调节效应。得到以下结论:

(1)研究期内农业碳排放强度水平在持续下降,而且存在明显的水平极化特征,从空间分布来看,农业碳排放强度空间异质性较强,呈现出明显的集聚特征,但随时间推移,各层级的区域呈现出动态演进特征。针对数字普惠金融而言,数字普惠金融呈现明显先扩大后缩小的趋势,发展水平集中特征趋向明显,高水平发展区域主要集中在东部沿海地区,而且数字普惠金融与农业碳排放强度的空间叠加形态存在一定的错位发展特征。

(2)数字普惠金融对农业碳排放强度表现出显著的负向效应,但是会提升经济邻近地区的农业碳排放强度。数字普惠金融分维度检验发现,数字普惠金融覆盖广度及数字化水平提升能显著抑制农业碳排放强度。针对控制变量结果而言,农业产业集聚水平、农业治理水平以及交通基础设施水平通过了显著性检验,这些因素也是农业碳排放强度降低的重要原因。

(3)农业技术创新水平及农业创业活跃度是数字普惠金融影响农业碳排放水平的中介因素,城镇化水平及市场化水平能够调节数字普惠金融的减碳作用,但是政府引导的作用尚不明显。

5.2 政策建议

基于以上结论,提出以下政策建议:

(1)优化数字普惠金融支持低碳农业发展的组织模式。需要完善农业方向的数字普惠金融发展模式,推动低碳农业发展的金融支撑机制构建。应

当推进低碳农业服务主体的覆盖水平及服务深度,提升低碳农业金融服务数字化水平,增加专业化的低碳农业金融服务供给机制,拓宽农业贷款渠道以及低碳农业发展资金的需要。而且金融机构需要转变观念,积极推动农业低碳化发展,引导低碳农业领域的金融配置,降低农民创业风险。

(2)加强数字基础设施体系建设,激发创新创业活力。针对农村地区的互联网接入设施覆盖需要进一步加强,通过降低数字连接成本以强化农民获取信息能力,再降低数字金融获取成本提升农民金融可获得性,避免贫困地区“数字鸿沟”造成的技术性金融排斥,更好地发挥数字普惠金融对农业碳排放强度的改善作用。提高农村居民金融素养,提高农民自身素养即获取信息的能力,为农业发展提供良好环境,激发新型的农业创新创业活力。

(3)助推低碳农业发展,优化政府支撑机制。研究表明政府引导的作用还有待进一步发挥,政府部门需要对低碳农业发展给予高度重视,构建完善的协调推进体系,积极强化政策引导。政府需要对投入机制进行完善,对低碳农业的创新创业工作给予支持,改善区域创新创业环境,形成政府支撑的良性机制。

参考文献(References):

- [1] 金书秦, 林煜, 牛坤玉. 以低碳带动农业绿色转型: 中国农业碳排放特征及其减排路径[J]. 改革, 2021, (5): 29–37. [Jin S Q, Lin Y, Niu K Y. Driving green transformation of agriculture with low carbon: Characteristics of agricultural carbon emissions and its emission reduction path in China[J]. Reform, 2021, (5): 29–37.]
- [2] 王元彬, 张尧, 李计广. 数字金融与碳排放: 基于微观数据和机器学习模型的研究[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(6): 1–11. [Wang Y B, Zhang Y, Li J G. Digital finance and carbon emissions: An empirical test based on micro data and machine learning model[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32 (6): 1–11.]
- [3] 李家辉, 陆迁. 数字金融对农户采用绿色生产技术的影响[J]. 资源科学, 2022, 44(12): 2470–2486. [Li J H, Lu Q. The impact of digital finance on farmers' adoption of green production technologies[J]. Resources Science, 2022, 44(12): 2470–2486.]
- [4] 吉雪强, 张跃松. 长江经济带种植业碳排放效率空间关联网结构及动因[J]. 自然资源学报, 2023, 38(3): 675–693. [Ji X Q, Zhang Y S. Spatial correlation network structure and motivation of carbon emission efficiency in planting industry in the Yangtze Riv-

- er Economic Belt[J]. *Journal of Natural Resources*, 2023, 38(3): 675–693.]
- [5] 吴强, 张园园, 张明月. 中国畜牧业碳排放的量化评估、时空特征及动态演化: 2001–2020[J]. *干旱区资源与环境*, 2022, 36(6): 65–71. [Wu Q, Zhang Y Y, Zhang M Y. Quantitative assessment, temporal and spatial characteristics and dynamic evolution of China's animal husbandry carbon emissions[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2022, 36(6): 65–71.]
- [6] 李国志, 李宗植. 中国农业能源消费碳排放因素分解实证分析: 基于LMDI模型[J]. *农业技术经济*, 2010, (10): 66–72. [Li G Z, Li Z Z. Empirical analysis on decomposition of carbon emission factors of China's agricultural energy consumption: Based on LMDI model[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2010, (10): 66–72.]
- [7] 尚杰, 杨滨键. 区域农业碳足迹动态影响效应研究: 以潍坊市种植业为例[J]. *农村经济*, 2020, (5): 75–82. [Shang J, Yang B J. Study on the dynamic effect of regional agricultural carbon footprint[J]. *Rural Economy*, 2020, (5): 75–82.]
- [8] 伍国勇, 刘金丹, 杨丽莎. 中国农业碳排放强度动态演进及碳补偿潜力[J]. *中国人口·资源与环境*, 2021, 31(10): 69–78. [Wu G Y, Liu J D, Yang L S. Dynamic evolution of China's agricultural carbon emission intensity and carbon offset potential[J]. *China Population, Resources and Environment*, 2021, 31(10): 69–78.]
- [9] 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.]
- [10] Zhao R, Liu Y, Tian M, et al. Impacts of water and land resources exploitation on agricultural carbon emissions: The water–land–energy–carbon nexus[J]. *Land Use Policy*, 2018, 72: 480–492.
- [11] 田云, 尹念昊. 技术进步促进了农业能源减排吗? 基于回弹效应与空间溢出效应的检验[J]. *改革*, 2021, (12): 45–58. [Tian Y, Yin Y H. Does technological progress promote carbon emission reduction of agricultural energy? Test based on rebound effect and spatial spillover effect [J]. *Reform*, 2021, (12): 45–58.]
- [12] 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. The impact of industrial agglomeration on China's agricultural carbon emissions[J]. *Shandong Social Sciences*, 2016, (6): 135–139.]
- [13] 刘琼, 肖海峰. 农地经营规模与财政支农政策对农业碳排放的影响[J]. *资源科学*, 2020, 42(6): 1063–1073. [Liu Q, Xiao H F. The impact of farmland management scale and fiscal policy for supporting agriculture on agricultural carbon emission[J]. *Resources Science*, 2020, 42(6): 1063–1073.]
- [14] 宋博, 穆月英, 侯玲玲. 农户专业化对农业低碳化的影响研究: 来自北京市蔬菜种植户的证据[J]. *自然资源学报*, 2016, 31(3): 468–476. [Song B, Mu Y Y, Hou L L. Study on the effect of farm households' specialization on low-carbon agriculture: Evidence from vegetable growers in Beijing, China[J]. *Journal of Natural Resources*, 2016, 31(3): 468–476.]
- [15] Tamazian A, Chousa J P, Vadlamannati K C. Does higher economic and financial development lead to environmental degradation? Evidence from BRIC countries[J]. *Energy Policy*, 2009, 37(1): 246–253.
- [16] 严成樑, 李涛, 兰伟. 金融发展、创新与二氧化碳排放[J]. *金融研究*, 2016, (1): 14–30. [Yan C L, Li T, Lan W. Financial development, innovation and carbon emission[J]. *Journal of Financial Research*, 2016, (1): 14–30.]
- [17] 叶初升, 叶琴. 金融结构与碳排放无关吗? 基于金融供给侧结构性改革的视角[J]. *经济理论与经济管理*, 2019, (10): 31–44. [Ye C S, Ye Q. Is financial structure irrelevant with carbon emission? Based on financial supply side structural reform[J]. *Economic Theory and Business Management*, 2019, (10): 31–44.]
- [18] 陈亮, 胡文涛. 金融发展、技术进步与碳排放的协同效应研究: 基于2005–2017年中国30个省域碳排放的VAR分析[J]. *学习与探索*, 2020, (6): 117–124. [Chen L, Hu W T. Study on the synergistic effect of financial development, technological progress and carbon emission: Based on the VAR analysis of China's 30 provincial carbon emissions from 2005 to 2017[J]. *Study & Exploration*, 2020, (6): 117–124.]
- [19] Zhang Y J. The impact of financial development on carbon emissions: An empirical analysis in China[J]. *Energy Policy*, 2011, 39 (4): 2197–2203.
- [20] 陈向阳. 金融结构、技术创新与碳排放: 兼论绿色金融体系发展[J]. *广东社会科学*, 2020, (4): 41–50. [Chen X Y. Financial structure, technological innovation and carbon emissions: With additional studies on the development of green financial system[J]. *Social Sciences in Guangdong*, 2020, (4): 41–50.]
- [21] 程秋旺, 许安心, 陈钦. “双碳”目标背景下农业减排的实现路径: 基于数字普惠金融之验证[J]. *西南民族大学学报(人文社会科学版)*, 2022, 43(2): 115–126. [Cheng Q W, Xu A X, Chen Q. The realization path of agricultural carbon emission reduction under the background of “double carbon” target: Verification based on digital financial inclusion[J]. *Journal of Southwest Minzu University (Humanities and Social Science)*, 2022, 43(2): 115–126.]
- [22] 唐建军, 龚教伟, 宋清华. 数字普惠金融与农业全要素生产率: 基于要素流动与技术扩散的视角[J]. *中国农村经济*, 2022, (7): 81–102. [Tang J J, Gong J W, Song Q H. Digital financial inclusion and agricultural total factor productivity: The role of factor flow and technology diffusion[J]. *Chinese Rural Economy*, 2022, (7): 81–102.]
- [23] 张正平, 王琼. 数字普惠金融发展对农业生产有资本替代效应吗? 基于北京大学数字普惠金融指数和CFPS数据的实证研究[J]. *金融评论*, 2021, 13(6): 98–116. [Zhang Z P, Wang Q. Does digital financial inclusion affect capital–labor substitution in agricultural production? An empirical research based on digital finan-

2023年3月

- cial inclusion index of Peking University and GFPS data[J]. Chinese Review of Financial Studies, 2021, 13(6): 98–116.]
- [24] 刘自强, 张天. 数字普惠金融对农民收入的影响及其空间溢出效应[J]. 当代经济研究, 2021, (12): 93–102. [Liu Z Q, Zhang T. The impact of inclusive finance on farmers' income and its spatial spillover effects[J]. Contemporary Economic Research, 2021, (12): 93–102.]
- [25] 赵晓鸽, 钟世虎, 郭晓欣. 数字普惠金融发展、金融错配缓解与企业创新[J]. 科研管理, 2021, 42(4): 158–169. [Zhao X G, Zhong S H, Guo X X. Digital inclusive finance development, financial mismatch mitigation and enterprise innovations[J]. Science Research Management, 2021, 42(4): 158–169.]
- [26] 李晓园, 刘雨濛. 数字普惠金融如何促进农村创业?[J]. 经济管理, 2021, 43(12): 24–40. [Li X Y, Liu Y M. How does digital inclusive finance promote rural entrepreneurship?[J]. Business and Management Journal, 2021, 43(12): 24–40.]
- [27] 盖美, 杨尚菲, 何亚宁. 东北粮食主产区农业绿色发展水平时空演化及其影响因素[J]. 资源科学, 2022, 44(5): 927–942. [Gai M, Yang Q F, He Y N. Spatiotemporal changes and influencing factors of agricultural green development level in main grain-producing areas in Northeast China[J]. Resources Science, 2022, 44(5): 927–942.]
- [28] 张赫, 黄雅哲, 王睿, 等. 中国县域碳排放脱钩关系及其时空特征演变[J]. 资源科学, 2022, 44(4): 744–755. [Zhang H, Huang Y Z, Wang R, et al. Decoupling and spatiotemporal change of carbon emissions at the county level in China[J]. Resources Science, 2022, 44(4): 744–755.]
- [29] 徐维祥, 周建平, 刘程军. 数字经济发展对城市碳排放影响的空间效应[J]. 地理研究, 2022, 41(1): 111–129. [Xu W X, Zhou J P, Liu C J. The impact of digital economy on urban carbon emissions: Based on the analysis of spatial effects[J]. Geographical Research, 2022, 41(1): 111–129.]
- [30] Elhorst J P. Dynamic spatial panels: Models, methods, and inferences[J]. Journal of Geographical Systems, 2012, 14(1): 5–28.
- [31] 及添正, 邓宏兵, 张天铃. 生产性服务业集聚对碳排放效率的影响: 基于长江经济带 108 个城市企业数据的分析[J]. 资源科学, 2023, 45(1): 31–47. [Ji T Z, Deng H B, Zhang T L. Impact of producer services agglomeration on carbon emission efficiency: An analysis based on the data of enterprises in 108 cities of the Yangtze River Economic Belt[J]. Resources Science, 2023, 45(1): 31–47.]
- [32] 赵星, 董直庆. 高铁网络的技术创新效应与空间作用特征: 基于“本地-邻地”视角[J]. 财经科学, 2020, (7): 106–119. [Zhao X, Dong Z Q. Technological innovation effect of high speed network and characteristics of spatial effects: From the perspective of local-neighborhood[J]. Finance & Economics, 2020, (7): 106–119.]
- [33] 孙春晓, 裴小忠, 刘程军, 等. 中国城市物流创新的空间网络特征及驱动机制[J]. 地理研究, 2021, 40(5): 1354–1371. [Sun C X, Pei X Z, Liu C J, et al. Spatial network characteristics and driving mechanism of urban logistics innovation in China[J]. Geographical Research, 2021, 40(5): 1354–1371.]
- [34] 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 To-bit 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.]
- [35] 田云, 尹恣昊. 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 Y H. Re-evaluation of China's agricultural carbon emissions: Basic Status, dynamic evolution and spatial spillover effects[J]. Chinese Rural Economy, 2022, (3): 104–127.]
- [36] 韦玉琼, 龙飞, 岳欣冉. 乡村振兴背景下农村碳排放变动及减排策略[J]. 农业经济问题, 2022, (9): 62–73. [Wei Y Q, Long F, Yue X R. Carbon emission changing and reduction strategy of agriculture and rural areas under the background of rural vitalization[J]. Issues in Agricultural Economy, 2022, (9): 62–73.]
- [37] Huang X Q, Xu X C, Wang Q Q, et al. Assessment of agricultural carbon emissions and their spatiotemporal changes in China, 1997–2016[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2019, DOI: 10.3390/ijerph16173105.
- [38] 郭峰, 王靖一, 王芳, 等. 测度中国数字普惠金融发展: 指数编制与空间特征[J]. 经济学(季刊), 2020, 19(4): 1401–1418. [Guo F, Wang J Y, Wang F, et al. Measuring China's digital financial inclusion: Index compilation and spatial characteristics[J]. China Economic Quarterly, 2020, 19(4): 1401–1418.]
- [39] Zheng H, Li X. The impact of digital financial inclusion on carbon dioxide emissions: Empirical evidence from Chinese provinces data[J]. Energy Reports, 2022, 8: 9431–9440.
- [40] Rehman A, Ma H Y, Ozturk I. Do industrialization, energy importations, and economic progress influence carbon emission in Pakistan?[J]. Environmental Science and Pollution Research, 2021, 28 (33): 45840–45852.
- [41] 李秀娟, 孟丽红, 吉登艳. 我国农业产业集聚度比较分析及区划研究[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(12): 51–59. [Li X J, Meng L H, Ji D Y. Comparative analysis and regionalization of agricultural industrial agglomeration degree in China[J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2021, 42 (12): 51–59.]
- [42] 樊纲, 王小鲁, 马光荣. 中国市场化进程对经济增长的贡献[J]. 经济研究, 2011, 46(9): 4–16. [Fan G, Wang X L, Ma G R. Contribution of marketization to China's economic growth[J]. Economic Research Journal, 2011, 46(9): 4–16.]
- [43] 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 economic development: Empirical evidence from urban China[J]. *Journal of Management World*, 2020, 36(10): 65–76.]
- [44] Nunn N, Qian N. US food aid and civil conflict[J]. *American Economic Review*, 2014, 104(6): 1630–1666.
- [45] 李建军, 韩珣. 普惠金融、收入分配和贫困减缓: 推进效率和公平的政策框架选择[J]. *金融研究*, 2019, (3): 129–148. [Li J J, Han X. The effect of financial inclusion on income distribution and poverty alleviation: Policy framework selection for efficiency and equity[J]. *Journal of Financial Research*, 2019, (3): 129–148.]
- [46] Feng S L, Zhang R, Li G X. Environmental decentralization, digital finance and green technology innovation[J]. *Structural Change and Economic Dynamics*, 2022, 61: 70–83.

Spatial effect of digital inclusive finance on agricultural carbon emission intensity and mechanism

SU Peitian¹, WANG Lei^{1,2}

(1. School of Economics and Management, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China; 2. School of Tea Science and Tea Culture, Zhejiang A&F University, Hangzhou 311300, China)

Abstract: [Objective] With the deepening of the digital economy, digital inclusive finance has become an important path for reducing the carbon emission intensity of agriculture. This study explored the relationship between digital inclusive finance and the carbon emission intensity of agriculture. [Methods] Starting from the spatial effects and influencing mechanisms, this study used digital inclusive finance and agricultural carbon emission intensity data from 31 provinces in China from 2011 to 2020 and kernel density estimation and spatial autocorrelation analysis of the characteristics of agricultural carbon emission intensity, the dynamic spatial Durbin model, and mediation effect models to analyze the impact of digital inclusive finance on agricultural carbon emission intensity. [Results] The results show that: (1) The level of agricultural carbon emission intensity was continuously decreasing, with strong spatial heterogeneity and clear agglomeration characteristics, while the spatial pattern of digital inclusive finance and agricultural carbon emission intensity exhibited certain mismatch in their development. (2) Digital inclusive finance had a significant negative effect on agricultural carbon emission intensity, and the conclusion is robust based on endogeneity tests, sample exclusions, and policy effect tests. Broader coverage and higher level of digitalization of digital inclusive finance can significantly inhibit agricultural carbon emission intensity. (3) Digital inclusive finance affects the level of agricultural carbon emissions by influencing the level of agricultural technology innovation and entrepreneurial activities, and urbanization and marketization levels have significant moderating effects that can strengthen the carbon reduction effect of digital finance. [Conclusion] It is recommended to further optimize the organizational model of digital inclusive finance to support low-carbon agricultural development, strengthen the construction of digital infrastructure to stimulate agricultural innovation and entrepreneurship, and thus promote the development of low-carbon agriculture.

Key words: digital inclusive finance; agricultural carbon emission intensity; spatial spillover effect; impact mechanism; dynamic spatial Durbin model; China