

# 乡村数字化可以促进农业碳减排吗?

赵丽平<sup>1,2</sup>, 饶希<sup>1</sup>, 丁士军<sup>2\*</sup>

(1.中南民族大学经济学院,湖北武汉430074;  
2.中南财经政法大学工商管理学院,湖北武汉430073)



**摘要** 数字化是农业现代化的制高点,农业碳减排则是“三农”问题的难点,研究数字化与农业碳减排二者关系,有助于为农业生产领域“双碳”目标实现探寻新的路径。在构建乡村数字化水平和农业碳减排指标的基础上,对2003—2018年30个省(市、区)乡村数字化水平和农业碳减排二者的动态关系进行了分析,并进一步分析了不同区域乡村数字化水平对农业碳减排的影响差异。研究发现:(1)乡村数字化对农业碳减排的动态影响呈现出产业差异,面临乡村数字化的冲击,种植业净碳汇在整个考察期呈现出稳定的正面响应,畜牧业碳排放则总体呈现出负面响应,从后期趋势来看乡村数字化对种植业的冲击力度要大于畜牧业;(2)乡村数字化水平提升可以显著促进全国层面农业碳减排,但乡村数字化水平对畜牧业的影响则受到人力资本水平的制约,对种植业的影响则不会受到制约;(3)乡村数字化水平对农业碳减排的影响存在地区差异和产业差异,有利于显著增加东部地区种植业净碳汇,显著降低东部和中部畜牧业碳排放量,但对中西部种植业和西部畜牧业不显著;(4)财政支农力度的增加有助于农业碳减排,财政支农力度除对西部地区畜牧业碳减排不显著外,对其他地区农业碳减排都比较显著。

**关键词** 乡村数字化; 农业碳减排; 人力资本水平; 种植业; 畜牧业

**中图分类号**:F320 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-3456(2023)05-0042-11

**DOI编码**:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2023.05.005

乡村数字化对我国实施乡村振兴战略,实现农业现代化具有重要意义。十八大以来,我国高度重视农村地区的数字化基础设施建设,2021年中央一号文件提出“支持农村及偏远地区信息通信基础设施建设,加快建设农业农村遥感卫星等天基设施”。2022年中央一号文件提出“加快推进数字乡村标准化建设,研究制定发展评价指标体系”。根据中国互联网络信息中心(CNNIC)发布的第50次《中国互联网络发展状况统计报告》,我国农村地区通信基础设施日益完善,截至2022年6月,我国现有行政村已全面实现“村村通宽带”,农村网民数量达到2.93亿,农村互联网普及率达到58.8%,而且数字技术在农业生产领域应用广泛,2021年全国全系统装备北斗导航设备作业面积超过6000万亩,全国累计创建9个农业物联网示范省份,100个数字农业试点项目。

在乡村数字化飞速发展的同时,我国的农业现代化则相对滞后,是“四化同步”中最薄弱的环节,也是制约乡村振兴的关键短板<sup>[1]</sup>。其中,日益恶化的农业生态环境则是实施乡村振兴战略所面临的难点。目前我国大部分地区的农业生产仍然是以粗放式农业生产为主,长时间化肥农药的大量投入以及畜禽污染排放物的逐年增加,导致不少农村地区正面临水土资源污染、耕地肥效降低、农产品品质下降等严重环境问题。

近几年来关于数字化与碳减排的研究逐渐增多。有学者从宏观层面分析了数字化基础设施对

收稿日期:2023-01-16

基金项目:国家自然科学基金青年项目“长江中下游地区水稻绿色生产的福利效应:测度、差异及影响因素”(71803040);中央高校基本科研业务费专项“长江中下游地区粮食生产绿色转型的效率测度及提升路径研究”(CSPT23010)。

\*为通讯作者。

碳排放的影响,研究发现数字化基础设施可以显著降低城市碳排放,但存在区域差异,东部和南部地区的碳减排效应更显著<sup>[2]</sup>。还有学者分析了服务贸易领域数字化转型的碳减排效应,研究发现数字化可以通过规模效应、结构效应和技术效应对服务贸易领域的碳减排产生积极影响,而且发展中国家的碳减排效应更显著<sup>[3]</sup>。也有学者分析了金融领域数字化转型的碳减排效应,研究发现数字化与碳减排之间呈现出倒“U”型关系,东部地区的碳减排效应更显著,中西部地区不显著<sup>[4]</sup>。还有学者对全球气候变化背景下信息通信技术产业的碳排放问题进行了分析,认为数字信息通信技术产业可以通过使用互联网平台减少其他产业的碳排放,数字化和低碳化之间存在互相促进和同步转型的可能<sup>[5]</sup>。此外,不少学者从数字化基础设施、数字化服务应用和数字产业结构等多重维度对数字经济水平进行了测度,并进一步分析了数字经济对碳排放的影响,普遍认为数字经济对降低碳排放有积极影响<sup>[6-10]</sup>。

关于农业碳减排的研究则整体较为成熟,主要集中在两方面,一是关于农业碳减排的测算和分析。早期的研究主要是对农业碳排放进行测算。West等利用碳循环分析方法从农药、化肥等农资投入视角对种植业的碳排放量进行了测算<sup>[11]</sup>;田云等基于农地投入利用、稻田种植、牲畜肠道发酵等16种碳源对中国种植业和畜牧业碳排放进行了测算,并进行了时空比较和脱钩分析<sup>[12]</sup>;还有学者采用全生命周期评价方法对畜牧业碳排放进行了测算和分析<sup>[13]</sup>。随着研究的深入,测算方法更加全面和科学,在测算农业能源产生的碳排放方面,除了考虑农用柴油这一农业能源,原煤、洗精煤和电力等12种能源也被考虑进来<sup>[14]</sup>。二是关于农业碳减排的影响因素分析。主要涉及农业经济增长<sup>[15]</sup>、农业技术进步<sup>[16-17]</sup>、农业机械化<sup>[18]</sup>、农户专业化<sup>[19]</sup>、城镇化<sup>[20]</sup>、产业集聚<sup>[21]</sup>、农地经营规模<sup>[22]</sup>、环境规制<sup>[23]</sup>、共同农业政策<sup>[24]</sup>、农业碳市场项目<sup>[25]</sup>、农业生产模式<sup>[26-27]</sup>等。

纵览以上文献可知,关于数字化与碳减排、农业碳减排的研究逐渐成熟,为后续研究奠定了良好基础,但还存在一些不足,需要继续深入推进:第一,关于数字化与碳减排的研究聚焦在二、三产业,在农业领域的研究较少;第二,关于数字化指标选择方面,既有研究主要从数字化基础设施、数字化通信工具、数字通信技术产业和数字经济等视角分析数字化的影响,鲜有研究从乡村数字化视角进行分析;第三,关于农业碳减排影响因素的研究,也较少有讨论乡村数字化这一影响因素。基于此,本文以全国30个省(市、区)为研究对象,在构建乡村数字化和农业碳减排指标体系的基础上,分析乡村数字化对农业碳减排影响的产业差异和区域差异。

## 一、指标构建、实证模型与数据来源

### 1. 指标构建

(1)乡村数字化水平指标构建。关于数字化水平指标构建,数字化基础设施和数字化应用服务是两个最重要的方面,数字化基础设施主要涉及互联网普及率、移动电话普及率、光纤长度等方面,数字化应用服务主要涉及电子商务规模、数字电子政务、人工智能化程度等方面。目前关于数字化指标的研究逐渐成熟,但关于乡村数字化的研究则有待于进一步完善,根据金绍荣等的研究<sup>[28]</sup>,乡村数字化是乡村信息化的进阶,因此乡村信息化指标对于构建乡村数字化指标具有一定的借鉴价值。本文根据相关数字化指标<sup>[29-32]</sup>和乡村信息化指标<sup>[33-34]</sup>的研究,以及考察期内数据的可获取性,从乡村数字化基础设施和乡村数字化服务水平这两个方面对乡村数字化水平指标进行构建。一级指标由乡村数字化基础设施和乡村数字化服务水平构成,乡村数字化基础设施由乡村移动电话数量、乡村电视机数量和乡村计算机数量这三个二级指标构成,其中,关于乡村电视机数量这个指标,农村互联网接通后在信息获取方面发挥的作用可能会减少,但仍然是农村家庭比较常见的一个信息工具来源,而根据中国互联网络信息中心(CNNIC)发布的《中国互联网络发展状况统计报告》,直到2021年12月我国所有行政村才全面实现“村村通宽带”,在宽带接通之前电视机是农村家庭获取信息的一个重要渠道,因此本文把这个指标纳入进来。乡村数字化服务水平由乡村数字服务消费水平和乡村物联网等数字技术应用水平这两个二级指标构成(具体见表1)。关于乡村数字化基础设施指标测度,

由于目前公开数据中省级农村互联网宽带用户数据是从2011年才开始统计,因此本文没有考虑农村互联网宽带用户这一指标。

本文使用熵值法对乡村数字化指标体系进行构建,熵值法可以避免人为主观因素等影响,根据各指标所对应的客观环境信息以及变异程度来确定各指标权重,具有一定的科学性。由表1可知,乡村数字化各指标的权重值大小为:乡村数字服务消费水平(0.397)>乡村移动电话数量(0.213)>乡村物联网等数字技术应用水平(0.191)>乡村计算机数量(0.150)>乡村电视机数量(0.050),这说明乡村数字服务消费支出越大,则该地的乡村数字化水平越高。农村居民进行数字信息交流的主要工具是移动电话,其次才是计算机,电视在数字信息交流中发挥的效用较小。乡村物联网等数字技术应用水平所占权重也较高,仅次于移动电话数,说明应该在乡村大力发展物联网技术,促进乡村数字化水平提升。

表1 乡村数字化指标体系及权重

一级指标	二级指标	测算方法	权重
乡村数字化 基础设施	乡村移动电话数量	农村居民平均每百户移动电话数	0.213
	乡村电视机数量	农村居民平均每百户彩色电视机数	0.050
	乡村计算机数量	农村居民每百户计算机数	0.150
乡村数字化 服务水平	乡村数字服务消费水平	农村居民人均交通通讯费支出/元	0.397
	乡村物联网等数字技术应用水平	农村居民邮政投递线路/千米	0.191

(2)农业碳减排指标构建。本文分别对种植业和畜牧业的碳减排指标进行构建,分产业分析乡村数字化对农业碳减排的影响,种植业和畜牧业是农业生产中最重要的两大产业,具有较强的代表性。本文中的农业碳减排就是指减少农业生产中所产生的二氧化碳温室气体排放量,降低对农业生态环境的危害,种植业具有碳汇和碳源双重属性,碳汇可以抵消一部分温室气体排放给农业生态环境带来的不利影响,因此本文种植业碳减排指标用种植业净碳汇表示,畜牧业是农业生产中最大的碳排放源,畜牧业碳减排指标用畜牧业碳排放量衡量。

种植业是一个特殊的产业。一方面,在农作物的生长过程中可以产生碳汇;另一方面,农药、化肥等石化生产资料的投入会产生大量温室气体。当种植业碳排放量等于碳汇量时,仅用碳排放量是否降低来衡量种植业碳减排指标是不科学的,具有一定的片面性,因此本文种植业中衡量碳减排的指标用种植业净碳汇数量表示,种植业净碳汇是指农作物碳汇量与碳排放量之间的差值。本文估算种植业净碳汇的农作物品种有水稻、小麦、玉米、豆类、薯类、油菜、花生、棉花、甘蔗、甜菜、蔬菜、瓜果和药材等,种植业净碳汇计算公式如下:

$$C_t = \sum_{i=1}^k C_i = \sum_{i=1}^k r_i y_i (1 - \omega_i) / EC_i \quad (1)$$

式(1)中, $C_t$ 表示农作物碳吸收总量, $i$ 表示农作物类型; $C_i$ 、 $r_i$ 、 $y_i$ 、 $\omega_i$ 和 $EC_i$ 分别表示某种农作物的碳吸收量、碳吸收率、产量、经济产品部分的含水量和经济系数,其中,碳吸收率、经济部分的含水量和经济系数参考田云等<sup>[35]</sup>的研究。

农作物碳排放由三部分组成,一是化肥、农药、农膜、地膜等农用物资投入所产生的农业直接碳排放,以及农业机械使用柴油和农业土地灌溉所产生的农业间接碳排放,具体农用物资、碳排放系数和计算方法参考田云等<sup>[36]</sup>的研究;二是水稻在不同生长周期过程中所产生的 $CH_4$ 排放量,具体 $CH_4$ 排放系数和计算方法参考闵继胜等<sup>[37]</sup>的研究;三是农田所引发的 $N_2O$ 排放量,具体 $N_2O$ 排放系数和计算方法参考闵继胜等<sup>[37]</sup>的研究。农作物碳排放测算公式如下所示:

$$E_t = \sum_{i=1}^k E_i = \sum_{i=1}^k T_i \delta_i \quad (2)$$

式(2)中, $i$ 表示碳源种类, $k$ 表示碳源数量, $E_t$ 表示碳排放总量, $E_i$ 表示各类碳源的碳排放数量, $T_i$ 表示各类碳源数量, $\delta_i$ 为各类碳源的碳排放系数。

畜牧业生产碳减排指标用畜禽胃肠道发酵和畜禽粪便管理系统所产生的 $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ 等两种温室气体加总转换成二氧化碳的数量表示,各类畜禽品种主要包括牛(黄牛、水牛和奶牛)、羊(山羊和绵羊)、猪、马、驴、骡、骆驼及家禽等品种,具体各畜禽品种的碳排放系数和计算方法参照闵继胜等<sup>[37]</sup>的相关研究, $\text{CH}_4$ 和 $\text{N}_2\text{O}$ 排放量折算成碳排放量的具体折算标准<sup>①</sup>参考田云等<sup>[36]</sup>的研究。

## 2. 实证模型

本文分别以种植业净碳汇和畜牧业碳排放为被解释变量,以乡村数字化为核心解释变量,人力资本水平为门槛变量,构建门槛面板回归模型分析乡村数字化对农业碳减排的影响。由于在农业生产中,农业劳动力是先进数字技术的使用者和收益者,只有人力资本水平较高的劳动者才会更好地利用数字工具为农业生产服务<sup>[37]</sup>,因此选择人力资本水平为门槛变量,所构建的门槛面板回归模型如下:

$$Y_{it} = \beta_1 DIG_{it} \times I(HUM_{it} \leq \gamma_1) + \beta_2 DIG_{it} \times I(\gamma_1 < HUM_{it} \leq \gamma_2) + \dots + \beta_n DIG_{it} \times I(\gamma_{n-1} < HUM_{it} \leq \gamma_n) + \beta_{n+1} DIG_{it} \times I(HUM_{it} > \gamma_n) + \theta X_{it} + \mu_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

式(3)中 $Y$ 表示种植业净碳汇和畜牧业碳排放; $i$ 表示省份; $t$ 表示时间; $HUM_{it}$ 表示 $i$ 省份 $t$ 时间的人力资本水平,用人均受教育年限表示; $DIG_{it}$ 表示 $i$ 省份 $t$ 时间的乡村数字化水平, $X_{it}$ 表示财政支农力度、城镇化率、产业结构和经济发展水平等控制变量, $\theta$ 表示控制变量的回归系数, $\mu_i$ 表示个体固定效应; $\varepsilon_{it}$ 表示随机扰动项; $r_1, r_2, \dots, r_n$ 表示 $n$ 个门槛值; $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$ 表示与门槛变量相对应的 $n$ 个变量系数。各控制变量解释如下:

(1)财政支农力度。相关研究表明政府的农业财政支持力度对于国家农业保护和支持非常重要,特别是在农业生态环境治理领域,化肥农药减量行动推行、畜禽粪便资源化处理、作物秸秆和地膜回收利用、以及农业污染水源和重金属污染耕地治理等环境治理活动都离不开国家财政的投入和支持<sup>[38]</sup>,因此本文将其作为控制变量,用农业财政支出占财政总支出比重来表示。

(2)城镇化水平。根据相关研究<sup>[39]</sup>,城镇化不仅意味着农村人口逐渐向城镇转移,还意味着城镇制度、方法、规划,以及人口意识、行动和生活方式也会逐渐从城镇向农村扩散,对农村各个方面产生影响,因此随着城镇水平的提升,人口素质的提高,农村相关环保制度的完善,农村地区的环保理念和行为也会相应发生改变,从而也会对农村地区的生态环境产生影响,因此本文将其也作为控制变量,用城镇人口占总人口之比来表示。

(3)产业结构水平。相关文献表明<sup>[40]</sup>,第一产业占国家GDP比重反映了该地区的农业生产地位,第一产业占比越大,该地区的农业生产地位也就越重要,相应也会更加重视治理农业生态环境,因此本文将其作为控制变量,用第一产业产值占国家GDP总值比重来表示。

(4)经济发展水平。关于经济发展和生态环境保护,一个地区在经济发展水平较低的阶段,会以牺牲资源环境为代价来换取经济增长,但当经济水平发展到一定阶段,人民物质生活需求得到满足后,经济增长的同时会更加注重保护生态环境<sup>[33]</sup>,因此本文将其作为控制变量,表示一个地区经济发展的规模、速度和水准,用人均GDP表示。

## 3. 数据来源

本文的研究样本为2003—2018年不包含港、澳、台及西藏在内的全国30个省(市、自治区),研究区域为东部、中部和西部地区<sup>②</sup>,这三个区域是根据地理位置、风俗特点和经济发展水平来进行划分,是1986年全国人大六届四次会议通过的“七五”计划公布的地区类型。乡村数字化指标构建数据、农业碳减排指标构建数据和实证模型所涉及的各项数据来自《中国统计年鉴》和《中国农村统计年鉴》,各变量数据的描述性统计分析见表2。

① 1t  $\text{CH}_4$ 和1t  $\text{N}_2\text{O}$ 所产生的温室效应折合成二氧化碳分别为25t(约6.818tC)和298t(约181.273tC)。

② 东部地区为京、闽、粤、琼、冀、苏、辽、鲁、沪、津、浙等11省(市),中部地区为徽、豫、黑、鄂、湘、吉、赣、晋等8省,西部地区为甘、桂、黔、蒙、宁、青、陕、川、滇、渝、新等11省(市)。

表2 各变量描述性统计

变量	均值	最大值	最小值	标准差
种植业净碳汇/万吨	1563.330	6849.110	-9.740	1503.139
畜牧业碳排放/万吨	318.751	1196.130	11.316	230.564
乡村数字化水平	0.925	1.228	0.663	0.124
人力资本水平/年	8.673	12.697	5.438	1.063
财政支农力度/%	0.100	0.300	0.150	0.037
城镇化水平/%	52.371	99.396	21.043	14.939
产业结构水平/%	11.287	34.216	0.300	6.106
经济发展水平/元	35826.320	140211.000	3011.000	26214.780

## 二、研究结果分析

### 1. 乡村数字化水平与农业碳减排之间的动态关系分析

本文选择脉冲响应函数来分析乡村数字化水平与农业碳减排之间的动态关系,以乡村数字化水平为自变量,分别以种植业净碳汇和畜牧业碳排放为因变量,建立二者之间的VAR模型,并进行脉冲响应分析,将2003—2018年划分为16个时期,乡村数字化水平对种植业和畜牧业农业碳减排冲击所引起的脉冲响应如图1所示。

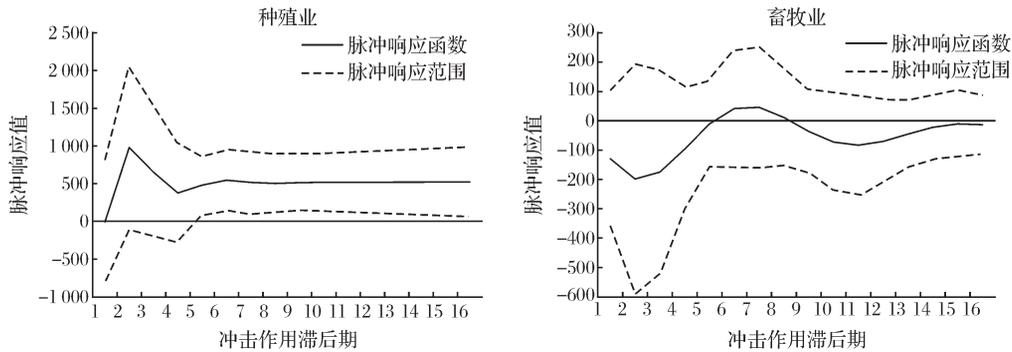


图1 乡村数字化水平冲击引起的农业碳减排波动响应

就种植业而言,在乡村数字化的冲击下,整个考察期种植业净碳汇呈现出稳定的正面响应。在第2期(2004年)正冲击达到最大值,随后正冲击开始减弱,第4期后正冲击开始增强,第6期(2008年)后正面冲击开始趋于一个稳定值。上述分析表明,乡村数字化水平的提升有利于增加种植业净碳汇。事实上,随着乡村数字化水平的提高,国家出台的一系列优惠农业政策能够迅速传到千家万户,有助于提高农民的种粮积极性,特别是2004年农业税取消后,粮食播种面积进一步扩大,粮食碳汇随着增加,乡村数字化对种植业净碳汇的正向影响也开始趋于稳定。

对于畜牧业而言,在乡村数字化的冲击下,整个考察期畜牧业碳排放呈现出波动式正负交替响应,并主要呈现出负面响应。但从后期趋势来看,响应程度要低于种植业,这说明长期来看乡村数字化对种植业的冲击要大于畜牧业。从第1期(2003年)到第5期(2008年),受到乡村数字化的冲击,畜牧业碳排放呈现出负响应,但响应强度逐渐减弱,从第5期(2008年)到第8期(2011年)转为正响应,第8期(2011年)后一直呈现负响应,响应程度逐渐减弱,2016年后逐渐趋于稳定。这意味着,乡村数字化水平的提升整体上有利于降低畜牧业碳排放。特别是,2011年后国家整体和社会各个层面对环境保护问题愈发重视,大力推进生态文明建设,《中华人民共和国环境保护法》和《中华人民共和国环境保护税法》等保护环境的法律也相继出台。在此背景下,乡村数字化对畜牧业碳排放的影响开始趋于稳定,这也反映出环境管制的重要性。作为农业高污染产业,国家近年来对畜牧业大力管制。

从政策信息传递视角来看,乡村数字化水平提升有利于向对应主体迅速传递相关环境保护政策,促使其积极碳减排。

## 2. 乡村数字化对农业碳减排影响的实证结果分析

(1) 门槛效应检验。根据式(3),模型分别以种植业净碳汇和畜牧业碳排放为因变量,从全国、东部、中部和西部等层面进行门槛效应检验,以便确定门槛值数量和门槛模型的具体形式,检验结果如表3所示。先对种植业进行单门槛检验,结果显示全国、东部、中部和西部地区门槛效应检验的 $F$ 值分别为32.85、8.06、4.37和23.00, $P$ 值分别为0.008、0.720、0.863和0.073,全国层面和西部地区拒绝原假设,存在单门槛。然后对种植业进行双门槛检验,四个区域层面的 $F$ 值分别为19.71、16.32、9.63和5.06, $P$ 值分别为0.170、0.091、0.0833和0.633,东部和中部拒绝原假设,存在双门槛。

就畜牧业的门槛检验而言,先进行单门槛检验分析,结果显示全国、东部、中部和西部地区单门槛效应检验的 $F$ 值分别为33.19、18.79、47.32和7.12, $P$ 值分别为0.029、0.080、0.000和0.620,全国、东部和中部地区拒绝原假设,存在单门槛。然后对畜牧业进行双门槛检验,四个区域层面的 $F$ 值分别为18.62、9.12、13.79和20.37, $P$ 值分别为0.098、0.259、0.203和0.083,全国和西部地区拒绝原假设,存在双门槛。

综上,在种植业方面,需要对全国层面和西部地区采用单门槛模型进行计量分析,东部和中部地区则采用双重门槛模型进行计量分析。在畜牧业方面,东部和中部地区需要采用单门槛模型进行计量分析,西部地区则采用双门槛模型进行计量分析,对于全国而言层面,两种模型都可以采用,但由于单模型的 $P$ 值更显著,因此全国层面采用单门槛模型进行计量分析。

表3 人力资本水平门槛变量的门槛效应检验结果

地区	产业	模型	临界值				
			$F$ 值	$P$ 值	1%	5%	10%
全国	种植业	单一门槛	32.850	0.076	51.235	36.902	29.882
		双重门槛	19.710	0.170	41.397	26.792	21.993
	畜牧业	单一门槛	33.190	0.029	39.249	29.278	24.625
		双重门槛	18.620	0.098	41.631	23.572	18.243
东部	种植业	单一门槛	8.060	0.720	47.141	34.053	28.849
		双重门槛	16.320	0.091	18.621	22.664	30.371
	畜牧业	单一门槛	18.790	0.080	29.157	21.865	17.483
		双重门槛	9.120	0.259	22.176	16.909	13.644
中部	种植业	单一门槛	4.370	0.863	31.436	23.910	20.244
		双重门槛	9.630	0.083	18.777	13.762	10.864
	畜牧业	单一门槛	47.320	0.000	28.164	18.260	15.580
		双重门槛	13.790	0.203	41.319	23.252	20.002
西部	种植业	单一门槛	23.000	0.073	33.453	26.126	20.535
		双重门槛	5.060	0.633	62.493	43.708	31.911
	畜牧业	单一门槛	7.120	0.620	35.773	27.476	22.053
		双重门槛	20.370	0.0833	23.151	18.394	14.637

(2) 门槛值筛选结果分析。门槛效应检验通过后,对门槛模型中的门槛值进行筛选和识别,人力资本水平门槛值的点估计值和对应的95%置信区间如表4所示。对于种植业而言,全国、东部、中部和西部地区的门槛估计值分别为9.343、9.015、8.463和9.348,对于畜牧业而言,全国、东部、中部和西部地区的门槛估计值分别为8.289、8.239、8.289和7.000,处于所对应的置信区间内,似然比值都小于

5%显著性水平的临界值,因此门槛估计值真实有效。可以发现,相对畜牧业,种植业对人力资本水平门槛值的要求更高。可能的原因是,我国种植业目前以小农分散经营为主,农民个体既是决策者也是经营者,而我国畜牧业目前以规模经营为主,分散经营为辅,是否应用先进生产技术主要由组织管理者来决策,因此在种植业领域是否能够实现碳减排改善种植业生态环境,相比畜牧业而言,该领域对劳动者自身素质要求更高。

表4 人力资本水平门槛值的筛选结果

地区	产业	门槛变量	模型	门槛估计值	95%置信区间
全国	种植业	人力资本水平	单重门槛	9.343	[9.293,9.352]
	畜牧业	人力资本水平	单重门槛	8.289	[8.273,8.310]
东部	种植业	人力资本水平	双重门槛	9.015	[8.961,9.030]
	畜牧业	人力资本水平	单重门槛	8.239	[8.214,8.253]
中部	种植业	人力资本水平	双重门槛	8.463	[8.350,8.503]
	畜牧业	人力资本水平	单重门槛	8.289	[8.230,8.313]
西部	种植业	人力资本水平	单重门槛	9.348	[9.288,9.354]
	畜牧业	人力资本水平	双重门槛	7.000	[6.857,7.028]

(3)门槛回归结果分析。在人力资本水平门槛值确定后,从全国、东部、中部和西部层面对种植业和畜牧业分别进行门槛回归估计,本文先重点分析乡村数字化水平的影响,然后再分析控制变量的影响,估计结果如表5所示:

从全国层面来说,乡村数字化水平提升可以显著促进农业碳减排,有助于增加种植业净碳汇,降低畜牧业碳排放。乡村数字化水平对畜牧业的影响要受到人力资本水平的制约,对种植业的影响则不需要。在全国层面,乡村数字化水平对种植业净碳汇在1%的水平上有正向显著影响,但当人均受教育年限超过9.34年时,乡村数字化水平的正向显著影响会增强。对于畜牧业,只有当人均受教育年限超过8.29年时,乡村数字化水平才会对畜牧业碳排放在10%的水平上产生负向显著影响,乡村数字化水平提升才可以促进畜牧业碳排放降低。这意味着,乡村数字化水平对种植业的影响更大,而且对种植业净碳汇的影响不受人力资本水平的制约,但当受教育年限超过一定年限时,农业数字化的影响会更大。乡村数字化水平对畜牧业碳排放的影响则要受到人力资本水平的制约,只有人均受教育年限超过8.29年时,乡村数字化水平才会显著降低畜牧业碳排放。可能的原因是,我国目前的种植业生产领域数字化技术应用范围还比较小,仅在新疆、东北等大面积规模化生产区域和东部部分省份有所应用,而畜牧业生产领域的数字化技术应用范围则要高于种植业,因此在种植业生产领域数字化技术应用所产生的边际效用要高于畜牧业,影响也会更大。由于畜牧业主要以企业规模化养殖为主,在运用数字化技术对规模化养殖进行管理时,需要参与者具有一定的受教育水平,因此在畜牧业生产领域,只有人力资本水平达到一定程度时乡村数字化才会产生效用。

乡村数字化水平对农业碳减排的影响存在地区差异和产业差异。具体而言,乡村数字化有利于增加东部地区种植业净碳汇,降低东部和中部畜牧业碳排放量,但对中西部种植业的净碳汇和西部畜牧业的碳排放量则没有影响。分地区而言,乡村数字化水平对东部地区种植业在5%的水平上产生正向显著影响,当人均受教育年限超过9.02年时,乡村数字化水平的正向显著影响会增强,但对其他地区不显著。可能的原因是,东部沿海地区经济比较发达,乡村数字化基础设施建设比较早,而且农民自身素质也比较高,思想比较开放,更容易接受先进农业种植技术和种植理念。相对而言,中西部地区数字化基础设施建设较晚,农民观念较传统,因此乡村数字化水平提升更容易促进东部地区种植业净碳汇增加,如:浙江省2003年在全国率先提出的“美丽乡村”建设,近两年又提出实施推进乡村数字化转型,在很多方面已经走在全国前列,成为各省的学习样本。对于畜牧业,乡村数字化水平对东部地区和中部地区畜牧业碳排放分别在10%和5%水平上负向显著,当东中部地区人均受教育

年限分别跨越8.24年和8.29年时,乡村数字化可以显著促进畜牧业碳排放降低,但对西部地区不显著。可能原因是,目前我国知名大规模畜牧企业主要分布在东部和中部,而西部地区畜牧业以分散传统养殖居多,随着国家对畜牧业污染排放物管制的加强,相对小规模养殖户而言,各畜牧企业在响应国家政策治理畜牧业污染方面会更加积极,随着企业管理的数字化智能化,乡村数字化水平的上升有助于企业更好地与畜牧业生产源头衔接,管控畜牧业污染物排放。

财政支农力度的增加有助于农业碳减排。财政支农比例上升可以大幅度促进种植业净碳汇增加和畜牧业碳排放降低,财政支农比例变量除对西部地区畜牧业碳排放变量不显著外,对其它区域各变量都显著。在种植业领域,财政支农变量对全国、东部、中部和西部区域种植业净碳汇变量都在10%水平上正向显著,在畜牧业领域,财政支农变量对全国层面畜牧业碳排放变量在5%的水平上负向显著,对东中部区域则在10%的水平上负向显著,但财政支出对种植业的影响程度要高于畜牧业。上述结果说明了国家财政对农业支持的重要性,数字化基础设施建设离不开国家财政的大力支持,这也是由农业的先天弱质性所决定的,农业较为依赖自然环境,而且容易受国家政策的影响,在农业环境污染治理等“三农”难点和痛点上,更离不开国家财政的大力支持和推进。

其他控制变量对农业碳减排的影响。相对于乡村数字化水平和财政支农变量,其他变量的影响较小。城镇化水平变量对东部地区种植业净碳汇变量在10%水平上正显著,对其他地区不显著,城镇化水平每增加1%,会促进东部种植业净碳汇增加13.23%,可能的原因是东部省份农业种植业现代化水平较高,对农业劳动力的依赖程度逐步降低,农村劳动力转移有利于土地流转和规模化经营,扩大农作物播种面积和增加农作物产量,增加种植业净碳汇;城镇化水平变量对全国畜牧业碳排放变量在1%水平上负显著,对东部和西部地区则在5%的水平上负向显著,城镇化水平每增加1%,可以促进全国、东部和西部地区畜牧业碳排放分别降低1.843%、2.246%和6.530%,这说明东西部城镇化水平提高有利于降低畜牧业碳排放。东部地区产业结构变量对东部地区种植业和畜牧业分别在5%的水平上正向显著和1%的水平上负向显著,但对其他地区不显著。这说明第一产业占比的提升有助于改善东部农业生态环境。经济发展水平变量对中部地区畜牧业碳排放变量在5%的水平上正向显著,但对其他地区都不显著,经济发展水平变量每上升1%,中部地区畜牧业碳排放仅增加0.002%。

表5 门槛回归模型估计结果

解释变量	全国		东部地区		中部地区		西部地区	
	种植业	畜牧业	种植业	畜牧业	种植业	畜牧业	种植业	畜牧业
<i>DIG1</i>	1903.535*** (2.870)	-91.239 (-0.910)	1089.666** (2.610)	-99.033 (-0.730)	2117.218 (0.700)	-338.765 (-1.700)	1089.427 (1.120)	128.921 (0.620)
<i>DIG2</i>	2204.649*** (3.010)	-149.584* (-1.580)	1213.926** (2.890)	-150.103* (-1.560)	2661.124 (0.950)	-497.723** (-2.010)	1523.675 (1.740)	73.961 (0.330)
<i>SUP</i>	3333.648* (1.770)	-625.703** (-2.470)	2205.797* (1.890)	-1433.967* (-2.040)	6648.857* (1.970)	-838.154* (-2.340)	2080.794* (1.860)	-281.213 (-1.040)
<i>UR</i>	0.616 (0.130)	-1.843*** (-2.990)	13.230* (2.060)	-2.246** (-2.660)	3.446 (0.530)	-2.114 (-1.530)	-13.893 (-0.800)	-6.530** (-2.380)
<i>STRU</i>	-4.958 (-0.200)	2.4248 (0.690)	47.771** (3.090)	-6.515*** (-4.000)	29.850 (0.470)	1.850 (0.420)	-30.842 (-1.55)	7.060 (0.990)
<i>GDP</i>	-0.004 (-1.370)	0.001 (0.190)	-0.002 (-1.090)	0.001 (0.170)	0.012 (0.960)	0.002** (2.500)	0.004 (0.750)	0.002 (1.330)
<i>C</i>	-326.506* (-1.530)	210.218* (1.630)	-1026.654* (-1.570)	357.418* (1.710)	-1682.846* (-1.400)	16.493* (1.860)	1819.951** (2.270)	225.596* (1.640)

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示在1%、5%和10%的水平上显著,括号里为*t*值。

### 三、结论与建议

#### 1. 研究结论

本文以30个省(市、自治区)为研究对象,在构建乡村数字化和农业碳减排指标体系的基础上,分析乡村数字化对农业碳减排影响的产业差异和区域差异。研究结论如下:

(1)乡村数字化对农业碳减排的动态影响呈现出产业差异。具体而言,受到乡村数字化的冲击后,整个考察期种植业净碳汇呈现出稳定的正面响应,但畜牧业碳排放呈现出波动式正负交替响应,总体为负面响应,从后期趋势来看乡村数字化对种植业的冲击力度要大于畜牧业。

(2)乡村数字化水平提升可以显著促进全国层面农业碳减排,但乡村数字化水平对畜牧业的影响则受到人力资本的制约,对种植业的影响则不会受到制约。具体来说,无论人力资本水平是否跨越门槛值乡村数字化对种植业净碳汇都有显著正影响,可以促进种植业净碳汇增加,而对畜牧业来说,人力资本水平只有跨越了门槛值,乡村数字化才能促进畜牧业碳排放降低,而且乡村数字化对全国种植业净碳汇的影响要大于对畜牧业碳排放的影响。

(3)乡村数字化水平对农业碳减排的影响存在地区和产业差异,有利于增加东部地区种植业净碳汇,降低东部和中部畜牧业碳排放量,但对中西部种植业和西部畜牧业碳排放没有影响。具体就种植业而言,无论人力资本水平是否跨越门槛值,乡村数字化水平提升对东部地区种植业净碳汇都有显著正向影响,但对中西部地区没有影响。就畜牧业而言,当人力资本水平跨越门槛值后,乡村数字化水平提升对东部和中部畜牧业碳排放有显著负向影响,但对西部地区没有影响。

(4)财政支农力度的增加有助于农业碳减排。具体而言,财政支农比例的增加可以大幅度促进种植业净碳汇增加和畜牧业碳排放降低,财政支农比例变量除对西部地区畜牧业碳排放变量不显著外,对其他区域各变量都显著。

#### 2. 政策建议

乡村数字化水平提升可以显著促进全国层面农业碳减排,分区域来看对东中部地区的影响要大于西部地区。从长远影响而言,乡村数字化水平提升对种植业的影响则要大于畜牧业,基于此,本文提出几点建议:

第一,进一步推动数字乡村建设,充分挖掘和发挥数字要素在农业碳减排领域的生产力。在种植业领域要开始大面积推广精准施肥、智慧灌溉、环境控制、植保无人机等数字化技术和装备,在畜牧业要推动数字化技术和规模化、标准化同步推进,加快农业数据的优化、存储和整理,提高数字化技术在种植业和畜牧业碳减排领域的应用水平,赋能农业低碳生产智能化管理,实现农业生产过程管理的可视化和产品品质可控化,以乡村数字化为抓手推动农业生产低碳转型。

第二,培育乡村数字化人才队伍,提升农村人力资本水平,赋能农业碳减排。政府可以联合高校和企业在农村以县域为单位建立数字农业技术培训基地,定期举办数字农业技术培训,提高农民的数字农业生产和低碳生产意识,重点加强新型农业经营主体的培训,发挥新型农业经营主体的示范带头作用。针对农村老龄化群体,可以以农村电子政务平台、数字化媒体和网络教育为载体,定期举办针对老龄群体的培训,减少老龄务农群体的数字鸿沟,提升其数字红利,助推传统农业低碳转型。

第三,建立区域共享协作机制,因地制宜推进乡村数字化建设。要坚持全国一盘棋,加强各地区的经验交流和知识共享,因地制宜有序推动乡村数字化。其中,东部地区要发挥科技、人才和经济优势,辐射带动中西部地区借助数字化技术工具推动农业生态环境治理,中西部地区要依托国家新基建、东数西算、生态文明建设等政策,吸引东部资本和人才参与中西部地区乡村数字化建设和农业低碳生产活动。

## 参 考 文 献

- [1] 董梅生,杨德才.工业化、信息化、城镇化和农业现代化互动关系研究——基于VAR模型[J].农业技术经济,2014(4):14-24.
- [2] 薛飞,周民良,刘家旗.数字基础设施降低碳排放的效应研究——基于“宽带中国”战略的准自然实验[J].南方经济,2022(10):19-36.
- [3] 韩晶,姜如玥,孙雅雯.数字服务贸易与碳排放——基于50个国家的实证研究[J].国际商务(对外经济贸易大学学报),2021(6):34-49.
- [4] 廖珍珍,茹少峰.数字金融发展对二氧化碳排放增减叠加效应的理论分析与实证检验[J].经济问题探索,2022(9):117-132.
- [5] HE K, LI F L, WANG H, et al. A low-carbon future for China's tech industry[J]. Science, 2022, 377(6614): 1498-1499.
- [6] 金飞,徐长乐.数字经济发展对碳排放的非线性影响研究[J].现代经济探讨,2022(11):14-23.
- [7] 余群芝,吴柳,郑洁.数字经济、经济聚集与碳排放[J].统计与决策,2022,38(21):5-10.
- [8] 孔令英,董依婷,赵贤.数字经济发展对碳排放的影响——基于中介效应与门槛效应的检验[J].城市发展研究,2022,29(9):42-49,55.
- [9] 张争妍,李豫新.数字经济对我国碳排放的影响研究[J].财经理论与实践,2022,43(5):146-154.
- [10] 谢文倩,高康,余家凤.数字经济、产业结构升级与碳排放[J].统计与决策,2022,38(17):114-118.
- [11] WEST T O, MARLAND G. Net carbon flux from agricultural ecosystems: methodology for full carbon cycle analyses. [J]. Environmental pollution, 2002, 116(3): 439-444;
- [12] 田云,张俊飏,李波.中国农业碳排放研究:测算、时空比较及脱钩效应[J].资源科学,2012,34(11):2097-2105.
- [13] 姚成胜,钱双双,李政通,等.中国省际畜牧业碳排放测度及时空演化机制[J].资源科学,2017,39(4):698-712.
- [14] 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.
- [15] 吴贤荣,张俊飏.中国省域农业碳排放:增长主导效应与减排退耦效应[J].农业技术经济,2017(5):27-36.
- [16] 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.
- [17] 田云,尹恣昊.技术进步促进了农业能源碳减排吗?——基于回弹效应与空间溢出效应的检验[J].改革,2021(12):45-58.
- [18] 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.
- [19] 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的证据[J].自然资源学报,2016,31(3):468-476.
- [20] 武春桃.城镇化对中国农业碳排放的影响——省际数据的实证研究[J].经济经纬,2015,32(1):12-18.
- [21] 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.
- [22] 刘琼,肖海峰.农地经营规模影响农业碳排放的逻辑何在?——要素投入的中介作用和文化素质的调节作用[J].农村经济,2020(5):10-17.
- [23] 张金鑫,王红玲.环境规制、农业技术创新与农业碳排放[J].湖北大学学报(哲学社会科学版),2020,47(4):147-156.
- [24] CODERONI S, ESPOSTI R. CAP payments and agricultural GHG emissions in Italy: a farm-level assessment[J]. Science of the total environment, 2017, 627: 427-437.
- [25] LEE J. Farmer participation in a climate-smart future: evidence from the Kenya agricultural carbon market project[J]. Land use policy, 2017, 68: 72-79.
- [26] MUHAMMED S E, COLEMAN K, WU L, et al. Impact of two centuries of intensive agriculture on soil carbon, nitrogen and phosphorus cycling in the UK. [J]. Science of the total environment, 2018, 634: 1486-1504.
- [27] ADEWALE C, REGANOLD J P, HIGGINS S, et al. Improving carbon footprinting of agricultural systems: boundaries, tiers, and organic farming[J]. Environmental impact assessment review, 2018, 71: 41-48.
- [28] 金绍荣,任赞杰.乡村数字化对农业绿色全要素生产率的影响[J].改革,2022(12):102-118.
- [29] 郭彩霞,高媛.数字经济驱动低碳产业发展的机制与效应研究[J].贵州社会科学,2020(11):155-161.
- [30] 王军,朱杰,罗茜.中国数字经济发展水平及演变测度[J].数量经济技术经济研究,2021,38(7):26-42.
- [31] 张旺,白永秀.数字经济与乡村振兴耦合的理论构建、实证分析及优化路径[J].中国软科学,2022(1):132-146.
- [32] 邱子迅,周亚虹.数字经济发展与地区全要素生产率——基于国家级大数据综合试验区的分析[J].财经研究,2021,47(7):4-17.
- [33] 王艾敏.中国农村信息化存在“生产率悖论”吗?——基于门槛面板回归模型的检验[J].中国软科学,2015(7):42-51.
- [34] 高杨,牛子恒.农业信息化、空间溢出效应与农业绿色全要素生产率——基于SBM-ML指数法和空间杜宾模型[J].统计与信息论坛,2018,33(10):66-75.
- [35] 田云,张俊飏,吴贤荣,等.中国种植业碳汇盈余动态变化及地区差异分析——基于31个省(市、区)2000—2012年的面板数据[J].自然资源学报,2015,30(11):1885-1895.
- [36] 田云,张俊飏.中国省级区域农业碳排放公平性研究[J].中国人口·资源与环境,2013,23(11):36-44.
- [37] 闵继胜,胡浩.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,2012,22(7):21-27.

- [38] 韩海彬,张莉.农业信息化对农业全要素生产率增长的门槛效应分析[J].中国农村经济,2015(8):11-21.
- [39] 崔功豪,王本炎,查彦育.城市地理学[M].南京:江苏出版社,1992.
- [40] 赵丽平,侯德林,王雅鹏,等.城镇化对粮食生产环境技术效率影响研究[J].中国人口·资源与环境,2016,26(3):153-162.

## Can Rural Digitization Promote Agricultural Carbon Reduction?

ZHAO Liping, RAO Xi, DING Shijun

**Abstract** Digitization is the commanding height of agricultural modernization, and agricultural carbon reduction is the difficulty of the "three rural" issues. Studying the relationship between digitization and agricultural carbon reduction can help explore new paths for achieving carbon peaking and carbon neutrality goals in the field of agricultural production. Taking 30 provinces (cities and districts) in China from 2003 to 2018 as the research object, this paper explores the dynamic relationship between rural digitization level and agricultural carbon reduction based on the construction and measurement of indicators of both, and further analyzes the impact of rural digitization level on agricultural carbon reduction in different regions. The results show that the dynamic impact of rural digitization on agricultural carbon reduction varies across industries. Faced with the impact of rural digitization, the net carbon sink of planting industry shows a stable positive response throughout the entire investigation period, while the carbon emissions of animal husbandry generally shows an overall negative response. From a later trend perspective, the impact of rural digitization on planting industry is greater than that on animal husbandry. The improvement of rural digitization level can significantly promote the national agricultural carbon reduction, but the impact of rural digitization level on animal husbandry is constrained by the level of human capital, while its impact on planting industry is not constrained. There are regional and industrial differences in the impact of rural digitization on agricultural carbon reduction, which is beneficial for significantly increasing the net carbon sink of planting in the eastern region and significantly reducing the carbon emissions of animal husbandry in the eastern and central regions. However, it is not significant for the planting industry in the central and western regions, as well as the animal husbandry in the western region. 4) Increasing fiscal support for agriculture contributes to agricultural carbon reduction. Except for the insignificant impact on carbon reduction in the animal husbandry in the western region, fiscal support for agriculture is significant in reducing carbon emissions in other regions.

**Key words** rural digitization; agricultural carbon reduction; level of human capital; planting; animal husbandry

(责任编辑:金会平)