

数字经济和财政支农对农业碳排放双控的影响

邱海洋¹, 李鑫²

(1. 信阳师范大学学报编辑部, 河南 信阳 464000; 2. 信阳师范大学商学院, 河南 信阳 464000)

摘要: 【目的】从协同控制碳排放总量和强度（双控）角度，探究数字经济对农业碳排放的影响，以及财政支农在其中的调节效应。【方法】基于2013—2021年中国30个省（自治区、直辖市）的面板数据，采用熵值法对农业碳排放双控水平进行评估，随后通过面板Tobit模型探究数字经济对农业碳排放双控的影响，最后分析财政支农在该影响中的调节效应及其异质性特征。【结果】中国农业碳排放双控水平呈波浪式上升趋势，粮食主销区农业碳排放双控水平相对较高，粮食主产区农业碳排放双控水平相对较低；数字经济对农业碳排放双控具有显著正向影响，财政支农在该影响中发挥正向调节作用；在粮食主销区，数字经济对农业碳排放双控的促进作用更明显，财政支农的调节效应也更强。【结论】要充分发挥数字经济对农业碳排放双控的促进作用，同时因地制宜提高财政支农水平，高效助力农业低碳生产。

关键词: 农业碳排放双控；数字经济；财政支农

中图分类号：F323.3 文献标志码：A

Influence of digital economy and financial support for agriculture on double control of agricultural carbon emissions

QIU Haiyang¹, LI Xin²

(1. Editorial Department, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China; 2. Business School, Xinyang Normal University, Xinyang 464000, China)

Abstract: 【Objective】 From the perspective of the dual control of total carbon emissions and intensity, this paper explores the impact of the digital economy on agricultural carbon emissions and the moderating effect of fiscal support for agriculture in this process. 【Method】 Based on the panel data of 30 provinces (autonomous regions and municipalities directly under the Central Government) in China from 2013 to 2021, the entropy method was used to evaluate the dual control level of agricultural carbon emissions. Then, the panel Tobit model was used to explore the impact of digital economy on the dual control of agricultural carbon emissions. Finally, the regulatory effect and heterogeneity of financial support for agriculture in this impact were analyzed. 【Result】 The double control level of agricultural carbon emission in China shows a wave-like upward trend, the double control level of agricultural carbon emission in the main grain sales areas is relatively high, and the double control level of agricultural carbon emission in the main grain producing areas is relatively low. Digital economy has a significant positive impact on the dual control of agricultural carbon emissions, and financial support for agriculture plays a positive regulatory role in this impact; In the main grain-selling areas, the digital economy has a more obvious role in promoting the dual control of agricultural carbon emissions, and the regulatory effect of financial support for agriculture is also stronger. 【Conclusion】 To fully leverage the promotional role of digital economy in agricultural carbon emission control, and at the same time, appropriately enhance fiscal support for agriculture to efficiently assist in low-carbon agricultural production.

Key words: Double control of agricultural carbon emissions; Digital Economy; Financial Support in Agriculture

党的二十届三中全会提出，建立能耗双控向碳排放双控全面转型新机制。碳排放双控是指协同控制碳排放总量和强度，是中国科学有序推进碳减排的制度创新，也是实现“双碳”目标的重要举措。农业碳减排是中国碳减排的重要领域。在碳排放双控背景下，实现农业碳排放总量和强度的协同控制（农业碳排放

收稿日期：2024-07-03

基金项目：国家社会科学基金一般项目(22BZZ039)

作者简介：邱海洋（1981—），男，河南信阳人，教授，博士，主要研究方向为环境经济学，E-mail: qiu Haiyang2020@xynu.edu.cn。

通信作者：李鑫（2000—），女，山东枣庄人，硕士研究生，E-mail: lixin@xynu.edu.cn。

双控) 将成为中国实现“双碳”目标和农业可持续发展的必然选择。数字经济的蓬勃发展推动了数字技术向农业领域渗透, 为实现农业碳排放双控提供了契机。针对数字经济能否显著促进农业碳排放双控, 财政支农能否增强数字经济对农业碳排放双控的正向影响问题进行研究, 对于促进农业低碳发展具有积极价值。

农业碳减排的相关文献主要聚焦于农业碳排放的衡量方式、演变特征和影响因素等方面。在衡量方式上, 已有研究主要从耕地利用、化学用品投入和能源消耗等方面对农业碳排放总量进行评估^[1]。另有学者使用单位农业产值的碳排放量来度量农业碳排放强度^[2-3], 还有学者使用 SBM 模型测算农业碳排放效率^[4]。在演变特征方面, 相关研究发现, 中国农业碳排放总量呈下降趋势但存在波动^[5], 农业碳排放强度表现出逐年下降态势^[1]。在影响因素方面, 现有研究探讨了基础设施水平^[6]、自然灾害状况^[7]、农业机械化水平^[8]、财政支农^[9]、城镇化^[10]等因素的影响。同时, 还有研究认为财政支农对农业碳排放具有抑制作用^[11]。此外, 数字经济与农业碳排放的关系也受到了关注。有研究认为数字经济能够促进农业碳减排^[7], 而且具有溢出效应^[12]。部分学者证实了农业规模化经营^[13]和农业社会化服务水平提高^[14]是数字经济促进农业碳减排的重要机制。此外, 有研究发现, 与畜牧业相比, 数字经济对种植业碳排放的抑制效应更强^[15]。随着研究的进展, 农业碳吸收的特殊属性引起了学者们^[16]的关注。虽然农业具有碳吸收的重要价值, 但是考虑到其与农业碳排放的差异性且农业碳吸收测算具有较大难度, 因此本研究没有将其纳入研究对象之中。

数字经济和农业碳排放的相关研究成果虽然较为丰富, 但仍存在拓展空间。第一, 随着碳排放双控重视程度提升, 农业碳排放双控水平亟待量化评估。第二, 数字经济是否能够促进农业碳排放双控水平的提升, 需要实证检验。第三, 财政支农的调节效应有待进一步探讨。基于此, 本研究尝试测度中国省级层面的农业碳排放双控水平, 实证分析数字经济对农业碳排放双控的影响效应, 并探讨财政支农的调节效应。

1. 理论分析与研究假说

1.1 数字经济对农业碳排放双控的影响

农业碳排放总量指农业生产过程中产生的碳排放总量^[3], 农业碳排放强度反映单位农业产值的碳排放量^[2]。农业碳排放双控是指协同控制农业碳排放总量和农业碳排放强度, 它强调既要控制农业碳排放总量, 又要控制农业碳排放强度。单方面控制农业碳排放总量或农业碳排放强度并不能代表农业碳排放双控。构建农业碳排放双控新概念, 对推动农业绿色转型、促进农业高质量发展、应对气候变化具有积极现实意义。

数字经济是以数字技术为基础的新型经济形态^[13]。实现农业碳排放双控离不开数字经济的助力。首先, 数字经济在控制农业碳排放总量方面发挥了积极作用。数字技术本身具有绿色属性, 它为农业低碳生产提供了技术支持^[17]。通过物联网、大数据和人工智能等技术的应用, 能够实现精准施肥、智能灌溉和病虫害防治, 从而避免了因过度使用农药和化肥而造成的土壤固碳能力降低^[18]。数字技术与劳动力、资本和土地等传统要素的深度融合, 显著提高了农业生产资料的配置效率^[19], 优化了资源利用方式, 从而降低了农业碳排放总量。数字经济还推动了农产品供应链的升级^[20]。传统供应链存在信息不对称和流通环节烦琐等问题, 数字经济则通过构建电商平台、物流配送网络和在线支付系统等, 拓展了农产品的销售渠道, 提升了供应链透明度, 从而减少了中间环节的碳排放。其次, 数字经济在控制农业碳排放强度方面也产生了显著的正向效应。数字经济通过数字技术的深度渗透, 加速了传统农业的数字化转型。这一转型不仅降低了农业碳排放总量^[21], 还促进了农产品的提质增产^[22]。由于农业碳排放强度反映单位农业产值的碳排放量^[2], 因此数字经济在控制农业碳排放总量的同时, 也显著降低了农业碳排放强度, 从而推动了农业碳排放双控目标的实现。基于此, 本研究提出假设 H1:

H1: 数字经济能够促进农业碳排放双控。

1.2 财政支农对数字经济影响农业碳排放双控的调节效应

数字经济主要是一种以市场为导向、追求效率和创新的经济形态, 而财政支农则具有一定的公益属性, 代表着政府力量。财政支农通过推动数字基础设施建设、支持农业技术创新及强化劳动力培训等措施^[23], 增强了数字经济对农业碳排放双控的促进作用。首先, 财政支农可以推动农业基础设施和信息网络建设^[24], 为数字经济与农业生产的深度融合奠定基础。财政资金的投入有效改善了农村地区的网络覆盖状况和信息基础设施建设水平, 从而显著提升了数字技术应用的可行性。物联网技术推动了农业生产过程的实时监测

与精准管理,为农业数字化转型及农业绿色发展提供了技术支撑。其次,财政支农通过支持农业技术研发,推动了智能农机等数字化产品的创新与应用^[25]。同时,财政支农促进了降碳技术的推广,为精准农业的发展提供了重要支撑。再次,财政支农通过强化农业从业人员培训,增强其对农业低碳技术的接受度和应用能力,从而为农业低碳发展提供人力资本支持^[24]。综上所述,财政支农不仅直接促进了农业低碳发展和产值提升,还通过创造有利条件促进了数字经济与农业的深度融合。这种融合在扩大农业经济总量的同时,降低了农业碳排放。据此,我们提出假设 *H2*:

H2: 财政支农能够增强数字经济对农业碳排放双控的促进作用。

2. 研究设计

2.1 变量说明

2.1.1 被解释变量: 农业碳排放双控水平

本研究以农业碳排放双控水平作为被解释变量,其具体衡量指标见表 1。本研究以农业碳排放总量降速体现农业碳排放总量控制程度,以农业碳排放强度降速体现农业碳排放强度控制程度,并采用熵值法测算综合水平。农业碳排放总量降速越大说明农业碳排放总量的控制效果越好,农业碳排放强度降速越大说明农业碳排放强度的控制效果越好。

表 1 农业碳排放双控水平的指标体系

一级指标 First-order index	二级指标 Secondary index	权重 Weight	属性 Types
农业碳排放双控水平 Double control level of agricultural carbon emissions	农业碳排放总量降速 The decline rate of agricultural carbon emissions	0.450	+
	农业碳排放强度降速 The decline rate of agricultural carbon emission intensity	0.550	+

(1) 农业碳排放总量测算

目前学术界测度农业碳排放总量比较权威的方法是联合国政府间气候变化专门委员会 (IPCC) 发布的碳排放系数法^[1],因此,本研究采用该方法进行测度。参考相关文献^[26],本研究的农业碳排放总量专指狭义农业生产过程中所产生的二氧化碳排放(不包含畜禽养殖碳排放)。由于农资的生产与使用会产生碳排放,灌溉、翻耕等活动会耗费能源,因此碳源物资包括农药、化肥、农用柴油和农膜,碳源活动包括土地灌溉和翻耕^[9]。农业碳排放总量的测算公式如下:

$$ACE = \sum ACE_i = \sum (T_i \times Q_i) \quad (1)$$

式中: ACE 表示农业碳排放总量; ACE_i 表示第 i 种碳源的碳排放量; T_i 表示第 i 种碳源的量; Q_i 表示第 i 种碳源的碳排放系数。

(2) 农业碳排放强度测算

本研究采用单位农业生产总值的碳排放量来测度农业碳排放强度^[2]。测算公式如下:

$$ACEI = ACE/AGDP \quad (2)$$

式中: $ACEI$ 表示农业碳排放强度; $AGDP$ 表示农业生产总值。

(3) 熵值法

将收集整理的数据分别按公式 (3) 进行标准化处理。

$$X_{ij} = \left[\frac{X_{ij} - \min(X_{ij})}{\max(X_{ij}) - \min(X_{ij})} \right] \times 100\% \quad (\text{正维度指标}) \quad (3)$$

式中: X_{ij} 代表指标 j 在地区 i 的值 ($i, \dots, n; j=1, \dots, n$); $\min(X_{ij})$ 和 $\max(X_{ij})$ 是指标 X_{ij} 的最小值

和最大值。为了避免 $\ln(P_{ij})$ 不存在，将标准化后的数进行平移，同时加上 0.000 1^[13]，如式（4）-（5）。

$$X_{ij}^* = X_{ij} + 0.000 1 \quad (4)$$

$$P_{ij} = X_{ij}^* / \sum_{i=1}^n X_{ij}^* \quad (5)$$

在此基础上，根据式（6）计算指标 j 的熵：

$$e_j = -K \sum_{i=1}^n P_{ij} \times \ln P_{ij} \quad (6)$$

式中：常数 K 的大小取决于样本容量 n ， $K = 1/\ln(n)$ ， $0 < e_j < 1$ 。接着计算第 j 项指标的差异系数 $d_j = 1 - e_j$ ，再计算熵的权重^[13]，见式（7）：

$$W_j = d_j / \sum_{i=1}^m d_j \quad (7)$$

最后，根据式（8）计算综合指数 Z_{ij} ：

$$Z_{ij} = \sum_{i=1, j=1}^{n, m} X_{ij} \times W_j \quad (8)$$

2.1.2 核心解释变量：数字经济

本研究借鉴相关文献^[27]研究，从以下 3 个维度 14 个细分指标来综合衡量数字经济（见表 2）。依据构建的指标体系，采用熵值法测算中国省级层面的数字经济发展水平。

表 2 数字经济指标体系

Table 2 Digital economy index system

一级指标 First-order index	二级指标 Secondary index	三级指标 Tertiary index
		每万人互联网宽带接入用户/万户 Internet broadband access per 10 ⁴ people /10 ⁴ households
	数字基础设施水平 Digital infrastructure level	移动电话普及率/（部·人 ⁻¹ ） Mobile phone penetration rate /(units·people ⁻¹)
		每万人拥有网页数/万个 Web pages per 10 ⁴ people /10 ⁴ unit
		长途光缆长度/国土面积/（公里 ⁻¹ ） Long-distance cable length/land area /(km ⁻¹)
		软件业务收入/GDP/% Software revenue /GDP /%
数字经济 Digital economy	数字产业化 Digital industrialization	每万人信息传输、软件和信息技术服务业城镇单位就业人数/人 Employment in Information transmission, software and information technology services per 10 ⁴ urban units /person
		数字普惠金融指数 Digital financial inclusion index
	数字化应用 Digital application	人均电子商务销售额/（元·人 ⁻¹ ） E-commerce sales per capita /(yuan·person ⁻¹)
		参与电子商务交易活动的企业数比例/% Proportion of enterprises with e-commerce transactions /%
		人均快递业务收入/（元·人 ⁻¹ ） Per capita express business income /(yuan·person ⁻¹)

2.1.3 调节变量：财政支农

财政支农使用地方财政农林水事务支出占 GDP 比例来衡量^[28]。

2.1.4 控制变量

农业碳排放双控还可能受基础设施水平、自然灾害状况、农业机械化水平、环境规制、城镇化、农业

种植结构和农业化学品投入强度等因素影响。本研究采用铁路营业里程和公路里程的几何均值与国土面积之比来衡量各省份的基础设施水平。选取农作物受灾面积占农作物总播种面积的比例衡量自然灾害状况。采用每单位农作物种植面积所消耗的农业机械总动力来评估农用机械化水平。选择地方财政环境保护支出占 GDP 比例来测度环境规制水平。采用各省份年末城镇人口规模占总人口比例来衡量城镇化水平。采用粮食作物种植面积占农作物总种植面积的比例来衡量农业种植结构。采用农用化肥施用折纯量与农作物总播种面积的比值衡量农业化学品投入强度。

2.2 模型构建

2.2.1 基准回归模型

由于农业碳排放双控水平介于 0~1 之间，因此，本研究采用面板 Tobit 模型^[29]探究数字经济对农业碳排放双控的影响。模型构建如下：

$$DCCE_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln D_{it} + \alpha_j \text{Control}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

式中： i 表示城市； t 代表时间；DCCE 表示农业碳排放双控水平；D 表示数字经济； α_1 表示数字经济对农业碳排放双控的影响效果，若该系数值大于 0，则表示数字经济有利于提升农业碳排放双控水平；Control 表示一组可能影响农业碳排放双控的其他控制变量； α_j 表示控制变量的系数； α_0 代表常数项； ε_{it} 表示随机误差项。

2.2.2 调节效应模型

为探究在数字经济影响农业碳排放双控的过程中，财政支农是否发挥调节效应，本研究设计如下模型：

$$DCCE_{it} = \eta_0 + \eta_1 \ln D_{it} + \eta_2 \ln D_{it} \times \ln F_{it} + \eta_j \text{Control}_{it} + \varepsilon_{it} \quad (10)$$

式中：F 是本研究的调节变量，表示财政支农，其他变量含义与前文一致。如果系数 η_2 在选定的置信水平上显著，则表明财政支农的调节效应显著，说明财政支农在数字经济影响农业碳排放双控中起调节作用。

2.3 数据来源

本研究使用的数据为 2013—2021 中国 30 个省份（西藏和港澳台除外）的面板数据。其中，数字普惠金融指数来源于北京大学数字金融研究中心公开数据，其余数据均来源于《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》。本研究对数字经济和控制变量进行对数化处理。

3. 结果分析

本节首先分析中国农业碳排放总量和强度的演变趋势，接着考察数字经济对农业碳排放双控的影响效应，最后检验财政支农在数字经济影响农业碳排放双控中的调节效应，并探讨异质性特征。

3.1 农业碳排放总量和强度的变化特征

2013—2021 年中国 30 个省份的农业碳排放总量及其强度的均值变化如图 1 所示。全国农业碳排放总量于 2015 年达到峰值 475.232 万吨，此后呈现持续下降态势，至 2021 年降至 429.139 万吨，累计降幅达 9.70%。从农业碳排放强度的变化趋势来看，2013 年的农业碳排放强度处于最高值 0.291 吨/万元。在此之后，呈现出缓慢下降趋势，到 2021 年降至 0.199 吨/万元，年均降幅为 3.952 %。

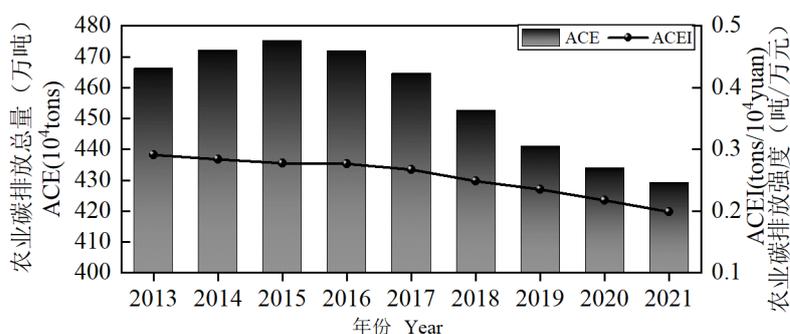


图 1 农业碳排放总量和强度的变化趋势（2013—2021）

Fig.1 Trends in the total amount and intensity of agricultural carbon emissions (2013-2021)

3.2 基准回归分析

本研究的基准回归结果如表 3 列 (1) 所示, 数字经济对农业碳排放双控的影响系数值为 0.093, 且通过了 1% 的显著性水平检验, 这表明数字经济能够提升农业碳排放双控水平。由此, $H1$ 得到验证。

为提高实证结论的可信度, 本研究采用以下方法进行稳健性检验。第一, 滞后检验。考虑到当期数字经济发展可能会对下一期的数字经济产生直接影响, 数字经济不仅可以提高当期的农业碳排放双控水平, 对下一期的农业碳排放双控水平也可能存在促进作用, 因此将原解释变量的滞后一期作为核心解释变量重新进行估计。第二, 缩尾处理。为了避免极端离群值影响估计结果的准确性, 对数字经济、农业碳排放双控以及控制变量均进行上下 1% 的缩尾处理, 并再次进行回归。第三, 剔除直辖市。考虑到中国直辖市 (北京、天津、上海、重庆) 的经济体量、产业结构和数字化水平明显区别于其他省份, 因此本研究对这 4 个直辖市样本进行剔除, 重新检验数字经济对农业碳排放双控的影响。表 3 第 (2) — (4) 列结果显示, 核心解释变量系数的显著性及符号均未发生明显变化, 由此表明前文的基准回归结果具有较强的稳健性。

表 3 基准回归与稳健性检验结果

Table 3 Baseline regression results

变量 Variable	(1)基准回归 Baseline regression	(2)滞后检验 Lag test	(3)缩尾处理 Tail reduction treatment	(4)去除 4 个直辖市 Remove four municipalities
数字经济 Digital economy	0.093*** (0.020)		0.095*** (0.018)	0.107*** (0.020)
数字经济滞后一期 The lagging period of the digital economy		0.105*** (0.022)		
控制变量 Control variable	控制	控制	控制	控制
常数项 Constant term	0.552*** (0.033)	0.562*** (0.034)	0.549*** (0.029)	0.559*** (0.031)
样本量 Sample size	270	240	270	234
Log likelihood	340.977	299.515	372.908	318.393

注: *, **, *** 分别表示在 10%、5% 和 1% 的水平下显著; 括号内为标准误; 下同。

Note: *, ** and *** are significant at the level of 10%, 5% and 1% respectively. The standard error corresponding to the coefficient is in parentheses. The same as below.

3.3 内生性分析

考虑到数字经济与农业碳排放双控之间可能存在双向因果关系, 本研究进一步采用工具变量法、差分 GMM 和系统 GMM 进行检验, 结果见表 4 所示。本研究选择滞后一期的数字经济作为工具变量进行两阶段最小二乘法回归, 结果显示, 数字经济的回归系数仍然显著为正, 并通过了 1% 的置信水平检验。表 4 第 (3) 列和第 (4) 列是引入农业碳排放双控的滞后一期作为工具变量后, 分别使用差分 GMM 和系统 GMM 进行回归检验的结果。可以发现, 数字经济的系数值均通过了 1% 的置信水平检验, 这与基准回归结果保持一致。

表 4 内生性分析结果

Table 4 Results of endogeneity analysis

变量	工具变量回归	差分 GMM	系统 GMM
----	--------	--------	--------

Variable	Instrumental variable regression		Differential GMM	System GMM
	(1)数字经济 Digital economy	(2)农业碳排放双控 Dual control of agricultural carbon emissions	(3)农业碳排放双 控 Dual control of agricultural carbon emissions	(4)农业碳排放双 控 Dual control of agricultural carbon emissions
农业碳排放双控 滞后一期 The lagging period of dual control of agricultural carbon emissions			0.056 (0.080)	0.257* (0.144)
数字经济滞后一 期 The lagging period of the digital economy	0.849*** (0.015)			
数字经济 Digital economy		0.109*** (0.023)	0.167*** (0.064)	0.258*** (0.099)
控制变量 Control variable	控制	控制	控制	控制
常数项 Constant term	-0.066*** (0.023)	0.561*** (0.031)		0.513*** (0.116)
样本量 Sample size	240	240	210	240
R^2	0.986	0.235		
AR(2)			0.740	0.727
Sargen			0.105	0.682

3.4 调节效应分析

财政支农调节效应的回归结果如表 5 所示，其中列（1）为基准回归结果，列（2）是在列（1）的基础上增加了数字经济与财政支农交互项之后的回归结果。该结果显示，数字经济与财政支农交互项的回归系数显著为正，这说明财政支农在二者关系中具有正向调节作用，即财政支农水平越高，数字经济对农业碳排放双控的促进作用越强。财政支农能够为农业科技创新和低碳生产提供资金和政策支持，从而为数字经济提升农业碳排放双控水平创造了有利条件。由此， $H2$ 得到验证。

表 5 调节效应分析结果

Table 5 Results of moderation effect analysis

变量 Variable	农业碳排放双控 Dual control of agricultural carbon emissions	
	(1)	(2)
	数字经济 Digital economy	0.090*** (0.020)
财政支农 Financial support in	0.024 (0.019)	0.010 (0.020)

agriculture		
数字经济*财政支农		0.038*
Digital economy*Financial support in agriculture		(0.020)
控制变量	控制	控制
Control variable		
常数项	0.553***	0.563***
Constant term	(0.032)	(0.032)
样本量	270	270
Sample size		
Log likelihood	341.760	343.654

3.5 异质性分析

异质性结果如表 6 所示，其中，列（1）—（3）为数字经济对农业碳排放双控的异质性检验结果，各区域系数均显著为正，且粮食主销区>产销平衡区>粮食主产区。可能的原因是，粮食主销区通常面临更为严峻的土地资源约束，这促使地方政府和农业经营者更加注重资源的高效利用和环境保护。因此，数字经济对农业碳排放双控的促进效应更为明显。而粮食主产区受制于生产模式的路径依赖、较高的转型成本以及政策资源向保障粮食产量倾斜，数字经济的碳减排效应相对较弱。

表 6 列（4）—（6）为财政支农调节效应的异质性检验结果，粮食主产区和主销区的交互项系数分别为 0.086、0.220，均显著为正，且主销区系数显著高于主产区；而产销平衡区系数为 0.006，未通过显著性检验。这表明财政支农的调节效应在粮食主销区最强。主要原因在于：在粮食主销区，财政支农的技术效率与规模效率较高^[30]，其能够为农业数字化转型和低碳可持续发展提供有力支撑。

表 6 异质性分析回归结果

Table 6 Regression results of heterogeneity analysis

变量	(1)粮食主产区	(2)粮食主销区	(3)产销平衡区	(4)粮食主产区	(5)粮食主销区	(6)产销平衡区
Variable	Major grain producing	Major grain consumption	Production-Sales Balance	Major grain producing	Major grain consumption	Production-Sales Balance
数字经济	0.083***	0.144**	0.130***	0.086***	0.331***	0.122***
Digital economy	(0.027)	(0.060)	(0.032)	(0.027)	(0.088)	(0.036)
财政支农				-0.043	-0.047	0.016
Financial support in agriculture				(0.038)	(0.078)	(0.030)
数字经济*财政支农				0.089**	0.220***	0.006
Digital economy*Financial support in agriculture				(0.045)	(0.080)	(0.042)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Control variable						
常数项	0.564***	0.735***	0.539***	0.600***	1.024***	0.525***
Constant term	(0.052)	(0.120)	(0.063)	(0.055)	(0.187)	(0.072)
样本量	117	63	90	117	63	90

Sample size						
Log likelihood	168.670	76.776	117.836	170.679	80.378	117.993

4 结论与建议

4.1 研究结论

本研究基于中国 2013—2021 年 30 个省份的面板数据，测度了农业碳排放双控水平，并实证分析了数字经济、财政支农和农业碳排放双控之间的关系。研究发现：1) 中国农业碳排放双控水平总体呈波动上升趋势，区域差异显著。其中，粮食主销区最高，产销平衡区次之，粮食主产区则相对较低。本研究与现有的农业碳排放相关研究^[1]不同，本研究构建了农业碳排放双控这一新概念，从而为后续研究提供了新方向。2) 数字经济显著提升了农业碳排放双控水平。本研究与李俊杰等^[3]的研究重点不同，他们探讨的是数字经济与农业碳排放总量的关系，而本研究探讨的是数字经济与农业碳排放双控的关系。在国家重视碳排放双控的背景下，本研究更有现实意义。3) 财政支农对数字经济促进农业碳排放双控具有正向调节效应。这一发现与陈卫洪等^[2]关于财政支农能够正向调节数字经济对农业气候韧性积极影响的结论相呼应，从而进一步验证了财政支农在农业绿色发展中的助推作用。4) 异质性分析表明，数字经济对农业碳排放双控的促进作用呈现出粮食主销区>产销平衡区>粮食主产区的差异特征，财政支农的调节效应在粮食主销区更强。这一结果为政府部门制定差异化政策以赋能农业碳排放双控提供了依据。

4.2 对策建议

基于研究结论，本研究提出以下政策建议：第一，加强农业碳排放双控的顶层设计。构建农业碳排放双控监测与评估体系。建立粮食主销区、产销平衡区和粮食主产区之间的农业碳减排合作机制，实现区域间碳排放双控水平的均衡提升。第二，充分发挥数字经济对农业碳排放双控的促进作用，推动数字技术与农业生产的深度融合。鼓励数字技术创新，促进农业生产环节的智能化和信息化，提升资源利用效率，助力农业低碳发展。第三，强化财政支农与数字经济的协同效应。充分发挥财政资金的引导作用，加大对农业碳减排技术研发的资金投入。加强对农业从业人员的数字化技能培训，提升其对数字技术的接受度和应用能力。第四，实施区域差异化财政支农方式。加大对粮食主销区农业低碳技术创新的财政支持力度，充分发挥其引领示范作用。通过补贴、税收优惠等方式，激励粮食主产区农业企业和农户采用低碳技术。

参考文献 References

- [1] 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 M 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.
- [2] 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.
- [3] 刘华军, 鲍振, 杨骞. 中国农业碳排放的地区差距及其分布动态演进: 基于 Dagum 基尼系数分解与非参数估计方法的实证研究[J]. 农业技术经济, 2013(3): 72-81.
LIU H J, BAO Z, YANG Q. [Regional gap and dynamic evolution of agricultural carbon emissions in China: an empirical study based on Dagum Gini coefficient decomposition and nonparametric estimation method](#)[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2013(3): 72-81.
- [4] 田云, 林子娟. 中国省域农业碳排放效率与经济成长的耦合协调[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.
- [5] 尹恣昊, 田云, 卢奕亨. 中国农业碳排放区域差异及其空间分异机理[J]. 改革, 2023(10): 130-145.
YIN M H, TIAN Y, LU Y H. Regional differences and spatial divergence mechanisms of agricultural carbon emissions in China[J]. Reform, 2023(10): 130-145.
- [6] MAES J, BARBOSA A, BARANZELLI C, et al. More green infrastructure is required to maintain ecosystem services under current

- trends in land-use change in Europe[J]. *Landscape Ecology*, 2015, 30(3): 517-534.
- [7] 吴贤荣, 张俊飏, 田云, 等. 中国省域农业碳排放: 测算、效率变动及影响因素研究: 基于 DEA-Malmquist 指数分解方法与 Tobit 模型运用[J]. *资源科学*, 2014, 36(1): 129-138.
- WU X R, ZHANG J B, TIAN Y, et al. Provincial agricultural carbon emissions in China: calculation, performance change and influencing factors[J]. *Resources Science*, 2014, 36(1): 129-138.
- [8] 陈银娥, 陈薇. 农业机械化、产业升级与农业碳排放关系研究: 基于动态面板数据模型的经验分析[J]. *农业技术经济*, 2018(5): 122-133.
- CHEN Y E, CHEN W. A study on the relationship among agricultural mechanization, industrial upgrading and agricultural carbon emission: The empirical research based on dynamic panel data model[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2018(5): 122-133.
- [9] 黄晓慧, 杨飞, 陆迁. 城镇化、空间溢出效应与农业碳排放: 基于 2007—2019 年省级面板数据的实证分析[J]. *华东经济管理*, 2022, 36(4): 107-113.
- HUANG X H, YANG F, LU Q. Urbanization, spatial spillover effect, and agricultural carbon emission: empirical analysis based on the data of provincial panel from 2007 to 2019[J]. *East China Economic Management*, 2022, 36(4): 107-113.
- [10] 鲁钊阳. 省域视角下农业科技对农业碳排放的影响研究[J]. *科学学研究*, 2013, 31(5): 674-683.
- LU Z Y. The influence from the progress of agricultural science and technology to agricultural carbon emission based on provincial point[J]. *Studies in Science of Science*, 2013, 31(5): 674-683.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 李俊杰, 张引杰. 数字经济影响农业碳排放的机理与实证[J]. *中南民族大学学报(人文社会科学版)*, 2024, 44(6): 139-148, 187.
- LI J J, ZHANG Y J. Impact mechanism and empirical research of digital economy on agricultural carbon emissions[J]. *Journal of South-Central Minzu University (Humanities and Social Sciences)*, 2024, 44(6): 139-148, 187.
- [14] 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, 43(12): 137-146.
- CHEN Z W, TANG C. Impact of digital economy development on agricultural carbon emissions and its temporal and spatial effects[J]. *Science and Technology Management Research*, 2023, 43(12): 137-146.
- [15] ZHAO L P, RAO X, LIN Q W. Study of the impact of digitization on the carbon emission intensity of agricultural production in China[J]. *Science of The Total Environment*, 2023, 903: 166544.
- [16] 田云, 王骁睿, 尹恣昊, 等. 中国农业净碳汇再测算: 现状特征、时空格局及其影响因素[J]. *中国农业科学*, 2024, 57(22): 4507-4521.
- TIAN Y, WANG X R, YIN M H, et al. Re-evaluation of China's agricultural net carbon sink: Current situation, spatial-temporal pattern and influencing factors[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2024, 57(22): 4507-4521.
- [17] 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(9): 11-23.
- HAN J, CHEN X, FENG X H. The real challenge and path of enabling green development of digital economy[J]. *Reform*, 2022(9): 11-23.
- [18] 白洋, 董雨瑞, 李姿莹. 耕地碳汇与粮食安全保障协同推进的制度完善[J]. *世界农业*, 2023(8): 76-87.
- BAI Y, DONG Y R, LI Z Y. Research of perfection of the system for the coordinated promotion of cultivated land carbon sink and food security[J]. *World Agriculture*, 2023(8): 76-87.
- [19] 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, 38(3): 64-83.
- CAI Y Z, MA W J. How data influence high-quality development as a factor and the restriction of data flow[J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2021, 38(3): 64-83.
- [20] 李宇, 杨敬. 创新型农业产业价值链整合模式研究: 产业融合视角的案例分析[J]. *中国软科学*, 2017(3): 27-36.
- LI Y, YANG J. Industry chain integration model about agriculture case studies from the perspective of industry convergence[J]. *China Soft Science*, 2017(3): 27-36.
- [21] 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, 25(3): 20-32.
- LIU Z, ZHANG X X, WEI W G. The impact of rural digital economic development on agricultural carbon emissions: based on the panel data of 29 provinces in China[J]. *Journal of Jiangsu University (Social Science Edition)*, 2023, 25(3): 20-32.
- [22] 张相龙, 赵梦典, 张海莹. 土地流转视角下农业数字化的增收效应[J]. *河南农业大学学报*, 2025, 59(1): 155-166.

- ZHANG X L, ZHAO M D, ZHANG H Y. Income increasing effect of agricultural digitization from the perspective of land transfer[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2025, 59(1): 155-166.
- [23] 乔翠霞, 刘韵致, 杨晨曦. FDI对农业技术创新的影响: 基于财政支农的调节效应分析[J]. *东岳论丛*, 2023, 44(5): 148-159.
- QIAO C X, LIU Y Z, YANG C X. The impact of FDI on agricultural technology innovation: analysis of the regulatory effect based on fiscal support for agriculture[J]. *Dongyue Tribune*, 2023, 44(5): 148-159.
- [24] 黄伟华, 祁春节, 聂飞. 财政支农、技术溢出与农业碳排放[J]. *软科学*, 2023, 37(2): 93-102.
- HUANG W H, QI C J, NIE F. Financial support for agriculture, technology spillover and agricultural carbon emissions[J]. *Soft Science*, 2023, 37(2): 93-102.
- [25] 陈卫洪, 于晴. 数字经济发展对农业气候韧性的影响机制研究: 基于调节效应和空间溢出效应分析[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2024, 32(6): 944-956.
- CHEN W H, YU Q. Study on the influence mechanism of digital economy development on agricultural climate resilience: based on the analysis of regulatory effects and spatial spillover effects[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2024, 32(6): 944-956.
- [26] 朱盼盼, 高甜村, 张颖, 等. 数字农业建设对农业碳排放的影响[J]. *河南农业大学学报*, 2024, 58(4): 708-716.
- ZHU P P, GAO T C, ZHANG Y, et al. The impact of digital agriculture construction on agricultural carbon emission[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2024, 58(4): 708-716.
- [27] 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]. *Management World*, 2020, 36(10): 65-76.
- [28] 王宝义, 张卫国. 中国农业生态效率的省际差异和影响因素: 基于 1996—2015 年 31 个省份的面板数据分析[J]. *中国农村经济*, 2018(1): 46-62.
- WANG B Y, ZHANG W G. Cross-provincial differences in determinants of agricultural eco-efficiency in China: an analysis based on panel data from 31 provinces in 1996-2015[J]. *Chinese Rural Economy*, 2018(1): 46-62.
- [29] TANG Z. An integrated approach to evaluating the coupling coordination between tourism and the environment[J]. *Tourism Management*, 2015, 46: 11-19.
- [30] 蒋团标, 罗琳. 财政支农与粮食安全: 基于区域差异的实证分析[J]. *世界农业*, 2022(2): 66-79.
- JIANG T B, LUO L. Financial support for agriculture and food security: empirical analysis based on regional differences[J]. *World Agriculture*, 2022(2): 66-79.