

数字普惠金融能否促进农业净碳汇效率¹

——基于面板门槛模型的检验

钱力² 张轲³ 宋俊秀⁴

摘要 探讨数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响,对于丰富数字金融理论体系和促进农业低碳发展提质增效具有理论与现实意义。本文基于2011—2020年全国30个省市级数据,采用Malmquist指数方法测算碳排放效率,运用面板门槛模型探究数字普惠金融对农业净碳汇效率的直接影响,采用逐步回归法探究以技术创新为中介的间接影响,鉴于地理区位和政策倾斜等原因,进一步对其影响效应的异质性进行研究。研究发现,数字普惠金融对农业净碳汇效率具有正向促进作用,且作用大小在数字普惠金融的不同门槛值区间存在差异性,在数字普惠金融低值区的影响效应大于高值区的影响效应,两者间存在非线性关系,技术创新是影响农业净碳汇效率的重要作用渠道。数字普惠金融与农业净碳汇效率的影响作用存在时间段差异,现阶段的正向促进作用明显高于2016年之前。经济发展低水平地区的数字普惠金融影响效应高于经济发展高水平地区。本文提出,加强数字金融服务,促进数字普惠金融在农业领域的推广;缩小区域发展差异,实施异质性治理策略适度规范数字金融监管;通过财政补贴等方式鼓励农民和农业企业采用低碳农业技术和管理方法,提高净碳汇效率等建议。

关键词 数字普惠金融;农业净碳汇效率;技术创新;面板门槛模型

0 引言

自工业革命以来,工农业的迅速发展导致大规模的化石燃料被消耗,排放出大量温室气体,在一定程度上促使了温室效应等问题的产生,深刻影响经济

1 作者感谢安徽省高校科研计划重大项目“劳动力流动对城乡融合发展的影响研究”(项目编号:2022AH040085)、安徽省新时代育人质量工程项目(研究生教育)“数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响研究”(项目编号:2023xscx082)的资助。

2 钱力,安徽财经大学经济学院教授,E-mail:qianli@aufe.edu.cn。

3 张轲(通信作者),南京农业大学经济管理学院博士研究生,E-mail:KEZHANG1216@126.com。

4 宋俊秀,安徽财经大学金融学院讲师,E-mail:120150038@aufe.edu.cn。

社会的可持续发展。碳减排问题作为经济发展的重要前提,也逐渐成为各国的核心议题之一。我国是典型的发展中国家,在很大程度上依赖农业的发展。在农业发展过程中,农药化肥等的使用虽然使得农业生产水平得到大幅度提高,但同时工业化的环境污染问题也渗透到农业生产活动中。农业的生态承载受到较大冲击,农业的发展也面临着高能耗、高污染和高排放的局面。农业碳排放成为第二大碳排放源,占据碳排放总量的较大比重,因此,促进农业低碳发展成为我国现阶段节能减排的重点(吴昊玥等,2017)。农业碳减排比工业碳减排具有更大的正外部性,不仅可以减少农田污染、保持土壤肥沃,还可以优化人居环境,促进生态经济的发展。值得注意的是,农业同时具备碳源和碳汇功能,一方面农业生产活动产生的碳排放是温室气体的重要来源,另一方面农业利用农田、森林等生态系统的光合作用进行“大面积”“低成本”的生物固碳(Federici et al., 2015; 李远航等, 2022)。进而要想促进农业“减排增汇”,达成碳达峰碳中和目标,关键在于提高农业净碳汇效率。

传统金融发展往往会忽略弱势群体的资金需求,导致农民融资难、农业生产积极性大打折扣,不利于开展农业减排生产。农业过度依赖粗放的生产方式,碳排放问题仍然不可控。随着数字经济时代的到来,依托大数据、人工智能和区块链技术的数字普惠金融快速发展,使得通过数字化路径使农业“双碳”目标成为可能。数字普惠金融突破传统金融的局限性,有效解决农村地区的“长尾”窘境(许钊等,2021)。绿色农业生产方式获得资金的助力,促进大量高效低碳的农业发展模式被选择,直接减少农业碳排放。同时,数字普惠金融发展为农村搭建了数字普惠金融与环保服务平台。例如“蚂蚁森林”“闲鱼”等项目,通过线上虚拟植树造林和闲置资源置换转变为现实效益,不仅推动农业绿色发展和资源利用,还提高农民环保参与的积极性,方便农民开展环境治理等系列活动(蒋庆正等,2019)。多种形式的金融政策扶持农业,为农业低碳发展提供条件,提高农业竞争力。近年来,我国实施的一系列政策也证实了数字金融对农业绿色发展的重要性,例如,《关于金融服务“三农”发展的若干意见》提出深化金融服务乡村振兴战略,支持农业科技创新和绿色发展,关于《构建绿色金融体系的指导意见》提出要促进绿色金融产品和服务的创新,鼓励金融机构支持绿色产业和生态保护,关于《深入推进农业供给侧结构性改革 加快培育农业农村发展新动能的若干意见》提出要推进农业现代化和数字化等。基于此,探讨数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响,对于丰富数字金融理论体系和促进农业低碳发展提质增效具有理论与现实意义。

1 文献综述

在“双碳”背景下,厘清农业碳排放现状和效率特征是实现农业低碳发展的

重要前提。早期研究主要围绕农业碳排放测算、时空特征和影响因素分析方面,研究发现我国农业碳排放量总体呈现增长趋势,各地区间存在非均衡性(Tian et al., 2014),农业经济发展是导致碳排放量变化的重要原因,通过征收碳税、植树造林、改变农作物材种密度等途径可以有效减少农业碳排放(闵继胜和胡浩, 2012)。随着研究的逐步深入,开始探讨农业碳排放效率的概念界定、效率测算、影响因素和空间关系分析方面(Steenblik and Möisè, 2010)。就农业碳排放效率的概念来看,有研究认为农业碳排放效率是在既定资源约束下达到最小碳排放理想值与实际值的比重,也有研究认为是指碳排放约束下的农业生产率水平(Paustian et al., 2000)。两种概念界定都认同随着农业碳排放效率的提高,在相同要素投入下产出的经济价值越高,更有助于地区农业的低碳化发展(Zhou et al., 2010; 王群伟等, 2010)。目前,关于碳排放效率的研究主要集中于工业方面,而对于农业碳排放效率的有关研究较少,少数研究关于农业碳排放效率的测算主要通过DEA、SBM等模型,将碳排放作为环境的投入因子对农业碳排放效率进行分析,也有研究采用农业碳排放量与农业生产总值之比用于测算效率,分析得到农业碳排放效率整体呈现逐年上升的趋势,但各地区具体情况存在差异(吴贤荣等, 2014)。上述对农业碳排放效率的研究侧重农业的“单要素”特征,忽略农业同时具备碳源和碳汇的双重属性。如果将碳汇因素考虑在内,把农业净碳汇作为产出指标(龙志等, 2022),对农业生态环境的分析将更加全面(李波等, 2019)。就农业碳排放效率的影响因素来看,研究从城市化水平、财政支农力度、农业技术进步、人力资本水平等角度进行探讨(吴昊玥等, 2021; 王昉和朱朝枝, 2018)。更进一步地,对农业碳排放效率的空间联系进行探究,结果表明存在明显的空间效应,说明在政策制定时还应考虑邻区对当地的影响(高鸣和宋洪远, 2015)。关于农业碳排放与农业经济增长两者间的关系,研究认为由于现阶段科技文化水平等方面的限制,我国经济增长与碳排放整体上呈现较为明显的正向关系(徐国泉等, 2006),且农业碳排放量占总碳排放量的比重也在不断上升,进一步分析发现农业经济增长与农业碳排放的脱钩关系并不理想,因此,提高农业碳排放效率成为实现农业发展与农业碳减排并行的的重要手段(李波和张俊飏, 2012)。

相较于传统金融来看,数字普惠金融能够利用大数据、云计算、区块链和人工智能等,有效降低金融服务门槛和交易成本,通过提供移动支付和平滑消费等为弱势群体提供相匹配的金融服务(黄益平和黄卓, 2018)。围绕数字普惠金融与经济增长,已有研究从拉动消费增长(易行健和周利, 2018)、收敛城乡收入差距(宋晓玲, 2017)和减缓贫困(何学松和孔荣, 2017)等角度对两者间的正向关系进行解释,也有不同观点认为数字普惠金融相关配套法律法规建设的滞后与监管问题的缺失会增加金融发展的风险性,进而对经济增长产生消极影响

(黄益平,2017)。在相关数字普惠金融的研究中,对于其环境改善效应是研究的焦点之一,探究发现数字媒介传播的信息能够提升公众的环保意识,非正式环境规制可以改善空气质量(张生玲等,2018),同时,电商产业作为环境友好型产业能够挤压高耗能、高污染产业的发展空间,进而促进绿色发展(刘乃全等,2021)。针对数字普惠金融与农业净碳汇效率的研究,缺乏相关文献支撑,而数字普惠金融作为传统普惠金融与现代科学技术的有机融合,仍然保留传统金融的特征,因此,厘清传统金融和碳排放的相关研究脉络,有助于填补这一研究空白。现有相关金融与碳排放间的研究主要集中在两者的影响效应、影响机制和异质性分析方面。关于金融对碳排放影响效应的方向目前存在两种观点,一是金融具有“碳减”效应(Tamazian et al.,2009),研究表明金融信贷和市场融资规模与金融发展水平有助于降低地区能耗(Ouyang and Li,2018),减少碳排放和污染,且技术进步在其中承担中介效应(贺俊等,2019)。二是金融具有“碳增”效应,分析发现金融发展在对环境污染影响过程中,技术进步与外商直接投资在此过程中充当中介变量,一方面技术进步通过“回弹效应”可能会引起更大规模的能源消耗和碳排放(Sadorsky,2010),另一方面外商直接投资也有可能通过“污染避难所效应”增加碳排放(Sorrell,2009)。多数研究指出金融对碳排放强度的影响存在区域异质性,根据所在地区禀赋异质性呈现出不同特点(邵汉华和刘耀彬,2017),而金融对环境污染影响机制的研究大多沿用关于经济活动环境的规模、技术、结构三类分解效应,探究在不同约束条件下三种效应的影响大小,分析其对碳减排和环境污染的影响,提出相应的对策建议(严成樑等,2016)。

综上所述,关于农业碳排放效率的测算,多数研究只考虑农业具有“碳源”属性的单因素方面,将农业碳排放作为投入指标进行分析,忽略农业还具有碳汇功能,测算存在一定偏差。在数字经济时代,数字普惠金融相比传统金融更具亲贫性特征,能够缓解融资约束、拓宽融资渠道,为农业低碳发展提供更多的金融支持。提高农业碳排放效率是实现农业发展与农业碳减排并行的的重要手段,但鲜有研究将数字普惠金融与农业净碳汇效率联系起来并进行深入分析。探讨两者间的影响机理与效应,有利于探究数字普惠金融实现农业“双碳”目标的优化路径。本文的边际贡献:第一,在“双碳”背景下,创新性地将数字普惠金融、农业净碳汇效率放入同一个分析框架,厘清其中的内在机理和影响效应,为农业“减排促汇”提供借鉴;第二,现有相关数字金融的研究中大多采用固定效应模型研究线性问题,本文采用面板门槛模型,研究数字普惠金融与农业净碳汇效率之间的非线性关系,探索两者间的变化特征;第三,研究技术创新的中介效应,探究其中的作用机制;第四,基于省级面板数据进行实证分析,从宏观视角把握演变规律,为现代农业可持续发展提质增效提供经验。

2 理论机制与研究假说

2.1 数字普惠金融对农业净碳汇效率的直接影响

在现阶段科技水平的限制下,社会与经济的快速发展促使碳排放的大量增加,使得中国进入环境的“库兹涅茨倒 U 型”曲线。同时,经济的增长又促进产业结构的高级化,扩大行业的资金需求,金融行业应势崛起并快速成长。随着大数据与信息化时代的到来,数字普惠金融的发展打破传统金融体系的束缚,拓展了金融的服务范围和触达能力,为农村地区和农业低碳发展提供可能的途径(李寿喜和张珈豪,2023)。一方面数字普惠金融可以提供用于农业低碳技术研究和开发的贷款和融资,促进农业生产方式的转型升级。此外,数字普惠金融的普及也可以提高农民的财务管理能力和风险防范能力,降低他们在农业生产中的资源浪费和环境污染风险,促进大量的农业低碳生产方式被选择,直接减少农业碳排放。另一方面移动支付、网络借贷等新型媒介的普及可以为农村地区提供更加便捷的融资渠道,促进农业绿色发展。首先,这些新型媒介可以为农村地区提供更加灵活的融资方式,降低农民的融资成本和融资难度,从而促进农业生产的发展和升级。其次,这些媒介还可以为农民提供更加方便快捷的支付和结算手段,降低交易成本,提高交易效率。这有助于优化农村供应链和物流配送,降低农产品的损耗和浪费,从而促进农业绿色发展。另外,“蚂蚁森林”等环保服务项目也可以促进农业绿色发展。例如,“蚂蚁森林”项目通过用户的在线行为来推广植树和环保,鼓励人们积极参与环保行动。这些行动不仅可以改善生态环境,还可以促进农业绿色发展。例如,植树可以增加土地的覆盖率和固碳能力,改善土地质量,从而促进农作物的生长和发展。此外,“蚂蚁森林”还可以提供环保信息和技术支持,帮助农民更好地开展绿色农业生产,促进农业固碳增汇(付伟等,2023)。而数字普惠金融作为传统金融在数字技术赋能下的产物,其与农业净碳汇效率的关系很可能表现出复杂的非线性。其一,数字普惠金融所使用的数据等生产要素具有边际报酬递增规律,当数字普惠金融发展突破一定门槛值后,其对农业净碳汇效率的促进作用可能会表现出边际递增趋势。其二,与传统金融相似,数字普惠金融也存在适度匹配和过度危害问题,当数字普惠金融发展水平超过一定门槛值后,很有可能会对农村地区农业发展产生负外部性影响。其三,数字普惠金融与技术、网络等风险相互叠加容易滋生新型风险,进而增加数字普惠金融对农业净碳汇效率影响的不确定性(王守坤和范文诚,2022)。同时,从消费结构方面来看,数字普惠金融的推

广可能会改变农村居民的消费结构。数字普惠金融可以为农村居民提供更加便捷、安全、灵活的金融服务,可能使得农村居民的消费方式发生改变。例如,他们可能更多地使用电子支付,而不是使用现金。这种消费方式的转变可能会导致农村经济的结构调整,促使农村居民可能更多地使用可再生能源、选择绿色食品等,进而可能会对农业净碳汇效率产生非线性的影响。基于此,提出研究假说:

假说 1: 数字普惠金融对农业净碳汇效率具有积极影响。

假说 2: 数字普惠金融对农业净碳汇效率存在非线性影响。

2.2 数字普惠金融对农业净碳汇效率的间接影响

数字普惠金融通过技术创新对农业净碳汇效率的间接影响主要体现在以下几个方面:第一,支持农村金融服务的数字化升级。数字普惠金融的发展可以促进农村金融服务的数字化升级,提供更加方便、快捷、低成本的金融服务。例如,通过数字支付、移动银行等新兴金融工具,可以为农村居民提供更加便捷的金融服务,促进农村经济的发展。同时,数字化的发展也为农村金融机构提供了更多的机会和挑战,可以通过科技手段提高服务效率和服务质量,进而提升农村金融服务水平(王巧和尹晓波,2022)。第二,推动农业生产方式和经营模式的升级和改进。数字普惠金融的发展可以推动农业生产方式和经营模式的升级和改进,提高农业生产效率和农产品质量。例如,通过智慧农业、农业物联网、大数据等新兴技术的应用,可以实现农业生产的数字化、智能化和精准化,帮助农民提高生产效率和产品质量,进而提高农业净碳汇效率(丁凡琳,2022)。第三,促进农村产业结构的优化和升级。数字普惠金融的发展可以促进农村产业结构的优化和升级,推动农业产业向高附加值、高效益、低碳排放方向发展。例如,通过数字化农村产业链,可以实现农业生产、加工、流通和销售等环节的信息共享和协同,提高农产品附加值和市场竞争力,进而促进农村产业结构的优化和升级(王元彬等,2022)。这些影响对于促进农村经济的发展、提高农业生产效率和促进农业净碳汇效率的提高具有重要的意义。但值得注意的是,首先,技术创新的成本较高,技术创新需要投入大量的资金和人力,而数字普惠金融的发展并不能完全满足农业生产的需求,因此对于一些农业生产企业或者农户来说,技术创新的成本较高。其次,技术创新虽然可以提高农业生产效率,但是对于不同的农业生产环境和生产方式,适用性并不相同。如果技术创新与农业生产环境和生产方式不匹配,可能会导致技术创新对农业净碳汇效率的影响不强。基于此,提出研究假说:

假说 3: 技术创新是数字普惠金融影响农业净碳汇效率的重要机制。

2.3 数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响异质性

近年来,政府加强了对数字普惠金融和农业净碳汇的支持和引导,出台了一系列政策措施(姚凤阁等,2022)。例如,《关于金融服务“三农”发展的若干意见》提出加快推进农村金融改革与发展,深化金融服务乡村振兴战略,支持农业科技创新和绿色发展,推进数字农业和数字金融融合发展。《关于构建绿色金融体系的指导意见》提出要促进绿色金融产品和服务的创新,鼓励金融机构支持绿色产业和生态保护,推动绿色金融和数字金融深度融合,支持数字农业的发展。《关于深入推进农业供给侧结构性改革加快培育农业农村发展新动能的若干意见》提出 to 支持农业科技创新和绿色发展,推进农业现代化和数字化,加强农村金融服务。《数字乡村发展工作要点》提出要推进数字农业、数字金融和数字社会的融合发展,建设数字乡村,提高农业生产和管理精细化水平,促进农业净碳汇效率的提高(程秋旺等,2022)。综上所述,政府的政策措施已经明确支持和引导数字普惠金融与农业净碳汇效率的发展,这对于促进农业可持续发展和生态文明建设具有重要意义,可能会使得现阶段的影响效果高于前阶段。由于农业生产模式、数字普惠金融的普及程度,特别是地区的经济发展水平等因素的差异,数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响效应在不同地区之间可能存在异质性(姚凤阁等,2021)。首先,在经济发展水平低的地区,由于基础设施和金融服务的不足,农村金融服务水平相对较低,数字普惠金融的普及和推广可以弥补金融服务的不足,提高农村金融服务水平和效率,从而促进农业生产的发展,进而提高农业净碳汇效率。其次,数字普惠金融能够降低金融服务成本。在经济发展水平低的地区,金融服务成本相对较高,数字普惠金融的推广可以通过提供线上金融服务、推广微信支付等新型金融服务方式,降低金融服务成本,优化农村金融服务体系,提高农村金融服务水平和效率,从而促进农业生产的发展,进而提高农业净碳汇效率。最后,数字普惠金融能够提高农民收入水平。在经济发展水平较低的地区,由于农民的收入水平相对较低,农民的金融服务水平和金融素养相对较低,数字普惠金融的推广可以帮助农民更好地融入市场经济,提高农民的收入水平,促进农村经济的发展,进而提高农业净碳汇效率(贺茂斌和杨晓维,2021)。基于此,提出研究假说:

假说4:数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响存在异质性。

3 研究设计

3.1 变量选取

(1) 解释变量——农业净碳汇效率(efficiency)。效率利用 DEA-Malmquist

计算,投入指标有农业资本存量、农业劳动力、耕地面积。产出指标包括农林业总产值、净碳汇。其中,农业资本存量采用 PIM 方法测算(李谷成等,2014),农业净碳汇=(林地碳汇+草地碳汇+园地碳汇)-农业碳排放。借鉴 IPCC(2019 年修订版)中数据与相关研究(陈罗烨等,2016;吕斯涵和张小平,2019),表 1 列出相关农业碳源和碳汇系数。

表 1 农地利用碳源和碳汇系数

碳源	碳排放系数	碳汇	碳汇系数
农用化肥	0.8956kg · kg ⁻¹	林地	0.49t(C) · hm ⁻²
农药	4.934kg · kg ⁻¹	草地	0.0021kg(C) · m ⁻² · a ⁻¹
农膜	5.18kg · kg ⁻¹	园地	2.1t(C) · hm ⁻²
农用柴油	0.5927kg · kg ⁻¹		
农业灌溉	20.476kg · hm ⁻²		

(2) 解释变量——数字普惠金融(index)。这里采用北京大学数字金融研究中心测算的数字普惠金融指数进行衡量(郭峰等,2020)。

(3) 中介变量——技术创新(innovation)。为考察数字普惠金融影响农业净碳汇效率的内在机制,这里将技术创新作为中介变量进行研究。农业机械化是农业现代化的重要组成部分,也是技术创新的重要体现。农业机械化的提高可以降低农业生产的劳动力成本,提高农业生产效率,进而促进农业净碳汇效率的提高。因此,通过农业机械总动力来衡量技术创新水平,可以从一定程度上反映出农业生产效率的提高情况,进而评估数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响,技术创新水平采用农业机械总动力的对数进行衡量。

(4) 控制变量——城市化水平(urban)、金融发展水平(finance)、人力资本水平(capital)、科技发展环境(technology)、农业经营规模(scale)。其中,城市化水平用城镇人口/常住人口(%)表征,城市化水平反映了城市化进程对农业净碳汇效率的影响。城市化会带来土地利用变化、农业结构变化、农村劳动力流失等影响。金融发展水平用金融机构存贷款/GDP 表征,金融发展水平反映了金融对农业净碳汇效率的影响。金融对农业的投资和融资可以促进农业现代化和技术创新,提高农业净碳汇效率。人力资本水平借鉴朱承亮等的做法(朱承亮等,2011),采用平均教育年限来表征,人力资本水平反映了劳动力素质对农业净碳汇效率的影响。教育程度更高的农民可以更好地掌握现代农业技术和管理技能,提高农业净碳汇效率。科技发展环境则用国内外三种专利授权数来表征。科技发展环境反映了科技创新对农业净碳汇效率的影响。科技创新可以提高农业生产效率、降低农业生产成本,从而提高农业净碳汇效率。农业经营规模对农业净碳汇效率有着复杂的影响,大规模农业可能会使用更先进的技术和管理方法,提高农业净碳汇效率。但同时,大规模农业也可能会导致

土地退化、水资源过度使用等环境问题,降低农业净碳汇效率。因此,将农业经营规模放到控制变量上,可以将其他因素对农业净碳汇效率的影响隔离出来,更准确地评估数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响,借鉴吉雪强等(2023)的研究,采用农作物播种总面积(千公顷)/农业劳动力(万人)衡量农业经营规模。

3.2 模型设定

采用 Hansen 的面板门槛效应模型,验证数字普惠金融与农业净碳汇效率之间的非线性影响,设定的单门槛、双重门槛和多重门槛模型分别为如下式。

$$\text{efficiency}_{it} = \delta + \beta_1 \text{index}_{it} \cdot I(q_{it} \leq \gamma_1) + \beta_2 \text{index}_{it} \cdot I(q_{it} > \gamma_1) + \alpha \text{controls}_{it} + \varepsilon_{it} \tag{1}$$

$$\text{efficiency}_{it} = \delta + \beta_1 \text{index}_{it} \cdot I(q_{it} \leq \gamma_1) + \beta_2 \text{index}_{it} \cdot I(\gamma_1 < q_{it} \leq \gamma_2) + \beta_3 \text{index}_{it} \cdot I(q_{it} > \gamma_2) + \alpha \text{controls}_{it} + \varepsilon_{it} \tag{2}$$

$$\text{efficiency}_{it} = \delta + \beta_1 \text{index}_{it} \cdot I(q_{it} \leq \gamma_1) + \beta_2 \text{index}_{it} \cdot I(\gamma_1 < q_{it} \leq \gamma_2) + \cdots + \beta_n \text{index}_{it} \cdot I(q_{it} > \gamma_n) + \alpha \text{controls}_{it} + \varepsilon_{it} \tag{3}$$

式中,efficiency_{it} 是被解释变量农业净碳汇效率,index_{it} 是解释变量数字普惠金融,q_{it} 为门限变量,γ 为门槛值,I 为指标函数。controls_{it} 为控制变量,包括城市化水平(urban)、工业化水平(industry)、对外贸易程度(open)、金融发展水平(finance)、地区经济发展水平(economy)、人力资本水平(capital)、科技发展环境(technology),ε_{it} 为残差项。

3.3 数据说明

数据主要来源于 2011—2020 年相关年份的各省统计年鉴、中国统计年鉴、中国农村统计年鉴等,数字普惠金融发展水平数据来源于《北京大学数字普惠金融指数(2011—2020 年)》,部分缺失数据采用插值法补齐。由于港澳台与西藏数据缺失,故选取 30 个省(市)作为研究对象,指标具体构成及特征值如表 2 所示。

表 2 描述性统计结果

变量名称	符号	均值	标准差	最小值	最大值
数字普惠金融	index	217.2461	96.9682	18.3300	431.9276
农业净碳汇效率	efficiency	1.3608	1.2258	0.1009	6.5605
技术创新	innovation	7.6898	1.1247	4.5433	10.0664
人力资本水平	capital	8.9600	0.8715	5.5949	12.2132
金融发展水平	finance	4.2297	2.2950	1.3345	13.4324
城市化水平	urban	59.0064	12.2183	35.0300	89.6000
科技发展环境	technology	58.6022	89.3666	0.5020	709.7250
农业规模	scale	6.8011	4.2263	0.1584	27.7140

如表 2 所示,数字普惠金融指数的均值为 217.2461,其中最大值(431.9276)约是最小值(18.3300)的 23 倍,标准差高达 96.9682,数据较离散,说明不同地区间的数字普惠金融发展水平存在较大差异。农业净碳汇效率的均值为 1.3608,标准差为 1.2258,说明数据较为集中,但效率最小值对应 0.1009,最大值对应 6.5605,可见个别农业净碳汇效率的数据存在差距。

4 实证结果与分析

4.1 基准回归

根据门槛效应模型的检验思路,首先判断是否存在门槛效应和门槛值的数量,对基准模型进行效应检验,结果发现存在单门槛情形,具体如表 3 所示。

表 3 门槛效应检验结果表

门槛数	<i>F</i> 统计量	<i>p</i> 值	10%临界值	5%临界值	1%临界值
单一门槛	20.04	0.0400	15.1122	17.6324	25.9307
双重门槛	13.25	0.4480	19.2942	20.8694	24.3704

注:*p* 值和临界值均为采用 bootstrap 法模拟 500 次后得到的结果。

在确定门槛数量后,进一步运用极大似然函数对门槛值进行搜索,可知其单门槛估计值为 159.8600,落在 95%置信水平的置信区间[155.2950~160.0700]之内,通过有效性检验。基准门槛效应模型回归结果如表 4 所示。

表 4 基准门槛效应模型回归结果

变量	模型(1)
$\text{index}(q_{it} \leq 159.86000)$	0.0094 *** (0.0028)
$\text{index}(q_{it} > 159.8600)$	0.0044 ** (0.0021)
capital	0.5420 ** (0.2140)
finance	0.0707 (0.1540)
urban	-0.0419 (0.0473)
technology	0.0034 * (0.0018)
scale	0.1060 (0.0756)

续表

变量	模型(1)
constant	-3.3290 (2.9710)
R^2	0.199
F 值	9.31 ***
N	300

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著,括号内为回归系数的标准差。

由表 4 可知,数字普惠金融对农业净碳汇效率具有正向促进作用,且影响效应在数字普惠金融的不同门槛值区间存在差异性。差异性体现为在数字普惠金融低值区影响效应大于高值区的影响效应,说明数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响存在门槛效应,二者存在非线性关系。具体来看,数字普惠金融指数的提高可以促进数字普惠金融产品的普及和使用,从而提高农村居民的金融包容性和金融服务质量,进而促进农业净碳汇效率的提高。此外,数字普惠金融指数的提高还可以促进数字技术在农业生产和管理中的应用,提高农业生产和管理的效率,降低农业温室气体排放和碳排放强度,进一步提高农业净碳汇效率。然而,在不同的数字普惠金融门槛值区间,数字普惠金融指数对农业净碳汇效率的影响效应也存在差异性。低门槛区间的数字普惠金融指数提高,可以促进更多的农村居民使用数字普惠金融产品,提高农业净碳汇效率;而高门槛区间的数字普惠金融指数提高,主要是针对中高收入人群的金融服务水平提高,对农业净碳汇效率的影响相对较小。同时,数字普惠金融跨过一定阈值后,其与技术、网络等风险相互叠加容易滋生新型风险,正向影响系数变小。综上所述,数字普惠金融指数对农业净碳汇效率具有正向促进作用,但其影响效应也与数字普惠金融的门槛值有关,假说 1 和假说 2 成立。

从控制变量的影响系数来看,人力资本水平(capital)与金融发展水平(finance)对农业净碳汇效率具有显著促进作用。首先,人力资本水平的提高可以促进农业科技和管理水平的提高,从而提高农业净碳汇效率。首先,随着人力资本水平的提高,农民的知识水平和技能水平得到提高,他们能够更好地掌握新技术和新方法,提高农业生产效率,降低碳排放强度,从而提高农业净碳汇效率。其次,金融发展水平的提高可以促进农业现代化和可持续发展。随着金融服务的普及和提高,农民能够更好地获得资金支持和金融服务,促进农业生产和管理的现代化和可持续发展,降低农业温室气体排放和碳排放强度,提高农业净碳汇效率。最后,人力资本水平和金融发展水平的提高可以相互促进,形成良性循环。人力资本水平的提高可以促进金融服务质量和金融产品的创新,从而促进农民金融包容性的提高和金融服务的普及;而金融服务的普及和

提高又可以促进人力资本水平的提高,通过金融服务的支持和激励,鼓励农民投资教育和培训,提高其知识和技能,从而促进农业净碳汇效率的提高。城市化水平(urban)对农业净碳汇效率具有负向作用。首先,城市化会导致农地面积减少,农业生产受到限制。随着城市化的发展,土地资源逐渐被城市用地所占用,农地面积逐渐减少,导致农业生产受到限制。这种情况下,农业生产的规模和效率都会受到影响,使得农业的净碳汇效率下降。其次,城市化会导致农业生产方式的转型,从而降低净碳汇效率。城市化的进程中,农业生产方式逐渐向着现代化、高效化的方向转型。这种转型常常涉及化肥、农药、机械化设备等技术的应用,从而增加了农业生产的能耗和排放。与此同时,城市化还会引导农业生产向着商业化、规模化等方向转型,这也会对农业的净碳汇效率产生负向影响。科技发展环境(technology)对农业净碳汇效率具有正向作用,可以提高农业生产效率和资源利用效率,从而减少农业生产过程中的能耗和碳排放。例如,生物技术、精准农业、智慧农业等创新技术的应用可以改进农业生产方式,提高农业生产效率和品质,减少对土地、水资源的占用和污染,从而有利于提高农业净碳汇效率。说明金融发展为农业发展提供多形式的支持确实能够促进农业低碳发展。农业经营规模(scale)对农业净碳汇效率具有正向作用,农业经营规模的扩大可以促进农业机械化程度的提高,减少人工劳动和能源的消耗,同时也可以优化种植结构、农业机械化程度、农业生产管理等方面,提高农业生产效率,从而降低农业生产的碳排放强度,有利于提高农业净碳汇效率。

4.2 内生性分析

采用两阶段最小二乘法进行分析,将数字普惠金融的滞后一期和滞后二期作为工具变量,过度识别检验结果显示 $\text{Score chi2}(1)=1.51252(p=0.2188)$,表明接受原假设 H_0 =所有工具变量均外生,工具变量满足外生性的假设。第一阶段回归 F 统计量为 $3126.63>10$,最小特征值统计量为 $3148.90>13.96(15\%$ 水平),由于模型存在异方差,所以参考 $K\text{-Prk } F$ 统计量,拒绝原假设 H_0 =存在弱工具变量。因为 $98.523>12.83(15\%$ 水平),所以拒绝原假设 H_0 =存在弱工具变量,具体回归结果如表 5 所示:

表 5 内生性分析结果

变量	index	efficiency
	模型(3)	模型(4)
L1. index	0.5333 ^{***} (0.0342)	
L2. index	0.3710 ^{***} (0.0338)	

续表

变量	index 模型 (3)	efficiency 模型 (4)
index		0.0046*** (0.0016)
capital	0.8927 (2.0910)	0.2271 (0.1447)
finance	0.8546* (0.5200)	0.0827** (0.0412)
urban	1.9326*** (0.1563)	-0.0456*** (0.0115)
technology	-0.0083 (0.0131)	0.0012* (0.0007)
scale	-1.3718** (0.2630)	-0.0232 (0.0165)
constant	-93.6850*** (14.2205)	0.7559 (0.9428)
R ²	0.974	0.114
N	280	280

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著,括号内为回归系数的标准差。

如表 5 可知,工具变量(数字普惠金融的滞后一期和滞后二期)和内生变量(数字普惠金融)相关,满足相关性假设, F 检验值大于 10,拒绝原假设,说明工具变量不是弱工具变量,满足条件。在处理内生性问题之后,数字普惠金融依然对农业净碳汇效率具有显著的积极影响。

4.3 稳健性检验

为使得到的结论更具说服力,论证上述结论的正确性,这里采用替换解释变量、剔除部分样本、对变量进行双边缩尾处理三种方法来进行稳健性处理,具体做法如下:(1)替换解释变量。互联网技术的广泛应用可以促进数字金融的发展,包括数字化支付、互联网金融等,这些数字金融工具可以为农业生产和农村经济发展带来更多的便利和支持。例如,通过数字金融工具,农民可以更加方便快捷地进行贷款结算、贷款申请等业务,提高其生产效率和经济效益。因此,通过互联网普及率来衡量数字普惠金融的发展情况,可以反映出数字金融工具在农村地区的普及程度,进而评估数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响。在稳健性检验中,采用互联网普及率(%)作为数字普惠金融的衡量指标,重新进行基准回归,主要是考虑到该指标能够较好地反映数字金融工具在农村地区的普及程度,具有一定的可靠性和有效性。(2)双边缩尾处理。为剔除一

些极端值对研究结论的影响,对变量在 1%的水平下采取双边缩尾处理。(3)剔除部分样本。探究数字普惠金融的普遍性均值影响,此处剔除数字金融发展水平较高的四个直辖市样本数据,进行回归分析。具体结果如表 6 所示。

表 6 稳健性检验结果

变量	替换变量 模型(5)	缩尾处理 模型(6)	剔除样本量 模型(7)
$\text{index}(q_{it} \leq 62.7814)$	0.0383 ** (0.0193)		
$\text{index}(q_{it} > 62.7814)$	0.0289 *** (0.0101)		
$\text{index}(q_{it} \leq 159.8600)$		0.0086 *** (0.0028)	
$\text{index}(q_{it} > 159.8600)$		0.0040 * (0.0021)	
$\text{index}(q_{it} \leq 318.4777)$			0.0080 *** (0.0030)
$\text{index}(q_{it} > 318.4777)$			0.0051 * (0.0029)
capital	0.6430 *** (0.2080)	0.7100 *** (0.2470)	0.6570 *** (0.2240)
finance	0.0077 (0.1490)	0.1030 (0.1590)	0.0036 (0.1600)
urban	-0.0446 (0.0407)	-0.0423 (0.0470)	-0.1000 (0.0612)
technology	0.0035 ** (0.0017)	0.0045 ** (0.0021)	-0.0001 (0.0020)
scale	0.0689 (0.0717)	0.0986 (0.0757)	0.0891 (0.0774)
constant	-4.1160 (2.5300)	-4.8640 (3.1280)	-0.5990 (3.2110)
R^2	0.192	0.214	0.231
F 值	8.91 ***	10.21 ***	9.76 ***
N	300	300	260

注:***、**和*分别表示在 1%、5%和 10%水平上显著,括号内为回归系数的标准差。

如表 6 所示,模型(5)~模型(7)分别为替换被解释变量、缩尾处理、剔除直辖市的估计结果,表 6 回归结果显示数字普惠金融与农业净碳汇效率之间存在显著的门槛效应,控制变量系数的符号与上文的回归结果基本相同,进一步证实研究结论是稳健可靠的。

4.4 异质性分析

长期以来,由于资源禀赋、政策倾斜等原因,我国不同区域之间的现实情况有所不同,为探索数字普惠金融与农业净碳汇效率间的影响差异,根据不同标准对全样本进行划分,用得到的子样本组进一步进行异质性探究。

4.4.1 时间段差异性分析

2016 年杭州 G20 会议提出《数字普惠金融高级原则》,对数字金融的关注进一步提高。考虑到数字普惠金融的发展需要一定时间,以 2017 年作为分组边界更能反映数字普惠金融在促进农业净碳汇效率方面的影响。基于此,分别对 2017 年前后两个时间段进行门槛模型检验,结果如表 7 所示。

表 7 时间段差异性分析

变量	2017 年前 模型 (8)	2017 年后 模型 (9)
$\text{index}(q_{it} \leq 137.9000)$	0.0159** (0.0079)	
$\text{index}(q_{it} > 137.9000)$	0.0011* (0.0006)	
$\text{index}(q_{it} \leq 256.2733)$		0.0206*** (0.0070)
$\text{index}(q_{it} > 256.2733)$		0.0139** (0.0066)
capital	-0.1160 (0.1480)	-0.2320 (0.2330)
finance	0.0776* (0.0398)	0.0626 (0.0540)
urban	-0.0072 (0.0145)	-0.0352 (0.0227)
technology	-0.0006 (0.0017)	0.0001 (0.0012)
scale	-0.0347 (0.0229)	-0.0184 (0.0259)
constant	2.191** (1.073)	1.566 (1.693)
R^2	0.265	0.182
F 值	8.62**	3.46***
N	180	120
差异 p 值	0.016**	

注:差异 p 值用于检验组间调整系数差异的显著性,通过自体抽样 (Bootstrap) 1000 次得到,***、**和 * 分别表示在 1%、5% 和 10% 水平上显著,括号内为回归系数的标准差。

如表 7 所示,数字普惠金融与农业净碳汇效率的影响作用存在时间段差异,现阶段的正向促进作用明显高于 2016 年之前,门槛值也发生变化,数字普惠金融指数由 137.9000 增加至 256.2733。说明数字金融行业和相关政策的变化随时间推移会影响数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响。数字普惠金融指数的增加表明近年来数字金融服务在农村地区和农业领域的可用性和可访问性显著提高。这导致数字普惠金融对农业净碳汇效率的正向促进作用增加。此外,门槛值的变化表明数字金融的包容性水平已经提高,这可能导致农业利益相关者更多地参与数字金融服务,有助于数字普惠金融对农业净碳汇效率的正向影响。同时,影响效应在数字普惠金融的不同门槛值区间依然存在差异性,体现为在数字普惠金融低值区影响效应大于高值区的影响效应,与上述结论一致。

4.4.2 地区经济发展水平差异性分析

由于农业生产模式、数字普惠金融的普及程度和地区的经济发展水平等因素的差异,数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响效应可能存在地域差异。为探究影响效应的异质性,将全样本根据研究期内 GDP 水平高于均值和低于均值,分为经济发展高水平地区和经济发展低水平地区两类^①,具体分组回归如表 8 所示。

表 8 地区经济发展水平差异性分析

变量	经济发展高水平地区	经济发展低水平地区
	模型 (10)	模型 (11)
index($q_{it} \leq 159.8600$)	0.0111 * (0.0065)	
index($q_{it} > 159.8600$)	0.0012 * (0.0007)	
index($q_{it} \leq 137.9000$)		0.0266 ** (0.0116)
index($q_{it} > 137.9000$)		0.0032 * (0.0017)
capital	-0.2120 (0.1790)	-0.1200 (0.1900)
finance	0.1790 ** (0.0898)	0.0640 (0.0420)
urban	-0.0245 (0.0212)	-0.0244 (0.0249)

① 研究期内 GDP 水平高于均值的地区有北京、天津、内蒙古、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、湖北、广东、重庆;研究期内 GDP 水平低于均值的地区有河北、山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖南、广西、海南、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

续表		
变量	经济发展高水平地区	经济发展低水平地区
	模型 (10)	模型 (11)
technology	0.0016 (0.0014)	0.0041 (0.0046)
scale	0.1123 *** (0.0306)	-0.0256 (0.0222)
constant	4.0640 *** (1.2860)	2.5660 (1.8690)
R^2	0.1780	0.2340
F 值	4.45 ***	12.47 ***
N	120	180
差异 p 值	0.038 **	

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著，括号内为回归系数的标准差。

如表 8 所示,模型结果均显示整体上数字普惠金融对农业净碳汇效率具有正向促进作用,且影响效应在数字普惠金融的不同门槛值区间存在差异性,二者存在非线性关系。从影响系数的大小来看,经济发展低水平地区的影响效应高于经济发展高水平地区。至此,假说 4 得以验证。

5 进一步分析

为进一步探究数字普惠金融对农业净碳汇效率的影响机制,采用江艇(2022)的研究方法,检验技术创新在此过程中充当的机制作用,回归结果如表 9 所示。

表 9 机制效应分析

变量	innovation 模型 (13)	innovation 模型 (14)	innovation 模型 (15)
index	0.0018 *** (0.0003)		
breadth		0.0016 *** (0.0005)	
depth			0.0018 *** (0.0005)
capital	0.1950 *** (0.0751)	0.184 ** (0.0754)	0.176 ** (0.0737)
finance	-0.2110 *** (0.0218)	-0.209 *** (0.0219)	-0.211 *** (0.0218)

续表

变量	innovation 模型(13)	innovation 模型(14)	innovation 模型(15)
urban	-0.0715 *** (0.0064)	-0.0709 (0.00648)	-0.0708 *** (0.0063)
technology	0.0030 *** (0.0005)	0.0031 *** (0.0005)	0.0029 *** (0.0005)
scale	0.125 *** (0.0103)	0.125 *** (0.0104)	0.127 *** (0.0103)
constant	9.637 *** (0.464)	9.752 *** (0.462)	9.765 *** (0.455)
R^2	0.649	0.653	0.657

注：***、**和*分别表示在1%、5%和10%水平上显著,括号内为回归系数的标准差。

如表 9 所示,模型(13)基准结果显示数字普惠金融与技术创新之间具有显著的正向影响。模型(14)和模型(15)分别是数字普惠金融覆盖广度和使用深度两个维度对技术创新的回归结果,结果显示数字普惠金融的覆盖广度和使用深度同样对技术创新有正向影响。基于此,说明在数字普惠金融影响农业净碳汇效率的过程中,技术创新承担重要机制的作用,在一定程度上促进了农业净碳汇效率的提升进程。基于此,假说 3 得到证明。

6 研究结论与政策建议

6.1 结论

基于 2011—2020 年全国 30 个省市级数据,采用 Malmquist 指数方法测算碳排放效率,运用面板门槛模型探究数字普惠金融对农业净碳汇效率的直接影响,采用逐步回归法探究普惠金融数字化程度与技术创新为中介的间接影响,鉴于地理区位和政策倾斜等原因,进一步对其影响效应的异质性进行研究,得到的主要结论如下:(1)数字普惠金融对农业净碳汇效率具有正向促进作用,且影响效应在数字普惠金融的不同门槛值区间存在差异性,在数字普惠金融低值区影响效应大于高值区的影响效应,存在非线性关系,经过一系列稳健性检验后,结论依然显著。(2)数字普惠金融与农业净碳汇效率的影响作用存在时间段差异,现阶段的正向促进作用明显高于 2016 年之前。(3)经济发展低水平地区的数字普惠金融影响效应高于经济发展高水平地区。至此,假说 4 得以验证。(4)技术创新是数字普惠金融影响农业净碳汇效率的重要作用渠道。

6.2 建议

从主要研究结论出发,可以提出如下建议:

(1) 加强数字金融服务,促进数字普惠金融在农业领域的推广。数字普惠金融的推广需要多方合作,政府、金融机构、科技企业以及农业生产者各方需要共同努力。政府可以加大政策支持力度,鼓励金融机构提供更优质的数字金融服务。金融机构可以利用数字化技术,提供更加便捷、高效的金融服务和产品,满足农业生产者的融资需求。科技企业可以利用数字化技术,开发更加智能化、可靠性高的农业数字化工具,提升数字化农业的生产效率。而农业生产者也需要不断提高自身的数字化水平,积极应用数字化工具,实现农业生产的数字化转型。

(2) 缩小区域发展差异,实施异质性治理策略。对金融发展与经济水平发展相对较好的地方而言,应加强对现代农业的投入,在利率政策这方向农用机械能源类企业倾斜,尝试将对农业有机废弃物处理的信贷支持力度列入对基层金融机构网点的绩效考评中。对金融发展水平相对较低、经济相对落后的地方而言,应强化农村金融资源开发支持农村经济发展的力度,高度重视金融政策的导向性,利用有差别的利率政策重点支持农村节能环保型企业的发展,大力提倡绿色低碳经济的发展,将低碳理念贯穿到现代农业增产和农民增收过程中。

(3) 通过财政补贴等方式鼓励农民和农业企业采用低碳农业技术和管理方法,提高净碳汇效率。政府可以通过农业技术推广中心、农业科技示范站等机构,组织开展低碳农业技术和管理方法的培训和指导,帮助农民和农业企业了解和掌握低碳农业技术和管理方法,提高其净碳汇效率。实施低碳农业生产补贴政策,政府可以通过向农民和农业企业提供生产补贴的方式,鼓励其采用低碳农业技术和管理方法,降低碳排放,提高净碳汇效率。例如,针对使用有机肥料、生物制剂等低碳农业技术的农民和农业企业,给予一定的生产补贴。

参考文献

- 陈罗焯,薛领,雪燕. 2016. 中国农业净碳汇时空演化特征分析[J]. 自然资源学报, 31(4): 596-607.
- Chen L Y, Xue L, Xue Y. 2016. Spatial-temporal characteristics of China's agricultural net carbon sink[J]. *Journal of Natural Resources*, 31(4): 596-607. (in Chinese)
- 程秋旺,许安心,陈钦. 2022. “双碳”目标背景下农业碳减排的实现路径——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), 43(2): 115-126.
- Cheng Q W, Xu A X, Chen Q. 2022. The realization path of agricultural carbon emission reduction under the background of ‘double carbon’ goal—Based on the verification of digital inclusive finance[J]. *Journal of Southwest Minzu University (Humanities and Social Sciences Edition)*, 43(2): 115-126. (in Chinese)
- 丁凡琳. 2022. 中国数字普惠金融对碳强度的影响[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版), 75(6): 110-120.
- Ding F L. 2022. Effects of digital inclusive finance on carbon intensity of China [J]. *Wuhan University Journal (Philosophy & Social Science)*, 75(6): 110-120. (in Chinese)
- 付伟, 李龙, 罗明灿, 等. 2023. 数字普惠金融助推农业低碳发展的实证研究[J]. 农林经济管理学报, 22(1): 11-19.
- Fu W, Li L, Luo M C, et al. 2023. An empirical study of digital inclusive finance to facilitate agricultural low-carbon development [J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 22(1): 11-19. (in Chinese)
- 高鸣, 宋洪远. 2015. 中国农业碳排放绩效的空间收敛与分异——基于 Malmquist-Luenberger 指数与空间计量的实证分析[J]. 经济地理, 35(4): 142-148, 185.
- Gao M, Song H Y. 2015. Dynamic changes and spatial agglomeration analysis of the Chinese agricultural carbon emissions performance[J]. *Economic Geography*, 35(4): 142-148, 185. (in Chinese)
- 郭峰, 王靖一, 王芳, 等. 2020. 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), 19(4): 1401-1418.
- Guo F, Wang J Y, Wang F, et al. 2020. Measuring China’s digital financial inclusion: index compilation and spatial characteristics [J]. *China Economic Quarterly*, 19(4): 1401-1418. (in Chinese)
- 贺俊, 程锐, 刘庭. 2019. 金融发展、技术创新与环境污染[J]. 东北大学学报(社会科学版), 21(2): 139-148.
- He J, Cheng R, Liu T. 2019. Financial development, technological innovation and environmental pollution [J]. *Journal of Northeastern University (Social Science)*, 21(2): 139-148. (in Chinese)
- 贺茂斌, 杨晓维. 2021. 数字普惠金融、碳排放与全要素生产率[J]. 金融论坛, 26(2): 18-25.
- He M B, Yang X W. 2021. Digital inclusive finance, carbon emissions and total factor productivity[J]. *Finance Forum*, 26(2): 18-25. (in Chinese)

- 何学松, 孔荣. 2017. 普惠金融减缓农村贫困的机理分析与实证检验[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 17(3): 76-83.
- He X S, Kong R. 2017. Mechanism analysis and empirical test of inclusive financial system alleviating rural poverty[J]. *Journal of Northwest A & F University (Social Science Edition)*, 17(3): 76-83. (in Chinese)
- 黄益平. 2017. 数字普惠金融的机会与风险[J]. 金融发展评论, (8): 14-19.
- Huang Y P. 2017. The opportunities and challenges of digital inclusive finance[J]. *Financial Development Review*, (8): 14-19. (in Chinese)
- 黄益平, 黄卓. 2018. 中国的数字金融发展: 现在与未来[J]. 经济学(季刊), 17(4): 1489-1502.
- Huang Y P, Huang Z. 2018. The development of digital finance in China: present and future[J]. *China Economic Quarterly*, 17(4): 1489-1502. (in Chinese)
- 吉雪强, 李卓群, 张跃松. 2023. 农地流转对农业碳排放的影响及空间特性[J]. 资源科学, 45(1): 77-90.
- Ji X Q, Li Z Q, Zhang Y S. 2023. Influence of rural land transfer on agricultural carbon emissions and its spatial characteristics[J]. *Resources Science*, 45(1): 77-90. (in Chinese)
- 蒋庆正, 李红, 刘香甜. 2019. 农村数字普惠金融发展水平测度及影响因素研究[J]. 金融经济研究, 34(4): 123-133.
- Jiang Q Z, Li H, Liu X T. 2019. The measurement of the development level of digital inclusive finance in rural areas and its influencing factors[J]. *Financial Economics Research*, 34(4): 123-133. (in Chinese)
- 江艇. 2022. 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, (5): 100-120.
- Jiang T. 2022. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. *China Industrial Economics*, (5): 100-120. (in Chinese)
- 李波, 张俊飏. 2012. 基于投入视角的我国农业碳排放与经济发展脱钩研究[J]. 经济经纬, (4): 27-31.
- Li B, Zhang J B. 2012. Decoupling of China's agriculture carbon emissions and economic development based on the input perspective[J]. *Economic Survey*, (4): 27-31. (in Chinese)
- 李波, 王春妤, 张俊飏. 2019. 中国农业净碳汇效率动态演进与空间溢出效应[J]. 中国人口·资源与环境, 29(12): 68-76.
- Li B, Wang C Y, Zhang J B. 2019. Dynamic evolution and spatial spillover of China's agricultural net carbon sink [J]. *China Population, Resources and*

- Environment*, 29(12): 68-76. (in Chinese)
- 李谷成, 范丽霞, 冯中朝. 2014. 资本积累、制度变迁与农业增长——对 1978~2011 年中国农业增长与资本存量的实证估计[J]. 管理世界, 30(5): 67-79, 92.
- Li G C, Fan L X, Feng Z C. 2014. Capital accumulation, institutional change and agricultural growth-an empirical estimation of China's agricultural growth and capital stock from 1978 to 2011[J]. *Journal of Management World*, 30(5): 67-79, 92. (in Chinese)
- 李寿喜, 张珈豪. 2023. 数字普惠金融、技术创新与城市碳排放强度[J]. 华东师范大学学报(哲学社会科学版), 55(2): 161-172.
- Li S X, Zhang J H. 2023. Digital financial inclusion, technological innovation and urban carbon emissions intensity [J]. *Journal of East China Normal University (Humanities and Social Sciences)*, 55(2): 161-172. (in Chinese)
- 李远航, 郝兴明, 张静静, 等. 2022. 近 17 a 阿克苏绿洲农田净碳汇功能的时空变化[J]. 干旱区研究, 39(4): 1303-1311.
- Li Y H, Hao X M, Zhang J J, et al. 2022. Spatial and temporal variation of net carbon sink function of farmland in Aksu oasis in the past 17 years[J]. *Arid Zone Research*, 39(4): 1303-1311. (in Chinese)
- 刘乃全, 邓敏, 曹希广. 2021. 城市的电商化转型推动了绿色高质量发展吗? ——基于国家电子商务示范城市建设的准自然实验[J]. 财经研究, 47(4): 49-63.
- Liu N Q, Deng M, Cao X G. 2021. Does the E-commerce transformation of cities promote green and high-quality development? Evidence from a quasi-natural experiment based on national E-commerce demonstration cities [J]. *Journal of Finance and Economics*, 47(4): 49-63. (in Chinese)
- 龙志, 孙颖琦, 郎丽霞, 等. 2022. 黄土高原典型县域碳排放特征与时空格局——以庆城县为例[J]. 干旱区研究, 39(5): 1631-1641.
- Long Z, Sun Y Q, Lang L X, et al. 2022. Spatiotemporal patterns and characteristics of carbon emissions in the Loess Plateau: A case study of Qingcheng County[J]. *Arid Zone Research*, 39(5): 1631-1641. (in Chinese)
- 吕斯涵, 张小平. 2019. 山东省农业净碳汇时空演化特征分析[J]. 水土保持学报, 33(2): 227-234.
- Lü S H, Zhang X P. 2019. Spatial-temporal characteristics of agricultural net carbon sink in Shandong province [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 33(2): 227-234. (in Chinese)
- 闵继胜, 胡浩. 2012. 中国农业生产温室气体排放量的测算[J]. 中国人口·资源与环境, 22(7): 21-27.

- Min J S, Hu H. 2012. Calculation of greenhouse gases emission from agricultural production in China[J]. *China Population, Resources and Environment*, 22(7): 21-27. (in Chinese)
- 邵汉华, 刘耀彬. 2017. 金融发展与碳排放的非线性关系研究——基于面板平滑转换模型的实证检验[J]. *软科学*, 31(5): 80-84.
- Shao H H, Liu Y B. 2017. The nonlinear relationship between financial development and carbon emission—Based on panel smooth transition regression model[J]. *Soft Science*, 31(5): 80-84. (in Chinese)
- 宋晓玲. 2017. 数字普惠金融缩小城乡收入差距的实证检验[J]. *财经科学*(6): 14-25.
- Song X L. 2017. Empirical analysis of digital inclusive finance bridging the urban-rural residents' income gap[J]. *Finance & Economics*, (6): 14-25. (in Chinese)
- 王劼, 朱朝枝. 2018. 农业部门碳排放效率的国际比较及影响因素研究——基于32个国家1995—2011年的数据研究[J]. *生态经济*, 34(7): 25-32.
- Wang J, Zhu C Z. 2018. International comparison of carbon emission efficiency in agricultural sector and its influencing factors based on data from 32 countries from 1995 to 2011[J]. *Ecological Economy*, 34(7): 25-32. (in Chinese)
- 王巧, 尹晓波. 2022. 数字普惠金融能否有效促进碳减排? ——基于阶段性效应与区域异质性视角[J]. *首都经济贸易大学学报*, 24(6): 3-13.
- Wang Q, Yin X B. 2022. Can digital inclusive finance reduce carbon emissions? —From the perspective of threshold effect and regional heterogeneity[J]. *Journal of Capital University of Economics and Business*, 24(6): 3-13. (in Chinese)
- 王群伟, 周鹏, 周德群. 2010. 我国二氧化碳排放绩效的动态变化、区域差异及影响因素[J]. *中国工业经济*, (1): 45-54.
- Wang Q W, Zhou P, Zhou D Q. 2010. Research on dynamic carbon dioxide emissions performance, regional disparity and affecting factors in China[J]. *China Industrial Economics*, (1): 45-54. (in Chinese)
- 王守坤, 范文诚. 2022. 数字普惠金融与碳减排——基于中国县级数据的实证分析[J]. *当代财经*, (11): 53-64.
- Wang S K, Fan W C. 2022. Digital inclusive finance and carbon emission reduction: an empirical analysis based on China's county-level data [J]. *Contemporary Finance & Economics*, (11): 53-64. (in Chinese)
- 王元彬, 张尧, 李计广. 2022. 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*, 32(6): 1-11.

- Wang Y B, Zhang Y, Li J G. 2022. Digital finance and carbon emissions: an empirical test based on micro data and machine learning model [J]. *China Population, Resources and Environment*, 32(6): 1-11. (in Chinese)
- 吴贤荣, 张俊飏, 田云, 等. 2014. 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*, 36(1): 129-138.
- Wu X R, Zhang J B, Tian Y, et al. 2014. Provincial agricultural carbon emissions in China: Calculation, performance change and influencing factors[J]. *Resources Science*, 36(1): 129-138. (in Chinese)
- 吴昊玥, 何艳秋, 陈柔. 2017. 中国农业碳排放绩效评价及随机性收敛研究——基于 SBM-Undesirable 模型与面板单位根检验[J]. *中国生态农业学报*, 25(9): 1381-1391.
- Wu H Y, He Y Q, Chen R. 2017. Assessment of agricultural carbon emission performance and stochastic convergence in China using SBM-undesirable model and panel unit root test[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 25(9): 1381-1391. (in Chinese)
- 吴昊玥, 黄瀚蛟, 何宇, 等. 2021. 中国农业碳排放效率测度、空间溢出与影响因素[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 29(10): 1762-1773.
- Wu H Y, Huang H J, He Y, et al. 2021. Measurement, spatial spillover and influencing factors of agricultural carbon emissions efficiency in China[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 29(10): 1762-1773. (in Chinese)
- 徐国泉, 刘则渊, 姜照华. 2006. 中国碳排放的因素分解模型及实证分析: 1995—2004[J]. *中国人口·资源与环境*, 16(6): 158-161.
- Xu G Q, Liu Z Y, Jiang Z H. 2006. Decomposition model and empirical study of carbon emissions for China, 1995—2004 [J]. *China Population, Resources and Environment*, 16(6): 158-161. (in Chinese)
- 许钊, 高煜, 霍治方. 2021. 数字金融的污染减排效应[J]. *财经科学*, (4): 28-39.
- Xu Z, Gao Y, Huo Z F. 2021. Research on pollution reduction effect of digital finance[J]. *Finance Economics*, (4): 28-39. (in Chinese)
- 严成樑, 李涛, 兰伟. 2016. 金融发展、创新与二氧化碳排放[J]. *金融研究*, (1): 14-30.
- Yan C L, Li T, Lan W. 2016. Financial development, innovation and carbon emission[J]. *Journal of Financial Research*, (1): 14-30. (in Chinese)
- 姚凤阁, 王天航, 谈丽萍. 2021. 数字普惠金融对碳排放效率的影响——空间视角下的实证分析[J]. *金融经济研究*, 36(6): 142-158.

- Yao F G, Wang T H, Tan L P. 2021. The impact of digital financial inclusion on carbon efficiency: Empirical analysis based on a spatial perspective[J]. *Financial Economics Research*, 36(6): 142-158. (in Chinese)
- 姚凤阁, 王天航, 谈丽萍. 2022. 数字普惠金融对城市全要素碳排放生产率的影响[J]. *商业研究*, (3): 112-121.
- Yao F G, Wang T H, Tan L P. 2022. The impact of digital inclusive finance on urban total factor carbon emission productivity[J]. *Commercial Research*, (3): 112-121. (in Chinese)
- 易行健, 周利. 2018. 数字普惠金融发展是否显著影响了居民消费——来自中国家庭的微观证据[J]. *金融研究*, (11): 47-67.
- Yi X J, Zhou L. 2018. Does digital financial inclusion significantly influence household consumption? Evidence from household survey data in China[J]. *Journal of Financial Research*, (11): 47-67. (in Chinese)
- 张生玲, 王瑶, 李跃. 2018. 地区雾霾舆论对空气质量有影响吗? ——来自中国北方 54 个地级市月度数据证据[J]. *干旱区资源与环境*, 32(8): 100-106.
- Zhang S L, Wang Y, Li Y. 2018. Does regional haze opinion affect air quality? [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 32(8): 100-106. (in Chinese)
- 朱承亮, 师萍, 岳宏志, 等. 2011. 人力资本、人力资本结构与区域经济增长效率[J]. *中国软科学*, (2): 110-119.
- Zhu C L, Shi P, Yue H Z, et al. 2011. The study on bind of human capital, human capital structure and regional economic growth efficiency[J]. *China Soft Science*, (2): 110-119. (in Chinese)
- Federici S, Tubiello F N, Salvatore M, et al. 2015. New estimates of CO₂ forest emissions and removals: 1990—2015[J]. *Forest Ecology & Management*, 352: 89-98.
- Ouyang Y F, Li P. 2018. On the nexus of financial development, economic growth, and energy consumption in China: New perspective from a GMM panel VAR approach [J]. *Energy Economics*, 71: 238-252.
- Paustian K, Six J, Elliott E T, et al. 2000. Management options for reducing CO₂ emissions from agricultural soils[J]. *Biogeochemistry*, 48(1): 147-163.
- Sadorsky P. 2010. The impact of financial development on energy consumption in emerging economies[J]. *Energy Policy*, 38(5): 2528-2535.
- Sorrell S, Dimitropoulos J, Sommerville M. 2009. Empirical estimates of the direct rebound effect: A review[J]. *Energy Policy*, 37(4): 1356-1371.

- Steenblik R, Möisé E, Evdokia Möisé. 2010. Counting the carbon emissions from agricultural products: Technical complexities and trade implications[J]. *Food & Agricultural Trade*, (1): 1-6.
- Tamazian A, Chousa J P, Vadlamannati K C. 2009. Does higher economic and financial development lead to environmental degradation: evidence from BRIC countries[J]. *Energy Policy*, 37(1): 246-253.
- Tian Y, Zhang J B, He Y Y. 2014. Research on spatial-temporal characteristics and driving factor of agricultural carbon emissions in China[J]. *Journal of Integrative Agriculture*, 13(6): 1393-1403.
- Zhou P, Ang B W, Han J Y. 2010. Total factor carbon emission performance: a Malmquist index analysis[J]. *Energy Economics*, 32(1): 194-201.

Digital Universal Finance Can it Promote the Efficiency of Agricultural Net Carbon Sequestration —Tests Based on Panel Sill Models

Li Qian¹ Ke Zhang² Junxiu Song³

- (1. School of Economics, Anhui University of Finance & Economics;
2. School of Economics and Management, Nanjing Agricultural University;
3. School of Finance, Anhui University of Finance & Economics)

Abstract Exploring the impact of digital inclusive finance on agricultural net carbon sink efficiency has theoretical and practical significance for enriching the theoretical system of digital finance and promoting the quality and efficiency of agricultural low-carbon development. Based on the data of 30 provinces and municipalities in China from 2011 to 2020, the Malmquist index method is used to measure the carbon emission efficiency, the panel threshold model is used to explore the direct impact of digital inclusive finance on the efficiency of agricultural net carbon sink, and the stepwise regression method is used to explore the indirect impact of technological innovation as an intermediary. In view of geographical location and policy inclination, the heterogeneity of its impact effect is further studied. Digital inclusive finance has a positive effect on the efficiency of agricultural net carbon sinks, and the effect is different in different threshold ranges of digital inclusive finance. The effect in the low value area of digital inclusive finance is greater than that in the high value area. There is a nonlinear relationship between the two. Technological innovation is an important channel to affect the efficiency of agricultural net carbon sinks. There are time differences in the impact of digital

inclusive finance and agricultural net carbon sink efficiency, and the positive promotion effect at this stage is significantly higher than that before 2016. The impact of digital inclusive finance in regions with low economic development is higher than that in regions with high economic development. It is proposed to strengthen digital financial services and promote the promotion of digital inclusive finance in the agricultural field; reduce regional development differences and implement heterogeneous governance strategies to appropriately regulate digital financial supervision; through financial subsidies and other ways to encourage farmers and agricultural enterprises to adopt low-carbon agricultural technology and management methods, improve the efficiency of net carbon sinks and other recommendations.

JEL Classification G14, G32, Q30, Q56