

DOI: 10.13733/j.jcam.issn.2095-5553.2025.08.042

潘经韬, 智瑞婷, 吴萍, 等. 农业生产性服务业对农业碳生产率的影响效应及门槛特征研究——基于30个省域面板的实证分析[J]. 中国农机化学报, 2025, 46(8): 316—323, 335

Pan Jingtao, Zhi Ruiting, Wu Ping, et al. Research on the impact effect and threshold characteristics of agricultural production services on agricultural carbon productivity: Empirical analysis based on 30 provincial panels [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2025, 46(8): 316—323, 335

农业生产性服务业对农业碳生产率的影响效应及 门槛特征研究*

——基于30个省域面板的实证分析

潘经韬^{1, 2}, 智瑞婷¹, 吴萍³, 李平^{1, 4}

(1. 湖北工业大学湖北工业研究院, 武汉市, 430068; 2. 湖北农村社会管理创新研究中心, 武汉市, 430068; 3. 农业农村部南京农业机械化研究所, 南京市, 210014; 4. 湖北农业装备制造产业发展研究中心, 武汉市, 430068)

摘要: 提高农业碳生产率对推动农业农村绿色发展具有重要意义。基于2007—2022年中国30个省份面板数据, 实证分析农业生产性服务业对农业碳生产率的影响效应及门槛特征。研究表明: 农业生产性服务业对农业碳生产率具有显著促进作用。农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用具有地区异质性, 农业生产性服务业对中部地区和粮食主产区的农业碳生产率的促进作用较强。农业生产性服务业对农业碳生产率的影响存在农地经营规模门槛和农村人力资本门槛。随着农地经营规模扩大和农村人力资本水平提高, 农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用逐渐增强。据此, 提出应健全绿色农业生产性服务体系、推动农业适度规模经营、加强农业低碳技术的培训与应用等对策建议。

关键词: 农业碳生产率; 农业生产性服务业; 农地经营规模; 农村人力资本; 门槛效应

中图分类号: F304.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-5553(2025)08-0316-09

Research on the impact effect and threshold characteristics of agricultural production services on agricultural carbon productivity: Empirical analysis based on 30 provincial panels

Pan Jingtao^{1, 2}, Zhi Ruiting¹, Wu Ping³, Li Ping^{1, 4}

(1. Hubei Industrial Research Institute, Hubei University of Technology, Wuhan, 430068, China;
2. Hubei Innovation Research Center of Rural Social Management, Wuhan, 430068, China;
3. Nanjing Institute of Agricultural Mechanization, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Nanjing, 210014, China;
4. Hubei Agricultural Equipment Manufacturing Industry Development Research Center, Wuhan, 430068, China)

Abstract: Improving agricultural carbon productivity is of great significance to promote the green development of agriculture and rural areas. Based on the panel data of 30 provinces in China from 2007 to 2022, this paper empirically analyzes the impact effect and threshold characteristics of agricultural production services on agricultural carbon productivity. The results show that: Agricultural productive services have a significant role in promoting agricultural carbon productivity. The promotion effect of agricultural productive services on agricultural carbon productivity is regionally heterogeneous, and the promotion effect of agricultural productive services on agricultural carbon productivity in central China and major grain producing areas is stronger. The impact of agricultural productive services on agricultural carbon

收稿日期: 2024年5月18日 修回日期: 2024年9月6日

* 基金项目: 教育部人文社会科学研究青年基金项目(23YJC790103); 农业农村部现代农业装备重点实验室开放课题; 湖北农业装备制造产业发展研究中心课题(CAEMI—2024Z2)

第一作者: 潘经韬, 男, 1992年生, 湖北监利人, 博士, 副教授; 研究方向为农业经济理论与政策。E-mail: 247829490@qq.com

通讯作者: 吴萍, 女, 1986年生, 江苏建湖人, 硕士, 副研究员; 研究方向为农业经济理论与政策。E-mail: wuping042@163.com

productivity has the threshold of farmland management scale and rural human capital. With the expansion of farmland management scale and the improvement of rural human capital, the role of agricultural productive services in promoting agricultural carbon productivity has gradually increased. Accordingly, countermeasures and suggestions such as improving the green agricultural production service system, promoting the moderate scale of land management, and strengthening the training and application of low-carbon agricultural technologies are proposed.

Keywords: agricultural carbon productivity; agricultural production services; farmland management scale; rural human capital; threshold effect

0 引言

改革开放以来,中国农业发展取得举世瞩目成就,随之而来的农业农村生态环境问题逐渐凸显,特别是农业碳排放问题引起广泛关注。据统计,我国碳排放总量的17%约来自农业生产活动^[1],农业绿色低碳发展的任务依然很艰巨。历年中央一号文件均对“农业绿色发展”进行相关部署,2024年中央一号文件明确强调“坚持绿色兴农”。由此,促进农业增产减排、提高农业碳生产率已成为实现农业绿色低碳发展的重要途径。作为衔接小农户与现代农业的关键纽带,农业生产性服务业可以有效整合生产要素^[2],促进投入品减量化^[3],推动农业农村绿色转型。那么,农业生产性服务业能否促进农业碳生产率提高?研究上述问题,对实现我国农业绿色低碳发展具有重要的理论与现实意义。

目前已有学者对农业碳生产率展开研究,一是农业碳生产率的测算与分析,如黄杰等^[4]从种植业角度测度种植业碳生产率,程琳琳等^[5]基于省域数据测度农业碳生产率并探讨其空间特征;二是农业碳生产率的影响因素,现有研究表明农村数字化发展^[6]、农业产业集聚^[7]、财政支农投入^[8]及城镇化^[9]等均对农业碳生产率具有正向促进作用。同时,关于农业生产性服务业的研究也颇为丰富,有学者对农业生产性服务业的内涵^[10]、演变轨迹^[11]及总结展望^[12]进行理论剖析,也有学者实证分析农业生产性服务业对种植结构^[13]、粮食生产^[14]、农业效率^[15]和产业结构升级^[16]的影响效应。此外,学者们也从农户化肥投入减量^[17]、农业碳减排^[18]、农业绿色生产率提升^[19]等方面探究农业生产性服务业对农业绿色发展的影响。综上,学者们针对农业碳生产率、农业生产性服务业及其对农业绿色发展等问题进行了深入研究,但鲜有文献探讨农业生产性服务业对农业碳生产率的影响效应。

鉴于此,本文基于2007—2022年省级面板数据,采用DDF—Malmquist指数测算农业碳生产率,实证考察农业生产性服务业对农业碳生产率的影响效应,并将均农地经营规模和农村人力资本作为门槛变量探究农业生产性服务业对农业碳生产率的非线性影响。

1 机理分析与研究假说

农业生产性服务业可能从2个方面影响农业碳生产率:一是专业化效应。农业生产性服务业的发展推动专业化服务组织与农业生产深度融合,加速农业分工深化和生产专业化,有助于优化配置农业要素投入和提升农业资源利用率^[20];通过服务外包、生产托管等形式带动小农户进行专业化生产,在促进农业节本增效的同时降低农业碳排放,进而推动农业绿色高效生产,为提高农业碳生产率创造可能。二是绿色技术效应。相比于小农户,专业化的服务组织在农业绿色技术的学习和应用方面具有明显优势,通过向小农户提供生产性服务有效降低和分摊农业绿色技术的使用成本,诱使小农户购买绿色技术服务而实现农业绿色生产^[21]。农业生产性服务业发展能够推动农业绿色技术应用于农业生产的各环节,进而提升农业碳生产率。综上,农业生产性服务业可以通过专业化效应和绿色技术效应提升农业碳生产率。由此,提出假说H1:农业生产性服务业可以促进农业碳生产率提高。

农地规模经营是农业生产性服务业发展的基础条件,农地经营规模程度会影响农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用。随着农地经营规模的扩大,农业生产性服务业更容易发挥其规模效应带动农业绿色生产。例如,土地集中连片种植更加便于服务组织开展统防统治、集中施肥等作业服务,进而降低化肥农药的施用强度,促进农业碳排放减少。在农地经营规模扩大到一定程度时可能会强化农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用。因此,提出假说H2:农业生产性服务业对农业碳生产率的影响存在农地经营规模门槛。

农村人力资本影响着农民对绿色技术服务的认知程度和接受程度,一定程度上也会影响农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用。当农村人力资本水平较低时,农民对绿色技术服务的认知度和接受度较低,使得农业绿色技术服务的推广和应用不充分,从而降低农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用。当农村人力资本水平较高时,农民对绿色技术服务的

认知度和接受度较高,在农业生产过程倾向采纳绿色技术^[22],有效促进绿色技术的成果转化,更好地发挥农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用。随着农村人力资本水平的积累,可能会强化农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用。基于此,提出假说H3:农业生产性服务业对农业碳生产率的影响存在农村人力资本门槛。

2 研究设计

2.1 农业碳生产率的测度

2.1.1 测度方法

参考黄伟华等^[8]方法,运用DDF函数和全局Malmquist指数测算农业碳生产率。以DDF模型为基础,定义 t 期到 $t+1$ 期的GML指数为

$$GML_t^{t+1} = \frac{1 + D^G(x^t, y^t; g^x, g^y)}{1 + D^G(x^{t+1}, y^{t+1}; g^x, g^y)} \quad (1)$$

式中: GML_t^{t+1} ——第 t 期到第 $t+1$ 期农业投入产出效率;

x ——投入变量;

y ——期望产出变量;

$D^G(x, y)$ ——全局方向性距离函数;

g^x —— x 的方向性向量;

g^y —— y 的方向性向量。

基于GML指数进一步计算得到农业碳生产率如式(2)所示。

$$AG_tfpch_t = \prod_t^{t+1} GML_t^{t+1} \quad (2)$$

式中: AG_tfpch_t ——第 t 期农业碳生产率。

2.1.2 测度指标选取

参考黄伟华等^[8]的研究,从投入和产出两方面构建农业碳生产率的测算指标体系,如表1所示。

表1 农业碳生产率的测算指标体系

Tab. 1 Measurement index system of agricultural carbon productivity

一级指标	二级指标	变量说明	单位
投入指标	化肥	化肥施用折纯量	10^4 t
	农药	农药使用量	10^4 t
	农业机械	农业机械总动力	10^4 kW
	农膜	农用塑料薄膜使用量	10^4 t
	农地	农作物总播种面积	khm ²
	农业从业人员	第一产业从业人员数乘以农业总产值占农林牧渔总产值的比重	万人
产出指标	农业碳排放	化肥、农药、农膜、柴油、灌溉及翻耕作业等6种碳排放源产生的碳排放量	10^4 t
	农业生产总值	以2006年为基期剔除价格波动因素影响	亿元

其中,农业碳排放总量测算如式(3)所示。

$$C = \sum_{i=1}^6 \beta_i I_i \quad (3)$$

式中: C ——农业碳排放总量;

β_i ——第 i 种碳排放源的碳排放系数;

I_i ——第 i 种碳排放源的使用总量。

其中碳排放系数参考李波^[23]、段华平^[24]等的研究,设定化肥、农药、农膜、柴油、灌溉及翻耕碳排放系数依次为0.8956 kg/kg、4.9341 kg/kg、5.18 kg/kg、0.5927 kg/kg、266.48 kg/hm²和312.6 kg/hm²。

2.2 模型构建

2.2.1 基准回归模型

为探究农业生产性服务业对农业碳生产率的影响效应,构建基准回归模型如(4)所示。

$$AG_tfpch_{i,t} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln AG_service_{i,t} + \alpha_2 controls_{i,t} + \mu_i + \epsilon_{i,t} \quad (4)$$

式中: $AG_tfpch_{i,t}$ —— t 年 i 省份的农业碳生产率;

$\alpha_0, \alpha_1, \alpha_2$ ——待估参数;

$AG_service_{i,t}$ —— t 年 i 省份的农业生产性服务业发展水平;

$controls_{i,t}$ —— t 年 i 省份的一系列控制变量;

μ_i —— i 省份的个体固定效应;

$\epsilon_{i,t}$ ——随机扰动项。

2.2.2 门槛回归模型

为探究农业生产性服务业对农业碳生产率是否存在农地经营规模门槛和农村人力资本门槛,本文以劳均农地经营面积($land_per$)和农村人力资本($educ$)作为门槛变量来构建面板门槛回归模型。式(5)为单重面板门槛回归模型。

$$AG_tfpch_{i,t} = \theta_0 + \theta_1 \ln AG_service_{i,t} \cdot I(threshold_{i,t} \leq \alpha) + \theta_2 \ln AG_service_{i,t} \cdot I(threshold_{i,t} > \alpha) + \theta_3 controls_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (5)$$

式中: $\theta_0, \theta_1, \theta_2, \theta_3$ ——估计参数;

$threshold_{i,t}$ —— t 年 i 省份的门槛变量;

α ——待检验门槛值;

$I(\cdot)$ ——指示性函数,当括号内相应条件成立时, $I(\cdot)=1$,否则 $I(\cdot)=0$ 。

式(6)为双重面板门槛模型。

$$AG_tfpch_{i,t} = \vartheta_0 + \vartheta_1 \ln AG_service_{i,t} \cdot I(threshold_{i,t} \leq \alpha_1) + \vartheta_2 \ln AG_service_{i,t} \cdot I(\alpha_1 < threshold_{i,t} \leq \alpha_2) + \vartheta_3 \ln AG_service_{i,t} \cdot I(threshold_{i,t} > \alpha_2) + \vartheta_4 controls_{i,t} + \epsilon_{i,t} \quad (6)$$

式中: $\vartheta_0, \vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3, \vartheta_4$ ——估计参数。

2.3 变量选择

1) 被解释变量:农业碳生产率(AG_tfpch),按照

前文测度方法运用 Dearun 软件计算得到。

2) 解释变量:农业生产性服务业发展水平 ($AG_service$),参考罗明忠等^[18]的研究选用单位播种面积的农林牧渔服务业总产值表示,并取对数以消除量纲影响。

3) 门槛变量:(1)劳均农地经营面积($land_per$),选用农作物总播种面积与农业从业人员数之比表示。(2)农村人力资本($educ$),选用农村居民受教育年限表示。

4) 控制变量:(1)财政支农(AG_fin),选用地方财政农林水事务支出占地方财政一般预算支出的百分比表示。(2)受灾情况(AG_dis),选用受灾面积占农作物总播种面积的百分比表示。(3)工业化水平($indus$),选用第二产业增加值占地区生产总值的百分比表示。(4)种植结构($plant$),选用粮食作物播种面积占农作物总播种面积的百分比表示。(5)农业产业结构($agrs$),选用农业总产值占农林牧渔总产值的

百分比表示。

2.4 数据来源

考虑到研究数据的科学性和可得性,使用2006—2022年投入产出数据以计算2007—2022年的农业碳生产率,其他变量数据均来自2007—2022年,最终构建2007—2022年中国30个省级(由于西藏和港澳台地区缺失数据较多,故不考虑)面板数据实证探究农业生产性服务业对农业碳生产率的影响效应。其中,测算农业碳排放的数据均来自国家统计局和历年《中国农村统计年鉴》;农林牧渔服务业总产值来自历年《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》;第一产业从业人员数据来自历年《中国农村经营管理统计年报》;农村居民受教育程度来自历年《中国人口和就业统计年鉴》;各控制变量数据均来自国家统计局;其中缺失数据选用均值法和插值法进行处理。各变量的描述性统计分析结果如表2所示。

表2 描述性统计分析结果

Tab. 2 Descriptive statistical analysis results

变量名称	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
农业碳生产率 AG_tfpch	480	1.501	0.487	0.679	3.007
农业生产性服务业发展水平 $AG_service/(元 \cdot hm^{-2})$	480	2 270.122	1 579.266	289.465	10 387.670
财政支农 $AG_fin/\%$	480	11.03	3.301	2.869	20.38
受灾情况 $AG_dis/\%$	480	17.56	14.26	0	69.59
工业化水平 $indus/\%$	480	41.82	8.350	15.97	61.96
种植结构 $plant/\%$	480	65.92	14.25	35.51	97.08
农业产业结构 $agrs/\%$	480	52.29	8.430	33.88	73.49
劳均农地经营面积 $land_per/(hm^2 \cdot 人^{-1})$	480	1.718	1.108	0.692	6.808
农村人力资本 $educ/年$	480	7.730	0.654	5.716	10.11

3 实证结果与分析

1) 基准回归结果分析。表3为农业生产性服务业影响农业碳生产率的基准回归结果,其中模型1~模型3分别为混合回归、固定效应和随机效应的估计结果。

由表3中模型1~模型3的回归结果可知,农业生产性服务业对农业碳生产率的影响估计系数分别为0.261、0.551和0.510,且通过1%水平的显著性检验,表明农业生产性服务业的发展可以显著促进农业碳生产率提高,假说H1得到证实。

2) 稳健性检验。为探究农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用是否稳健,本文使用更换解释变量、调整样本时间、缩尾处理和工具变量法等方法进行稳健性检验,回归结果如表4所示。

表4中模型4为更换核心解释变量估计结果,选用“人均农林牧渔服务业产值”(service)作为解释变量进行估计;表4中模型5为调整样本时间的估计结果,将样

本时间区间由“2007—2022年”调整为“2007—2019年”以消除新冠疫情对估计结果的影响;表4中模型6为缩尾处理后的估计结果,对各变量进行前后1%水平的缩尾处理以剔除极端值对估计结果的影响;表4中模型7为工具变量法的估计结果,参考张恒等^[25]的处理方法,选取滞后一期的农业生产性服务业发展水平作为工具变量进行估计,该工具变量通过不可识别检验($P < 0.01$)和弱工具变量检验。由表4中模型4~模型7的估计结果可知,各解释变量对农业碳生产率的影响系数分别为0.458、0.423、0.555和0.268,且均通过1%水平的显著性检验。综上,在一系列的稳健性检验后,农业生产性服务业对农业碳生产率的估计系数仍显著为正,再次验证本文的研究假说H1。

3) 地区异质性分析为进一步探究农业生产性服务业影响农业碳生产率的地区异质性,按照“东、中、西部地区”和“是否粮食主产区”将样本细分后进行分组回归,估计结果见表5。

表3 基准回归结果
Tab. 3 Benchmark regression results

变量	模型 1	模型 2	模型 3
lnAG_service	0.261*** (9.66)	0.551*** (12.24)	0.510*** (12.92)
AG_fin	0.021*** (3.47)	-0.012 (-1.60)	-0.001 (-0.14)
AG_dis	-0.010*** (-7.77)	-0.003** (-2.56)	-0.004*** (-3.42)
indus	-0.003 (-1.55)	-0.023*** (-6.51)	-0.019*** (-6.28)
plant	0.014*** (10.87)	0.002 (0.46)	0.011*** (4.22)
agrs	0.012*** (5.48)	0.017*** (4.12)	0.020*** (5.70)
常数项	-1.931*** (-6.51)	-2.512*** (-3.89)	-3.233*** (-6.34)
N	480	480	480
R ²	0.410	0.672	0.663
F 检验		28.51***	
LM 检验		675.26***	
Hausman 检验		53.25***	

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%水平下显著,括号内为t统计值。下同。

表4 稳健性检验
Tab. 4 Robustness test

变量	模型 4	模型 5	模型 6	模型 7
lnservice	0.458** (12.38)	—	—	—
lnAG_service	—	0.423*** (10.20)	0.555*** (12.37)	—
滞后一期 lnAG_service	—	—	—	0.268** (9.21)
AG_fin	-0.009 (-1.17)	-0.004 (-0.54)	-0.010 (-1.34)	0.020*** (3.13)
AG_dis	-0.003*** (-3.21)	-0.001 (-1.48)	-0.003*** (-2.63)	-0.011*** (-7.13)
indus	-0.021*** (-5.97)	-0.019*** (-6.36)	-0.022*** (-6.51)	-0.003 (-1.32)
plant	-0.001 (-0.17)	0.006* (1.71)	0.002 (0.44)	0.014*** (10.39)
agrs	0.015*** (3.70)	0.025*** (6.64)	0.017*** (4.03)	0.013*** (5.42)
常数项	-1.534*** (-2.65)	-2.554*** (-4.47)	-2.539*** (-3.93)	-2.008*** (-6.29)
N	480	390	480	450
R ²	0.674	0.661	0.649	0.398
Hausman 检验	49.91***	40.23***	53.32***	—

表5中模型8~模型10分别为东部、中部、西部地区的估计结果,lnAG_service对AG_tfpch的影响系数依次为0.586、0.658和0.431,且均通过1%水平的显著性检验,可以看出,农业生产性服务业对农业碳生产

率的促进作用在中部地区最强,东部地区次之,西部最弱。可能的解释是,中部地区多为农业大省,中部地区的农业生产性服务业体系较为完备,绿色农技服务也较为成熟,因而对农业碳生产率的提升作用较强。表5中模型11和模型12为粮食主产区和粮食非主产区的回归结果,对比估计系数可以发现农业生产性服务业对粮食主产区的农业碳生产率的促进作用强于粮食非主产区。可能的解释是,粮食作物更适合生产性服务作业,在粮食主产区更易充分发挥绿色农机和低碳农机的规模效应,因而农业生产性服务业对粮食主产区的农业碳生产率的促进作用更强。

表5 异质性检验
Tab. 5 Heterogeneity test

变量	模型 8	模型 9	模型 10	模型 11	模型 12
lnAG_service	0.586*** (7.13)	0.658*** (8.53)	0.431*** (4.73)	0.595*** (9.91)	0.527*** (7.47)
AG_fin	-0.020 (-1.53)	-0.043*** (-2.98)	-0.020* (-1.67)	-0.015 (-1.65)	-0.012 (-1.00)
AG_dis	-0.002 (-1.08)	-0.001 (-0.52)	-0.004* (-1.90)	-0.003** (-2.13)	-0.003** (-2.20)
indus	-0.008 (-1.21)	-0.033*** (-6.43)	-0.012* (-1.70)	-0.029*** (-7.10)	-0.013** (-2.41)
plant	0.018*** (3.75)	-0.007 (-0.75)	-0.043*** (-4.29)	-0.006 (-0.84)	-0.003 (-0.58)
agrs	0.016** (2.29)	0.025*** (3.41)	0.018** (2.53)	0.020*** (3.66)	0.011* (1.76)
常数项	-4.603*** (-3.71)	-1.902* (-1.68)	0.784 (0.69)	-1.786** (-2.02)	-2.308** (-2.41)
N	176	128	176	208	272
R ²	0.663	0.799	0.681	0.803	0.579
Hausman 检验	46.64***	14.04**	50.78***	21.90***	20.72***

4) 门槛特征检验。为检验农业生产性服务业影响农业碳生产率的门槛特征,基于研究假说H2和H3,本研究引入劳均农地经营规模和农村人力资本作为门槛变量进行估计,进而揭示农业生产性服务业对农业碳生产率的非线性影响。本研究使用自抽样法(重复抽样500次)来确定劳均农地经营规模和农村人力资本的门槛个数,门槛个数检验结果见表6。由表6可知,劳均农地经营规模和农村人力资本均通过双重门槛检验,即均存在2个门槛值。

表7报告了农业生产性服务业影响农业碳生产率的门槛面板效应估计结果。表7中模型13为劳均农地经营规模作为门槛变量时的估计结果。当劳均农地经营规模低于第一门槛值(0.964 hm²)时,lnAG_service对AG_tfpch的影响系数为0.515;当劳均农地经营规模越过第一门槛值(0.964 hm²)且低于第二门槛值(1.494 hm²)时,lnAG_service对AG_tfpch的影响系数上升为0.545;当

劳均农地经营规模越过第二门槛值(1.494 hm²)后, lnAG_service 对 AG_tfpc 的影响系数上升为 0.583。随着劳均农地经营规模的扩大,农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用增强,假说 H2 得以验证。

表 6 门槛效应检验

Tab. 6 Threshold effect test

门槛变量	门槛个数	F 值	P 值	BS 个数	1% 临界值	5% 临界值	10% 临界值
劳均农地规模	单一门槛	36.25	0.064	500	46.112	38.722	30.482
	双重门槛	29.35	0.038	500	33.116	27.761	23.929
	三重门槛	20.51	0.702	500	77.592	55.432	49.740
农村人力资本	单一门槛	30.97	0.040	500	38.072	29.443	23.823
	双重门槛	20.98	0.090	500	37.676	24.858	20.466
	三重门槛	5.15	0.822	500	30.221	22.236	17.738

表 7 门槛效应的估计结果

Tab. 7 Estimation of the threshold effect

变量	模型 13	模型 14	模型 15	模型 16	模型 17	模型 18
lnAG_service (land_per ≤ 0.964)	0.515*** (12.03)	—	—	—	—	—
lnAG_service (0.964 < land_per ≤ 1.494)	0.545*** (12.61)	—	—	—	—	—
lnAG_service (land_per > 1.494)	0.583*** (13.65)	—	—	—	—	—
lnAG_service (educ ≤ 6.746)	—	—	—	0.389*** (7.91)	—	—
lnAG_service (6.746 < educ ≤ 7.324)	—	—	—	0.435*** (9.18)	—	—
lnAG_service (educ > 7.324)	—	—	—	0.464*** (10.28)	—	—
lnAG_service	—	0.544*** (12.50)	0.516*** (11.73)	—	0.474*** (10.23)	0.460*** (9.54)
D ₁ × lnAG_service	—	0.036*** (5.87)	—	—	—	—
D ₂ × lnAG_service	—	—	0.043*** (5.70)	—	—	—
D ₃ × lnAG_service	—	—	—	—	0.048*** (5.12)	—
D ₄ × lnAG_service	—	—	—	—	—	0.030*** (4.63)
AG_fin	-0.006 (-0.87)	-0.011 (-1.48)	-0.007 (-0.95)	-0.018** (-2.39)	-0.018** (-2.46)	-0.012 (-1.58)
AG_dis	-0.002** (-2.06)	-0.003*** (-2.76)	-0.002* (-1.87)	-0.002** (-2.11)	-0.002** (-2.13)	-0.003** (-2.50)
indus	-0.020*** (-6.04)	-0.019*** (-5.78)	-0.022*** (-6.73)	-0.026*** (-7.80)	-0.024*** (-7.17)	-0.024*** (-7.14)
plant	-0.001 (-0.30)	0.004 (1.08)	-0.003 (-0.95)	0.002 (0.51)	0.003 (0.85)	0.001 (0.22)
agrs	0.020*** (5.16)	0.020*** (4.92)	0.018*** (4.54)	0.013*** (3.32)	0.013*** (3.16)	0.018*** (4.34)
常数项	-2.703*** (-4.36)	-3.084*** (-4.89)	-2.168*** (-3.46)	-1.406** (-2.21)	-2.013*** (-3.17)	-1.911*** (-2.97)
N	480	480	480	480	480	480
Hausman 检验	—	49.06***	59.22***	—	54.25***	52.36***

为进一步检验劳均农地经营规模的门槛效应,设置虚拟变量 D_1 (当 $land_per \leq 0.964$ 时, $D_1=0$; 当

$land_per > 0.964$ 时, $D_1=1$)、 D_2 (当 $land_per \leq 1.494$ 时, $D_2=0$; 当 $land_per > 1.494$ 时, $D_2=1$), 并将 $D_1 \times \ln AG_service$ 和 $D_2 \times \ln AG_service$ 两组交互项纳入估计模型, 估计结果为表 7 模型 14 和模型 15。由此可知, $D_1 \times \ln AG_service$ 和 $D_2 \times \ln AG_service$ 对农业碳生产率的影响系数均显著为正, 表明劳均农地经营规模在 $0.964 \sim 1.494 \text{ hm}^2$ 和超过 1.494 hm^2 时, 农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用增强, 也验证了劳均农地经营规模在农业生产性服务业对农业碳生产率的影响中存在门槛效应。

表 7 中模型 16 为农村人力资本作为门槛变量时的估计结果。当农村居民人均受教育年限低于 6.746 年时, $\ln AG_service$ 对 AG_tfpch 的影响系数为 0.389; 当农村居民人均受教育年限高于 6.746 年且低于 7.324 年时, $\ln AG_service$ 对 AG_tfpch 的影响系数上升为 0.435; 当农村居民人均受教育年限高于 7.324 年后, $\ln AG_service$ 对 AG_tfpch 的影响系数上升为 0.464。随着农村人均受教育年限跨越第一、第二门槛值, 农业生产性服务业对农业碳生产率的正向影响效应逐渐增强, 这表明随着农村人力资本水平的提高, 农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用增强, 假说 H3 得以验证。为进一步检验农村人力资本的门槛效应, 本研究设置虚拟变量 D_3 (当 $educ \leq 6.746$ 时, $D_3=0$; 当 $educ > 6.746$ 时, $D_3=1$)、 D_4 (当 $educ \leq 7.324$ 时, $D_4=0$; 当 $land_per > 7.324$ 时, $D_4=1$), 并将 $D_3 \times \ln AG_service$ 和 $D_4 \times \ln AG_service$ 两组交互项纳入估计模型, 估计结果为表 7 模型 17 和模型 18。由此可知, $D_3 \times \ln AG_service$ 和 $D_4 \times \ln AG_service$ 对农业碳生产率的影响系数均显著为正, 表明农村居民人均受教育年限在 $6.746 \sim 7.324$ 年和超过 7.324 年时, 农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用会增强, 也验证了农村人力资本在农业生产性服务业对农业碳生产率的影响中存在门槛效应。

4 结论与建议

4.1 结论

基于 2007—2022 年中国 30 个省份面板数据, 实证分析农业生产性服务业对农业碳生产率的影响效应及门槛特征。研究表明: (1) 农业生产性服务业对农业碳生产率具有显著促进作用。(2) 农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用具有地区异质性。农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用在中部地区最强, 东部地区次之, 西部最弱。农业生产性服务业对粮食主产区的农业碳生产率的促进作用强于粮食非主产区。(3) 农业生产性服务业对农业碳生产率的影响存在

劳均农地经营规模门槛和农村人力资本门槛, 随着劳均农地经营规模扩大和农村人力资本水平提高, 农业生产性服务业对农业碳生产率的促进作用逐渐增强。

4.2 建议

1) 健全绿色农业生产性服务体系。培育绿色农业生产性服务组织, 支持服务组织学习和推广绿色低碳农机服务, 鼓励围绕农业生产全过程制定针对性绿色服务清单。政策性补贴适当向购置低碳节能农机和开展绿色农机服务的组织倾斜。拓展水肥一体化、无人植保等低碳绿色作业服务的覆盖面。

2) 推动农业适度规模经营。健全农地流转的管理制度和市场机制, 因地制宜发展土地托管、联耕联种、统防统治等服务规模经营模式, 充分发挥生产性服务引领农业低碳发展的规模效应。

3) 加强农业低碳技术的培训与应用。支持涉农高校院所围绕低碳技术开展科研攻关, 推动低碳农技与农机、农艺深度融合, 提高低碳技术的实用性。强化农业绿色生产技术的宣传与培训, 提高农民的绿色生产意识和低碳农机的应用能力。

参 考 文 献

- [1] 伍国勇, 孙小钧, 于福波, 等. 中国种植业碳生产率空间关联格局及影响因素分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(5): 46—57.
Wu Guoyong, Sun Xiaojun, Yu Fubo, et al. Spatial correlation pattern and influencing factors of China's crop production carbon productivity [J]. China Population, Resources and Environment, 2020, 30(5): 46—57.
- [2] 秦天, 彭珏, 邓宗兵. 生产性服务业发展与农业全要素生产率增长[J]. 现代经济探讨, 2017(12): 93—101.
- [3] 张露, 杨高第, 李红莉. 小农户融入农业绿色发展: 外包服务的考察[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2022(4): 53—61.
Zhang Lu, Yang Gaodi, Li Hongli. How to incorporate smallholder farmers into the green development of agriculture: An exploration based on outsourcing services [J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2022(4): 53—61.
- [4] 黄杰, 孙自敏. 中国种植业碳生产率的区域差异及分布动态演进[J]. 农业技术经济, 2022(7): 109—127.
Huang Jie, Sun Zimin. Regional differences and dynamic evolution of carbon productivity of China's planting industry [J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2022(7): 109—127.
- [5] 程琳琳, 张俊飏, 田云, 等. 中国省域农业碳生产率的空间分异特征及依赖效应[J]. 资源科学, 2016, 38(2): 276—289.

- Cheng Linlin, Zhang Junbiao, Tian Yun, et al. The spatial variation characteristics and dependency of agricultural carbon productivity in China [J]. *Resources Science*, 2016, 38(2): 276-289.
- [6] 王凤婷, 王浩, 孔凡斌. 农村数字化发展对农业全要素碳生产率的提升效应[J]. *中国人口·资源与环境*, 2024, 34(3): 79-90.
- Wang Fengting, Wang Hao, Kong Fanbin. Enhancement effect of rural digital development on agricultural total factor carbon productivity [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2024, 34(3): 79-90.
- [7] 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, 33(2): 92-101.
- Yang Xiuyu, Qiao Cuixia. Spatial spillover effects of agricultural industry agglomeration on agricultural carbon productivity: Based on the regulatory role of fiscal decentralization [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2023, 33(2): 92-101.
- [8] 黄伟华, 祁春节, 黄炎忠, 等. 财政支农投入提升了农业碳生产率吗? ——基于种植结构与机械化水平的中介效应[J]. *长江流域资源与环境*, 2022, 31(10): 2318-2332.
- Huang Weihua, Qi Chunjie, Huang Yanzhong, et al. Does financial support for agriculture improve agricultural carbon productivity? Analysis on the mediating effects of planting structure and mechanization level [J]. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2022, 31(10): 2318-2332.
- [9] 程琳琳, 张俊飏, 何可. 空间视角下城镇化对农业碳生产率的直接作用与间接溢出效应研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(11): 48-56.
- Cheng Linlin, Zhang Junbiao, He Ke. The direct influence and indirect spillover effect of urbanization on agricultural carbon productivity base on the spatial durbin model [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(11): 48-56.
- [10] 芦千文. 农业生产性服务业发展研究述评[J]. *当代经济管理*, 2019, 41(3): 38-44.
- Lu Qianwen. Research review on the development of agricultural productive service industry [J]. *Contemporary Economic Management*, 2019, 41(3): 38-44.
- [11] 姜长云. 中国农业生产性服务业的形成发展及其趋势、模式[J]. *宏观经济研究*, 2020(7): 97-105.
- [12] 芦千文. 中国农业生产性服务业: 70年发展回顾、演变逻辑与未来展望[J]. *经济学家*, 2019(11): 5-13.
- Lu Qianwen. China's agricultural productive service industry: Review of 70 years of development, evolutionary logic and future prospects [J]. *Economist*, 2019(11): 5-13.
- [13] 周发明, 唐望, 彭柳林. 农业生产性服务政策对种植结构趋粮化的影响——来自准自然实验的证据[J]. *管理科学*, 2023, 36(6): 55-67.
- Zhou Faming, Tang Wang, Peng Liulin. The impact of agricultural productive service policies on the "grain orientation" of planting structure: Evidence from quasi natural experiments [J]. *Journal of Management*, 2023, 36(6): 55-67.
- [14] 闫晗, 乔均. 农业生产性服务业对粮食生产的影响——基于2008-2017年中国省级面板数据的实证研究[J]. *商业研究*, 2020(8): 107-118.
- Yan Han, Qiao Jun. The impact of agricultural productive services on grain production: An empirical study based on china's provincial panel data from 2008 to 2017 [J]. *Commercial Research*, 2020(8): 107-118.
- [15] 楚明钦. 农业生产性服务嵌入对农业效率影响的实证[J]. *统计与决策*, 2021, 37(24): 75-79.
- [16] 唐望, 彭柳林, 周发明. 农业生产性服务对县域产业结构升级的影响——来自准自然实验的证据[J]. *世界农业*, 2023(11): 115-124.
- Tang Wang, Peng Liulin, Zhou Faming. The impact of agricultural productive services on the upgrade of county industrial structure: Evidence from quasi natural experiments [J]. *World Agriculture*, 2023(11): 115-124.
- [17] 刘浩, 韩晓燕, 薛莹, 等. 农业生产性服务的化肥减量逻辑: 替代和匹配——基于东北三省741户玉米种植农户的调研数据[J]. *干旱区资源与环境*, 2022, 36(4): 32-38.
- Liu Hao, Han Xiaoyan, Xue Ying, et al. The logic of agricultural productive services affecting fertilizer reduction: Substitution and matching [J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2022, 36(4): 32-38.
- [18] 罗明忠, 魏滨辉. 农业生产性服务的碳减排作用: 效应与机制[J]. *经济经纬*, 2023, 40(4): 58-68.
- Luo Mingzhong, Wei Binhui. The role of productive agricultural services in carbon reduction: Effects and mechanisms [J]. *Economic Survey*, 2023, 40(4): 58-68.
- [19] 颜华, 齐悦, 张梅. 农业生产性服务促进粮食绿色生产的效应及作用机制研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2023, 44(2): 54-67.
- Yan Hua, Qi Yue, Zhang Mei. Research on the effect and mechanism of agricultural producer services promoting green grain production [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2023, 44(2): 54-67.
- [20] 张化楠, 葛颜祥, 郑军. 农业生产性服务对家庭农场经营效率的影响研究——基于种植型家庭农场的证据[J]. *农村经济*, 2023(5): 115-124.