

数字经济对农业碳排放强度的抑制机理及其效应研究

——基于我国31个省份的面板数据分析

张明志¹ 张先启²

(1. 重庆师范大学 党委组织部, 重庆 401331; 2. 重庆师范大学 经济与管理学院, 重庆 401331)

摘要:“双碳”背景下,学者愈发关注数字经济对农业碳排放的抑制效用。本文采用2013—2019年我国31个省份的面板数据,通过运用双向固定效应模型和动态两步系统广义矩估计,构建调节效应模型以探究我国数字经济、农业产业集聚对农业碳排放强度的抑制机理及其效应。研究结果表明:数字经济的发展对农业碳排放强度具有显著抑制作用;构建的数字经济发展指数与农业产业集聚水平交互项为负,证明提高农业产业集聚水平有助于强化数字经济发展对农业碳排放强度的抑制作用;以表示农业产业集聚的区位熵是否大于1为标准进行异质性分析,结果显示:在区位熵大于1的地区,数字经济对农业碳排放强度的抑制作用更为显著。厘清数字经济对农业碳排放强度的影响机理,可为我国农业低碳可持续发展提供路径参考,对我国农业现代化转型具有重要意义。

关键词:数字经济;农业产业集聚;农业碳排放强度;调节效应

中图分类号:F279

文献标识码:A

文章编号:1673-0429(2024)01-0090-14

doi:10.19742/j.cnki.50-1164/C.240108

一、引言

我国农业发展长时期处于投入成本较高、消耗量大、废物排放量高的发展模式极大地影响了农业发展的质量和效益,这与党和国家提出的推动农业高质量发展、实现“碳中和”的目标存在差距。党的十八大以来,习近平总书记对数字经济发展提出了许多新观点、新论断、新思想,为我国数字经济的发展提供了指导思想和行动指南^[1],使我国数字经济得以蓬勃发展,已成为推动国民经济从高速发展向高质量发展的主要驱动力之一。绿色低碳发展是农业高质量发展实现“碳中和”的关键所在,而数字经济的发展则是驱动农业高质量发展转型升级并走向绿色低碳发展的核心因素^[2]。

现有研究表明,数字经济对农业碳排放强度具有抑制作用,且具备明显的区域异质性和空间溢出效

收稿日期:2023-11-24

作者简介:张明志(1971—),男,重庆忠县人,博士,重庆师范大学党委组织部,教授,硕士生导师,主要研究方向:农村发展与农业管理、教育领导与管理;

张先启(1999—),男,山东菏泽人,重庆师范大学经济与管理学院硕士研究生,研究方向:农业管理。

基金项目:2022年度重庆市教育委员会人文社会科学研究重点项目“深化高校‘放管服’改革的探索与实践”(22SKZZ006)

应^[3-4]。但需要关注的是,虽然随着数字经济及相关技术的不断发展,与农业产业的契合度愈发提高,农业碳排放强度正在逐步降低,但不可否认的是,农业部门的碳减排难度和复杂性仍然不容小觑。农业产业集聚作为农业规模经营的重要组成部分,是实现农业绿色低碳高质量发展的重要路径^[5]。这是因为,一方面,高度集聚的农业产业可能会因规模化作业和产业链协同效应而提高能效,所带来的规模经济可以降低农业生产成本及化肥、农药等原料的投入量从而提高农业绿色发展水平^[6]。另一方面,各类新型数字技术的应用可能会使得农业生产更加智能化,形成更为完备的农业产业链条。比如,促进农产品的集中加工和配送,以减少运输过程中的能源损耗及产生的碳排放等。因此,将农业产业集聚水平作为关键变量纳入到分析框架则更为科学和合理。目前,较多研究者关注数字经济或农业产业集聚对农业碳排放强度的影响,但将三者纳入分析框架进行系统研究显得还做得不够。

基于此,本文将农业产业集聚这一关键变量纳入到数字经济对农业碳排放强度的分析框架中,采用2013—2019年我国31个省份(未统计港澳台数据)的面板数据,通过运用双向固定效应模型和动态两步系统广义矩估计,构建调节效应模型探究我国数字经济、农业产业集聚对农业碳排放强度的影响机制。本研究的边际贡献主要在于:一是将农业产业集聚水平纳入数字经济对农业碳排放强度影响的分析框架中,探究其在农业碳减排中的作用机制,为后续研究提供了新的研究切入点;二是把代表农业产业集聚水平的区位熵作为异质性分析的分组标准,以探究在不同的区位熵水平下,对农业碳排放强度的影响效果是否有差异,为提出合理的政策建议提供了路径。

二、文献综述

(一)关于数字经济与农业碳排放强度的研究

数字经济是指以使用数字化的知识和信息作为关键生产要素、以现代信息网络作为重要载体、以信息通信技术的有效使用作为效率提升和经济结构优化的重要推动力的一系列经济活动^[7]。现有研究表明:

数字经济可通过提升资源配置效率来影响碳排放强度。从资源配置效率的视角分析,塔格里奥尼(Taglion)(2016)和Ali(2018)等认为,数字经济的发展可以促进世界多数国家的数字技术与传统经济资源的整合及分配,从而降低各国的能源消费水平^[8-9]。张三峰等(2019)从企业角度分析了信息与能耗的关系,认为信息技术的发展可以提高企业资源的利用效率、减少能耗,从而对碳排放强度带来抑制作用^[10]。丁志帆(2020)认为,数字经济可以有效地降低企业的边际成本,提高企业的资源配置效率,实现对产业结构的调整,进而达到减少碳排放的目的^[11]。杨虎涛(2020)从市场供需的角度进行了分析,认为发展信息技术可以减小市场供需双方之间的信息不对称,使市场的资源配置效率得到提高,从而使碳排放强度下降^[12]。

数字经济可通过带动技术创新来影响碳排放强度。布赫特(Bukht)(2018)等认为,数字经济的核心为信息技术的发展与创新,而信息与技术的创新能够有效地促进数字经济与传统制造业的融合,有助于推动绿色与低碳商业模式的形成^[13];柯伦(Curran)(2018)和布林约尔松(Brynjolfsson)(2019)等研究表明,数字经济的发展加速了国际数字化和信息化的创新发展步伐,同时也加速了碳减排技术的跨境创新与共享^[14-15]。宋洋(2020)认为数字经济一方面具备环保与绿色的特征,能够通过产业替代效应挤压已有的传统高污染产业;另一方面数字经济的技术创新能够实现对传统产业的升级改造,提升资源的利用效率^[16]。

(二)关于农业产业集聚与农业碳排放强度的研究

近些年来,学者们开始关注农业产业集聚问题,并从对农业产业集聚定义^[17-19]、形成机制^[20-22]的研

究逐渐转向农业产业集聚效应研究,普遍认同农业产业集聚指的是一个或几个农业主导产业及其经济活动在空间范围内不断汇集、高度集中的、动态的发展过程。

农业产业集聚也指各类农业经济活动主体通过有机整合,为更好地发挥农业生产的比较优势、提高农业生产综合能力,而在特定区域内形成一定规模集聚的经济现象^[19]。农业产业集聚于农业碳排放之间的研究可大致划分为三个方面:(1)农业产业集聚与农业碳排放之间具备关联效应。李文华等(2018)通过研究发现,农业产业集聚与农业碳排放总量之间存在倒“U”关系^[23]; (2)农业生产形式的不同会致使农业产业集聚对农业碳排放产生不同程度的影响。田云等(2021)通过研究得出,畜牧业产业集聚表现出“低碳—高效益”特征,而种植业产业集聚则刚好相反,即总体上呈现“高碳—低效益”特征^[24]。这与胡中应等(2016)得出的“种植业产业集聚虽有助于降低碳排放强度,但也会导致农业碳排放总量提高,畜牧业则是与其相反”的结论大致吻合^[25]; (3)各地区农业产业集聚水平、规模上的不同,对碳排放影响的程度也不尽相同。邓晴晴等(2020)发现,当农业集聚水平低于门槛值时,则其在发展过程中会带来更多的农业污染;反之,当农业集聚水平高出门槛值时,则会对农业污染带来一定的抑制作用^[26]。

三、理论分析及研究假设

(一)数字经济影响农业碳排放强度的逻辑理路

一方面,从直接影响角度考虑。数据要素的非竞争性、非排他性和低成本复制三项技术——经济特征是促进高质量发展的重要途径^[27]。而数据要素和数字技术作为数字经济最为核心的竞争力能够直接地引起从生产要素投入到生产力、再至生产关系的全面变革,从而直接抑制农业碳排放^[28]。一方面数字经济与传统农业生产要素相融合,例如,资本投入、土地资源及劳动力的投入等优化资源配置,提高使用效率进而可以有效地降低由资源浪费产生的农业碳排放。因此,有学者认为,数据要素与传统要素进行融合能够显著提升资源使用效率,且常产生“倍增效应”^[28]。另一方面,相较于传统投入要素,数字经济可以实现各类投入要素的网络化共享、集约化整合和高效化利用。通过对各类数据进行抓取、分析,有效地降低因信息不对称而造成的农业资源要素错配程度。通过对区块链、智能监测系统等技术运用能够有效地帮助农户在生产过程中精准把控最适宜农作物增长的环境,对投入的农药、农用化肥等要素的施用量进行实时监测;通过技术进步提升柴油燃烧率和利用率,进而提高农用机械的效率;亦或是利用农业作物废料,提炼出新型绿色能源用于土地耕作等等,以达到减碳目的。

另一方面,从间接影响角度考虑。有研究指出,数字经济的发展可推动社会化服务水平,通过借助物联网和人工智能等数字技术的赋能优势,实施标准化生产、降低农业生产成本,搭建智慧化流通物流体系,优化农业社会化服务生产和流通体系^[3],以此带动传统的农业经营方式的转型,对农业碳排放强度产生影响。同时,由于数字经济的发展本身就是一个动态的过程,相关的基础设施建设、技术进步、科技人员配置、服务能力、研发投入、融合水平等都需要较长周期才能大规模投入到农业生产中^[29],因此,这也就可能导致在数字经济发展的初期并不会对农业碳排放强度造成显著影响。而随着时间的推移,通过技术优化改进升级、精准匹配生产要素等优势展现,依托各类数据平台对农业生产要素的投入进行精准配置,数字经济才能充分地发挥减碳效果。

基于上述分析,本文提出假设1:数字经济的发展可以抑制农业碳排放强度。

(二)农业产业集聚调节农业碳排放强度的理论效应

目前,国内关于产业集聚方面的研究主要集中在制造业和城市区域,农业领域相对较少^[30]。但是结合我国农业目前的发展现状,农业产业集聚水平在数字经济影响农业碳排放强度的过程中也同样发

挥着重要作用,其影响机理阐述如下:

首先,农业产业集聚既可以带来基础设施和生产要素共享,又可以改善或者提高企业的竞争优势^[31]。生产技术作为重要的共享资源通过集聚区内的产业协同快速扩散^{[32][33]},优秀的企业会引起其余竞争者的相继模仿,形成行业外部性效应进而引起区域碳关联,为碳减排提供了更加充分的条件。其次,在农业产业集聚的过程中可以发挥知识、技术溢出等规模外部效应来影响碳排放强度,在降低农业碳减排成本的同时又能提高减碳效率。因此,有研究认为,以分享知识技术溢出效应为目的而形成的产业集聚具备改进碳效率的可能^{[34][35]}。最后,我国幅员辽阔,地貌复杂多样。各省份侧重于发展的重心不尽相同,因此,对碳排放强度的重视程度、采取的环境规制手段及实施强度也会因地域而有所差别。这就致使各地数字经济发展、农业产业集聚趋势有高有低,进而对农业碳排放强度的影响也不尽相同。

基于上述分析,本文提出假设2与假设3:

假设2:数字经济与农业产业集聚之间存在调节效应。现阶段农业产业集聚水平的提高有助于强化数字经济对农业碳排放强度的抑制作用。

假设3:数字经济会因各地农业产业集聚水平的高低、趋势明显与否等差异,而对农业碳排放强度的影响呈现出相关性抑制效果。

综合上述的理论分析与假设,构建出本文的研究分析框架,如图1所示。

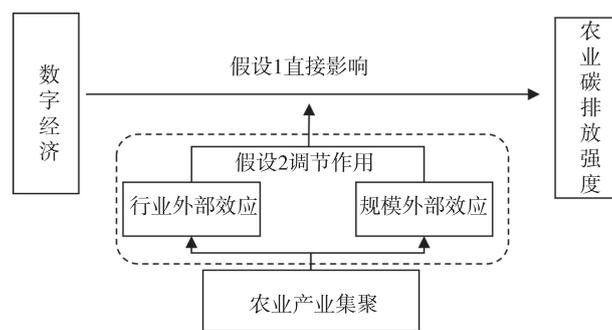


图1 分析框架

本文认为,数字经济的发展为农业产业集聚提供了良好条件。具体而言,数字技术天然具备渗透性,能够通过对农业的融合以推动农业生产模式由传统向集约化、现代化、智能化转变。数字经济的发展有助于推动农业产业链的升级,促进农业产业结构的优化,使农业产业链更加紧密地联系在一起。农业虚拟产业集群便是数字经济与农业产业集聚不断融合的结果。通过对数字技术的运用能够破解地域限制,促进农业产业集群间的互联互通、资源共享,更好地发挥出集聚效应。

四、变量的选取、描述及数据来源

(一)被解释变量

农业碳排放强度(CEQD)。关于农业碳排放量的测算,学者们主要从种植业和畜牧业两方面来进行相关分析^[4],常用的方法是以消费燃料数量与各类能源的碳排放系数相乘得出碳排放总量。本文参考沈忠等人(2018)^[36]的研究,采用农用化肥、农用地膜、农药和农用柴油四个要素来计算农业碳排放量,使用的碳排放系数分别是:农用化肥 1.397 kg/kg、农用地膜 18.993 kg/kg、农药 18.103 kg/kg、农用柴油 3.161 kg/kg,再以农业碳排放总量除以各地农业总产值得出农业碳排放强度。

(二)核心解释变量

数字经济发展指数(DEL)。到目前为止,我国还没有正式发布相对统一的省级数字经济发展的指

数以供参考,因此关于该指数的测算方法和指标体系,学界内有很大的争议。但国内学者普遍认同的是,对数字经济的认知都将信息化发展、互联网发展和数字交易发展等三个方面纳入其中。因此,综合已有做法,并结合数据的可获得性、统计口径的一致性,本文构建了信息化发展、互联网发展和数字交易发展三个一级指标、八个二级指标的综合评价体系,具体见表 1。

结合以往研究来看,确定指标权重多考虑层次分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 和熵权法 (Entropy Weight Method, EWM)。熵权法主要用于多元统计分析领域,如环境质量评价、生态环境评价、综合能力评价等,而 AHP 更多的是用在服务质量评价、项目选择、系统优选等需要涉及决策者判断的场合,且 AHP 主观性较大,故本研究采用熵值法对指标进行赋权,以此确定各项指标的权重值,再根据权重对每项指标进行评价。

表 1 数字经济发展指数评价指标体系

一级指标	二级指标	具体指标名称	权重 (熵权法计得)	指标属性 (正向/负向)
信息化发展	信息化基础	光缆密度	0.061 9	正向
		移动电话基站密度	0.069 3	正向
		信息化从业人员占比	0.037 6	正向
	信息化影响	电信业务总量	0.102 4	正向
		软件业务收入	0.159 6	正向
互联网发展	固定端互联网基础	互联网接入端口密度	0.073 3	正向
	移动端互联网基础	移动互联网普及率	0.019 5	正向
	固定端互联网影响	宽带互联网用户人数占比	0.045 6	正向
	移动端互联网影响	移动互联网用户人数占比	0.021 7	正向
		每百家企业拥有网站数	0.007 3	正向
数字交易发展	数字交易基础	企业使用计算机情况	0.032 7	正向
		电子商务企业占比	0.058 0	正向
	数字交易影响	电子商务销售额	0.130 4	正向
		网上零售额	0.180 6	正向

(三) 调节变量

农业产业集聚水平 (IAL)。参考已有文献,本文采用区位熵对农业产业集聚进行测度。区位熵又被称为专门化率,是哈格特 (Haggett) 在 1965 年首次提出并使用^{[37] 164-185}。该指标可以真实地反映出某产业的专业化程度,既可用以分析某区域的优势状况,亦可用于衡量某一生产要素的空间分布特征。而就采用区位熵对农业产业集聚进行测度的方法也并不唯一。比如薛蕾等 (2020) 采用某地区农业就业人员数与该地区全部行业就业人员数之比和全国农业就业人员数与全国所有行业就业人员数之比相除所得的商来衡量^[38];又或者杨秀玉等 (2023) 采用某地区农林牧渔总产值与该地区的生产总值之比和全国农林牧渔生产总值与全国生产总值之比的商来衡量^[39]。本文参考后者的做法,将公式上下除数的指标确定为地区及全国的农林牧渔总产值,设置公式如下:

$$IAL_{it} = \frac{agriculture_{it}/gdp_{it}}{Agriculture_t/GDP_t} \quad (1)$$

其中, IAL_{it} 表示 i 省 t 时期的区位熵指数, $agriculture_{it}$ 代表 i 省 t 时期的农林牧渔生产总值, gdp_{it} 代表 i

省 t 时期地区生产总值; $Agriculture_t$ 代表 t 时期全国农林牧渔生产总值, GDP_t 代表 t 时期全国地区生产总值。

需要说明的是,考虑到统计口径不一致等原因的差异,在收集原始数据的过程中发现,全国 GDP 及农林牧渔业产值与各省级层面的 GDP 加总及农林牧渔产值加总有较大出入。因此,在计算过程中,文中所用的全国 GDP 是用我国 31 个样本省份的 GDP 加总得到,全国农林牧渔产值用我国 31 个样本省份农林牧渔产值加总得到。

(四) 控制变量

考虑到农业碳排放强度受其他因素影响以及参考已有文献研究经验,本文选取的控制变量分别是第一产业占比(PPI),用各地第一产业增加值与各地生产总值之比衡量;农业机械总动力($TPAM$),用全部农业机械动力的额定功率之和表示;有效灌溉面积(EIA),等于能够进行正常灌溉的水田和水浇地面积之和;农业种植规模(PLA),用各地农作物总播种面积与各地乡村人口之比来衡量;农作物受灾情况(CD),用农作物受灾面积与农作物总播种面积之比衡量。

(五) 数据来源

本文所采用的相关原始数据均来自 2013–2019 年的《中国统计年鉴》、各省市统计年鉴,及国家统计局网站,鉴于少量年份数据缺失,宜采用线性插值法补齐。农业碳排放强度、农业产业集聚水平等需要二次加工的指标也均为使用 Excel 表格计算得出。需要说明的是,鉴于数字经济发展水平存在所需源数据维度多、数量大、获取难等客观因素,因此本文选取了马克数据网所公布的数字经济发展指数。本文所采用的变量说明及描述性统计见表 2。

表 2 各主要变量描述性统计

变量名称	对应英文缩写	N	Mean	SD	Min	Max
农业碳排放强度	$CEQD$	217	0.432	0.146	0.100	0.841
数字经济发展指数	DEL	217	0.205	0.111	0.073	0.701
农业产业集聚水平	IAL	217	1.214	0.652	0.059	3.524
第一产业占比	PPI	217	0.096	0.052	0.003	0.241
农业机械总动力	$TPAM$	217	3331	2920	93.97	13353
有效灌溉面积	EIA	217	2147	1695	109.2	6178
农业种植规模	PLA	217	0.301	0.223	0.032	1.282
农作物受灾情况	CD	217	0.145	0.119	0.006	0.696
农业碳排放强度的滞后项	$L. CEQD$	\	\	\	\	\

五、实证分析

(一) 模型构建与结果分析

本篇章要讨论的是数字经济的发展对农业碳排放强度的直接影响。相较于固定效应模型,随机效应模型的假设要求较高,因此在现实生活中较难满足。无论是否通过豪斯曼检验(Hausman Test),固定效应模型的估计结果都是一致的^[40],故本文构建如下双向固定效应模型(2)。同时考虑到模型内可能存在内生性问题导致估计结果产生偏差,因系统广义矩估计(System GMM)方法不需要假定变量分布和知晓随机干扰项的分布,可以很好地处理模型中存在的内生性问题^[41],故而本文将采用两步系统广义

矩估计(Two-step System GMM)模型构建出公式(3)和(4)并进行再次回归。

$$\ln CEQD_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln DEL_{it} + \sum_j \gamma_j \text{controls}_{ijt} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

$$\ln CEQD_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln CEQD_{it-1} + \beta_1 \ln DEL_{it} + \sum_j \gamma_j \text{controls}_{ijt} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\ln CEQD_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln CEQD_{it-1} + \beta_1 \ln DEL_{it} + \beta_2 \ln IAL_{it} + \beta_3 \ln DEL_{it} \times \ln IAL_{it} + \sum_j \gamma_j \text{controls}_{ijt} + \mu_i + \lambda_t + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

上述公式(2)(3)(4)中*i*代表省份,*t*代表年份;*lnCEQD_{it}*代表被解释变量,即农业碳排放强度;*lnCEQD_{it-1}*代表的是被解释变量的滞后期;*lnDEL_{it}*代表核心解释变量,即数字经济发展指数;*lnIAL_{it}*代表的是农业产业集聚水平;*controls_{ijt}*则代表其他影响农业碳排放强度的一系列的控制变量;*μ_i*、*λ_t*、*ε_{it}*分别表示地区个体效应、时间效应以及随机误差项,*ln*表示取对数值。同时为了避免模型中可能潜在的异方差问题,因此在该固定效应模型中加入聚类稳健标准误进行进一步控制。基准回归结果如表3所示。

表3 基准回归结果

变量名称	(1)	(2)
	FE	Two-step SysGMM
L. lnCEQD	/	0.8555***
	/	(0.1584)
lnDEL	-0.3209*	-0.6410**
	(0.1591)	(0.3064)
控制变量	YES	YES
年份效应	YES	YES
个体效应	YES	YES
聚类-稳健标准误	YES	YES
AR1	/	0.059
AR2	/	0.201
Hansen 检验	/	0.578
_cons	-3.4249	/
	(3.7239)	/
N	217	186
adj. R ²	0.7488	/

Standard errors in parentheses **p* < 0.1, ***p* < 0.05, ****p* < 0.01

上表双效固定效应模型(列1)的回归结果表明,数字经济发展指数在10%的水平上显著为负,其回归系数为-0.3209。两步系统广义矩估计模型(列2)的回归结果表明,数字经济发展指数在5%的水平上显著为负,其回归系数为-0.6410。且AR(1)的P值显著小于0.1,说明误差项中的某一项与前一项存在相关性,即存在一阶自相关;AR(2)的P值显著大于0.1,说明误差项中的某一项并不与前两项存在相关,即不存在二阶自相关;Hansen检验的P值显著大于0.1,即无法拒绝工具变量外生性假设,工具变量没有过度标识(模型未受到弱工具的影响),模型良好。综上,两个模型的回归结果均表明数字经济发展能够对农业碳排放强度产生较好的抑制效果。

一方面,从宏观农业的角度分析。随着数字经济的快速发展,农业生产的方式发生了变化,即由传统的粗放型农业向集约型农业转变,从而更合理地配置了农用柴油、农膜等农业资源,并优化了消费结构。数字技术与农业的融合可以帮助农业生产者更精确地掌握农业数据,提高生产效率,有效避免了资源分配不均带来的浪费。同时,数字经济的发展会推动新型农业生产技术的出现和应用,使农业生产过程更高效、绿色、环保,从而在农业碳排放强度上发挥抑制作用。

另一方面,从数字经济基础设施建设对农业生产活动影响的角度进行分析。数字经济的发展将加快相关的数字经济基础设施的建设进程。随着农业数字经济基础设施的逐步完善,其覆盖范围将逐渐扩大,这将缩小农业生产者和消费者之间的数字鸿沟,促进绿色生产和消费理念的形成。数字传播技术的发展也可以使农业生产者更便捷地了解农业环境污染的相关政策和发展方向,并能及时调整农业生产活动,这将有助于推动形成网络非正式环境规制,重塑和构建农村的碳排放治理格局,进一步抑制农业碳排放强度。

以上回归分析均验证了数字经济发展对农业碳排放强度具有一定的抑制作用,结论稳健可靠,本文的假设 1 得以证实。

(二) 农业产业集聚的调节机制分析

通过前文的理论分析可知,农业产业集聚水平的提高也会带来一系列诸如提高资源利用效率、依赖农业产业集聚而催生新型生产技术以降低农业污染等利好,从而对农业碳排放强度带来一定的抑制作用。因此,本部分拟重点讨论农业产业集聚水平在数字经济影响碳排放强度的过程中是否同样也起到了抑制作用。

为探究上述问题,本文基于式(3)进行实证检验,在原有的变量中加入农业产业集聚水平及其与数字经济发展指数的交互项两个变量,以此来探究产业集聚的调节机制。同时为了避免多重共线性,已将交互项预先进行了中心化处理,回归结果如表 4 所示。

表 4 农业产业集聚的调节机制

变量名称	(1)	(2)
	未加入交互项	加入交互项
L. lnCEQD	0.855 5*** (0.158 4)	0.928 8*** (0.124 9)
lnDEL	-0.641 0** (0.306 4)	0.112 5 (0.257 6)
Cross	/	-0.080 5** (0.038 9)
lnIAL	/	-0.002 9 (0.363 0)
控制变量	YES	YES
年份效应	YES	YES
个体效应	YES	YES
聚类-稳健标准误	YES	YES
AR1	0.059	0.023
AR2	0.201	0.219
Hansen 检验	0.578	0.426
N	186	186

Standard errors in parentheses * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

在表 4 中经过对比两组回归结果可以看到,在加入农业产业集聚水平及交互项之前,主要解释变量数字经济发展指数对于农业碳排放强度是具有显著的抑制作用的。但当加入了上述两个变量之后,数字经济发展指数由显著的抑制作用变为了不显著,且系数符号也与基准回归中不一致。造成这种情况的原因是,在加入了与农业产业集聚水平的交互项后,数字经济发展指数的回归系数由基准回归模型中式(3)的 β_1 变成了式(4)中的 $\beta_1 + \beta_3 \times \ln IAL_{it}$,从而致使主要解释变量的回归系数发生了变化。

本文重点关注的是数字经济发展指数与农业产业集聚水平的交互项系数。从表 4 列(2)中交互项的回归结果可以看出,其回归系数为-0.0805,并在 5%的水平下显著为负。这表明,农业产业集聚水平的提高有助于加强数字经济对农业碳排放强度的抑制作用,亦证明数字经济与农业产业集聚间存在协同效应,二者同时发展会更有效地对农业碳排放强度产生抑制效果。此外,农业碳排放强度的滞后项在 1%的水平上显著为正,这也暗示农业碳排放强度在时间序列上具有惯性或路径依赖性,也就是说,前一期的高碳排放强度预示着下一期可能持续上升。这表明治理碳排放是一项长期而持续的任务,而不是一蹴而就的工作,因此,我们需要作持久的努力。

对该结果可能的解释是,在数字经济和农业产业集聚的稳定发展过程中,规模效应和规模报酬递增的优势将逐渐显现,从而优化资源配置效率,改善要素配置,并提高资源利用率。这是因为,高度集中的农业产业会因更加专业化和规模化的作业和产业链产生协同效应而促进生产效率的提高,从而降低单位产量的碳排放强度。反之,分散的农业生产则不具备实现这种效益,相应地所产生的单位碳排放强度可能较高。同时二者发展所带来的知识溢出效应会催生出更多优质的农业生产设备和技术,从而提高农业生产效率。从农产品运输角度来说,一方面,物流配送行业正在逐步以清洁能源动力车辆替换传统燃油车辆,并加快无人机在农村地区取代传统配送方式的步伐;另一方面,借助智能平台来规划更优的配送路线,实现资源的集约化,最终实现经济效益和环境效益的统一。

通过以上实证分析结果,验证了本文假设 2。

(三)异质性分析

异质性分析是用以探究主要解释变量的作用机理及路径的重要方法。现有的关于数字经济对农业碳排放强度影响的研究大多都是采用按地理区位差异为标准进行异质性分析,采用该方式可以很好地消除由资源禀赋差异、发展水平、政策实施强度等因素导致的对回归结果的影响,以保证实证结果的稳健性。比如刘震等将样本划分为东、中、西、东北部四个方面进行分组回归,以探究农村数字经济发展对农业碳排放的影响^[42]。但对于本文而言,这种方式也具有一定的弊端。通过前文分析可知,农业产业集聚水平的提高有助于加强数字经济发展对农业碳排放强度的抑制效果,数字经济与农业产业集聚之间也存在协同效应。若只单纯考虑地理区位差异作为分组标准而不考虑农业产业集聚水平因素,则可能会导致本文结论欠缺说服力。因此,为了进一步探究我国各地区数字经济发展水平对农业碳排放强度的影响,本文将代表农业产业集聚水平的区位熵以是否大于 1 为标准进行分组,以此将农业产业集聚趋势明显和不明显的地区划分开来,以验证数字经济发展对农业碳排放强度的抑制作用是否仍然成立。回归结果如表 5 所示。

表 5 异质性分析展示

变量	(1)	(2)
	区位熵<1 地区	区位熵>1 地区
lnDEL	-0.0827 (0.1975)	-0.3882** (0.1755)
控制变量	YES	YES

续表5

变量	(1)	(2)
	区位熵<1 地区	区位熵>1 地区
年份效应	YES	YES
个体效应	YES	YES
聚类-稳健标准误	YES	YES
_cons	-10.912 8** (3.393 6)	0.616 8 (4.860 5)
N	63	154
adj. R ²	0.681 6	0.797 5

Standard errors in parentheses * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

表5回归分析结果揭示,列(1)为区位熵小于1的地区,主要解释变量的回归系数呈-0.0827,但并不显著,这表明,在这些地区数字经济的发展对农业碳排放强度仅产生了轻微的抑制效果。列(2)为区位熵大于1的地区,主要解释变量的回归系数为-0.3882,并在5%的水平上显著,表明在这些地区数字经济的发展对当地的农业碳排放强度产生了显著的抑制效果。原因可能在于:

区位熵小于1的地区普遍位于我国沿海发达省份,数字经济发展水平也普遍较高,比如北京、上海、江浙等地。根据集聚经济学理论,农业集聚通过促进知识共享、技术创新和高效资源配置等方式,增强了环境治理的效应。然而,在农业产业集聚水平低下的地区,这种集聚带来的协同效应和环境优化潜力受到限制,导致数字经济在提升资源使用效率和推动环境友好技术应用方面的作用未能得到充分发挥,从而使其对农业碳减排的贡献不明显。

研究进一步聚焦至区位熵大于1的地区。区位熵大于1即意味着该地区在特定农业领域具有明显的专业化和集聚优势。这种集聚效应促进了知识和技术的高速流通与创新,为数字经济的融入提供了肥沃土壤。因此,在这样的环境下,数字经济通过促进高效的资源管理、智能化的农业生产和精准的供应链优化等途径,显著提升了农业的碳减排能力,进而体现出明显的农业碳减排效应。

综上所述,在区位熵大于1的地区,数字经济发展对农业碳排放强度带来的抑制作用要更为显著,本文提出的假设3得到印证。

(四) 稳健性检验

在前文的基准回归小节中,通过在双向固定效应模型及在其中添加聚类—稳健标准误能够在一定程度上缓解异方差性对实证结果带来的偏误;采用两步系统广义矩估计能够缓解模型内存在的内生性问题;针对本文样本中农业产业集聚水平差异进行分组,并再次进行了回归检验,这本质上也是一种稳健性检验。通过上述方式所得到的数字经济对农业碳排放强度具有显著抑制作用的结论并未发生改变,这证明本文所得结论具备一定的稳健性,可以为政策的提出与实施提供一定的参考价值。

为了进一步保证本文研究所得结论的严谨可靠,本文参考了向宇^[43]、朱洁西^[44]等人的做法,再次运用缩尾法剔除极端值、剔除直辖市样本等方法,运用Stata分析工具再进行稳健性检验,内容见表6。

表6 稳健性检验

变量	(1)	(2)
	剔除极端值	剔除直辖市
lnDEL	-0.310 8** (0.144 3)	-0.354 4** (0.168 6)

续表6

变量	(1)	(2)
	剔除极端值	剔除直辖市
控制变量	YES	YES
年份效应	YES	YES
个体效应	YES	YES
聚类-稳健标准误	YES	YES
_cons	-5.245 8 (3.775 3)	1.130 2 (3.953 5)
N	217	189
adj. R ²	0.743 2	0.796 3

Standard errors in parentheses * $p < 0.1$, ** $p < 0.05$, *** $p < 0.01$

根据表6回归分析结果,数字经济的回归系数分别是-0.310 8、-0.354 4,均通过了5%的显著性水平测验,且估计系数的符号均与前文基准回归一致。即说明数字经济对农业碳排放强度具备显著抑制作用,佐证了前文结论的稳健性。

六、结论与启示

随着互联网技术的持续进步和更新,其与第一产业、第二产业和第三产业的融合程度日益提升,数字经济越来越成为我国积极应对碳排放问题的新举措。

(一) 研究结论

1. 根据基准回归结果,我国数字经济的进步对农业碳排放强度具有显著的抑制效应,即数字经济发展水平的提高可以显著降低农业碳排放强度。这一结论在引入被解释变量滞后一期、剔除极端值和剔除直辖市样本等稳健性检验后仍然成立。

2. 通过引入调节效应模型进行分析,发现数字经济发展指数、农业产业集聚水平的交互项与农业碳排放强度呈现显著负相关,即证实数字经济与农业产业集聚之间存在一定的协同效应。数字经济通过提供农业智能化、信息化的工具和手段,在提高生产效率的同时,能够减少农业生产过程中的能源消耗及农业碳排放强度。同样,农业产业集聚可以促进农业生产的专业化和规模化,进一步提高生产效率,从而减少资源浪费及农业碳排放强度。也可以说农业产业集聚水平的提高有助于强化数字经济发展对农业碳排放的抑制效果。

3. 异质性分析结果表明,数字经济在农业集聚水平较高的地区,对农业碳排放的抑制作用更为明显。一方面,可能由于这些地区耕地面积更广,因此,在农业生产过程中需要投入的农业生产要素更多,产生的农业碳排放量更大。另一方面,相较于农业集聚水平较低的地区,农业集聚水平较高地区的数字经济起步较晚,发展水平相对落后,但其发展速度却比较快。因此,在农业生产过程中对农业碳排放强度起到了更为明显的作用。

(二) 研究启示

1. 鉴于数字经济对农业碳排放强度呈现出的抑制作用显著,建议政府相关部门积极地推出各项惠农政策,以此激励数字经济与农业的进一步融合。包括但不限于鼓励农业生产者改进传统耕作技术、推广创新新型绿色防虫技术、采取积极措施鼓励经济增长,加大人力资本投入,提供数字经济发展的稳步增长潜力与动力。以此来缓解数字经济与农业融合度较低的问题。

2. 鉴于数字经济在影响农业碳排放强度过程中农业产业集聚水平发挥了一定的调节作用,能够强化数字经济对农业碳排放强度的抑制效果。一方面,集聚化的农业产业能促进信息的交流和共享,有助于推广低碳技术和生产方式,如利用可再生能源设备和高效利用水源的方法等;而数字经济可提供更高效的信息共享平台,如物联网等。因此,建议根据当地的经济水平、农业基础设施水平、农业生产特点等具体的现实情况,给予科学、准确的引导,实现农业产业合理集聚与数字经济的融合发展。另一方面,各地政府部门根据实际情况可以为集聚化的农业产业和数字经济发展制定合理的政策支持和优惠,如技术研发资助、优惠税收等,以保障实现更为绿色、更为环保、更可持续的农业生产经营活动。

3. 鉴于在农业产业集聚趋势明显的区域数字经济对农业碳排放强度的抑制效果更加明显,这也显示出这些地区具备更强的减碳潜力。一方面,要加强各地区间互联互通,学习发达地区数字经济发展经验,建立数据共享平台,并因地制宜地实施可持续的数字减碳政策,努力消除各地区间的数字鸿沟,以此来放大数字经济对农业碳排放强度的抑制效果。另一方面,进一步完善利益补偿机制,确保区域内经济与环境的协调发展,把好企业准入、技术研发、产品服务等关键环节,在保持农业高效发展的同时重视环境污染问题。因此,政府部门应给予更多更细致的政策引导,在资源利用上注重合理开发,以确保土地、水等资源的可持续利用,减少农业碳排放。

[参 考 文 献]

- [1] 李成,解超. 学习贯彻习近平总书记关于数字经济重要论述[J]. 上海经济研究,2023(08):21-31.
- [2] 曲子豪,等. 数字经济驱动制造集群实现低碳绿色发展综述[J]. 现代商业 2023(05):36-39.
- [3] 陈中伟,汤灿. 数字经济发展对农业碳排放的影响及其时空效应[J]. 科技管理研究 2023(12):137-146.
- [4] 田红宇,关洪浪. 数字经济对粮食生产碳排放的影响研究:来自长江经济带 108 个地级市的经验证据[J]. 中国农业资源与区划,2023(08):145-157.
- [5] 杨琳焱,谢会强. 农业产业集聚对农业碳排放效率的影响及其空间溢出效应[J]. 作物研究,2023(04):400-404+421.
- [6] 杨秀玉,魏秀文. 农业产业集聚、农业面源污染与农业绿色发展:基于空间异质性视角[J]. 江苏农业科学,2022(01):244-252.
- [7] 数字经济及其核心产业统计分类(2021)[J]. 中华人民共和国国务院公报,2021(20):16-30.
- [8] Taglioni D, Winkler D. Making Global Value Chains Work For Development [M]. World Bank Publications, 2016(143): 1-10.
- [9] Ali M A, Hpque M R, Alam K. An Empirical Investigation of the Relationship between E-Government Development and the Digital Economy: The Case of Asian Countries [J]. Journal of Knowledge Management, 2018(05): 1176-1200
- [10] 张三峰,魏下海. 信息与通信技术是否降低了企业能源消耗:来自中国制造业企业调查数据的证据[J]. 中国工业经济,2019(02): 155-173.
- [11] 丁志帆. 数字经济驱动经济高质量发展的机制研究:一个理论分析框架[J]. 现代经济探讨,2020(01):85-92.
- [12] 杨虎涛. 数字经济的增长效能与中国经济高质量发展研究[J]. 中国特色社会主义研究,2020(03): 21-32.

- [13] Bukht R, Heeks R. Defining, Conceptualising and Measuring the Digital Economy [J]. Development Informatics Working Paper, 2018 (13) :143-172.
- [14] Curran D. Risk, Innovation, and Democracy in the Digital Economy [J]. European Journal of Social Theory, 2018 (22) : 207-226.
- [15] Brynjolfsson E, Collis A. How Should We Measure the Digital Economy [J]. Harvard Business Review, 2019 (06) : 140-148.
- [16] 宋洋. 数字经济、技术创新与经济高质量发展:基于省级面板数据[J]. 贵州社会科学,2020(12): 105-112.
- [17] PORTER M E. The competitive advantage of notions[J]. Harvard business review,1990(02):73-93.
- [18] 李春海,张文,彭牧青. 农业产业集群的研究现状及其导向:组织创新视角[J]. 中国农村经济,2011(03):49-58.
- [19] 尹成杰. 新阶段农业产业集群发展及其思考[J]. 农业经济问题,2006(03):4-7+79.
- [20] 周新德. 基于生命周期阶段的农业产业集群形成和演化机理分析[J]. 经济地理,2009(07):1134-1138.
- [21] 王艳荣,刘业政. 农业产业集聚形成机制的结构验证[J]. 中国农村经济,2011(10):77-85.
- [22] 杜建军,张军伟,邵帅. 供给侧改革背景下中国农业产业集聚的形成演变研究[J]. 财贸研究,2017(05):33-46+99.
- [23] 李文华,周倩,陈永强. 农业产业集聚与碳排放:我国省际层面的实证分析[J]. 江苏农业科学,2018(24):436-441.
- [24] 田云,尹恣昊. 产业集聚对中国农业净碳效应的影响研究[J]. 华中农业大学学报(社会科学版),2021(03):107-117+188.
- [25] 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(06):135-139.
- [26] 邓晴晴,李二玲,任世鑫. 农业集聚对农业面源污染的影响:基于中国地级市面板数据门槛效应分析[J]. 地理研究,2020(04):970-989.
- [27] 蔡跃洲,马文君. 数据要素对高质量发展影响与数据流动制约[J]. 数量经济技术经济研究,2021(03):64-83.
- [28] 韩晶,陈曦,冯晓虎. 数字经济赋能绿色发展的现实挑战与路径选择[J]. 改革,2022(09):11-23.
- [29] 王军,王杰,王叶薇. 数字金融发展如何影响制造业碳强度? [J]. 中国人口·资源与环境,2022(07):1-11.
- [30] 年猛. 农业产业集聚:文献综述及其引申[J]. 生态经济,2018(05):93-98.
- [31] 张哲晰,穆月英. 农业产业集聚的生产效应及提升路径研究[J]. 经济经纬,2018(05):80-86.
- [32] Lucas, Gasselin, Ploeg D V. Local inter-farm cooperation: A hidden potential for the agroecological transition in northern agricultures[J]. Agroecology and Sustainable Food Systems,2019(02).
- [33] 邵帅,张可,豆建民. 经济集聚的节能减排效应:理论与中国经验[J]. 管理世界,2019(01):36-60+226.
- [34] 李思慧. 产业集聚、人力资本与企业能源效率:以高新技术企业为例[J]. 财贸经济,2011(09):128-134.
- [35] 熊欢欢,邓文涛. 环境规制、产业集聚与能源效率关系的实证分析[J]. 统计与决策,2017(21):117-121.
- [36] Shen Z, Baležentis T, Chen X, et al. Green growth and structural change in Chinese agricultural sector during 1997-2014 [J]. China Economic Review,2018,5183-96.
- [37] Haggett P. Scale components in geographical problems [M]//Chorley R J, Haggett P, eds. Frontiers in Geographical Teaching. London: Methuen and Co. Ltd. , 1965:164-185.
- [38] 薛蕾,申云,徐承红. 农业产业集聚与农业绿色发展:效率测度及影响效应[J]. 经济经纬,2020(03):45-53.
- [39] 杨秀玉,乔翠霞. 农业产业集聚对农业碳生产率的空间溢出效应:基于财政分权的调节作用[J]. 中国人口·资源与环境,2023(02):92-101.
- [40] 费威,于宝鑫,王维国. 数字经济发展与碳减排:理论推演与实证检验[J]. 经济学家,2022(11):74-83.
- [41] 王亚飞,刘静,柏颖. 交通基础设施、信息基础设施对要素错配的影响:兼论产业集聚与要素市场化的调节作用[J]. 系统管理学报,2023(03):549-559.
- [42] 刘震,张晓星,魏威岗. 农村数字经济发展对农业碳排放的影响:基于29个省份的面板数据分析[J]. 江苏大学学报(社会科学版),2023(03):20-32+47.

[43] 向宇,郑静,涂训华.数字经济发展的碳减排效应研究:兼论城镇化的门槛效应[J].城市发展研究,2023(01):82-91.

[44] 朱洁西,李俊江.数字经济、技术创新与城市绿色经济效率:基于空间计量模型和中介效应的实证分析[J].经济问题探索,2023(02):65-80.

Research on the Inhibition Mechanism and Effect of Digital Economy on Agricultural Carbon Emission Intensity: Based on Panel Data Analysis of 31 Provinces in Chinese Mainland

Zhang Mingzhi¹ Zhang Xianqi²

(1. Organization Department of the Party Committee, Chongqing Normal University, Chongqing 401331;

2. School of Economics and Management, Chongqing Normal University, Chongqing 401331, China)

Abstract: Under the background of “dual carbon”, scholars are paying more and more attention to the inhibition effect of digital economy on agricultural carbon emissions. The results show that the development of digital economy has a significant inhibitory effect on agricultural carbon emission intensity. The interaction term between the constructed digital economy development index and the agricultural industry agglomeration level is negative, which proves that improving the agricultural industry agglomeration level is conducive to strengthening the inhibition effect of digital economy development on agricultural carbon emission intensity. According to the heterogeneity analysis based on whether the locational entropy representing agricultural industrial agglomeration is greater than 1, the results show that the digital economy has a more significant inhibitory effect on agricultural carbon emission intensity in regions with locational entropy greater than 1. Clarifying the impact mechanism of digital economy on agricultural carbon emission intensity can provide a path reference for the low-carbon sustainable development of China’s agriculture, and is of great significance for China’s agricultural modernization transformation.

Keywords: digital economy; agricultural industry agglomeration; agricultural carbon emission intensity; regulating effect

[责任编辑:左福生]