

DOI:10.3969/j.issn.1674-8131.2024.02.008

## 农机购置补贴对农业绿色全要素生产率的影响研究

田媛<sup>1</sup>,曾令秋<sup>2</sup>

(1.西南财经大学 中国西部经济研究院,四川 成都 611130;

2.四川师范大学 中国乡村振兴研究院,四川 成都 610068)

**摘要:**农业机械化会产生经济增长效应和环境污染效应,进而导致农机购置补贴带来的农业绿色全要素生产率(GTFP)增长慢于农业全要素生产率(TFP)增长。采用2008—2021年31个省份数据的分析发现:农机购置补贴提高了农业总产值和碳排放量并降低了碳排放强度(经济增长效应大于环境污染效应),从而显著促进了农业GTFP提升,但该正向影响小于农机购置补贴对农业TFP的正向影响;农机购置补贴主要通过技术进步渠道促进农业GTFP和农业TFP提升(技术效率改善渠道的作用不显著),且对农业绿色技术进步的促进作用小于对农业技术进步的促进作用;在农村人力资本水平较高地区、平原面积占比较高地区和环境规制较强地区,农机购置补贴对农业GTFP和农业TFP的提升作用更为显著,且在环境规制较强地区对农业GTFP的提升作用大于对农业TFP的提升作用。因此,应增强支农政策的绿色偏向,提高农村人力资本水平和环境规制强度,并通过完善配套政策和加强基础设施建设有效提高农业技术效率,进而实现更快的农业GTFP增长。

**关键词:**农业;农机购置补贴;绿色全要素生产率;技术进步;技术效率;环境规制;人力资本

**中图分类号:**F323.3;F310 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-8131(2024)02-0094-16

**引用格式:**田媛,曾令秋.农机购置补贴对农业绿色全要素生产率的影响研究[J].西部论坛,2024,34(2):94-109.

TIAN Ai, ZENG Ling-qiu. Research on the impact of agricultural machinery purchase subsidies on green total factor productivity in agriculture [J]. West Forum, 2024, 34(2): 94-109.

### 一、引言

长期以来,高投入、高消耗、高污染的粗放型增长模式在促进我国农业经济快速增长的同时,也使得

\* 收稿日期:2023-11-08;修回日期:2024-01-17

基金项目:国家社会科学基金一般项目(19BJY135)

作者简介:田媛(1997),女,四川德阳人;博士研究生,主要从事农业经济研究;E-mail:tianai\_win@163.com。曾令秋(1958),男,四川资中人;博士,教授,主要从事农业经济研究;E-mail:zenglingqiu@126.com。

资源短缺和环境污染问题日益凸显,给农业可持续发展带来严峻挑战。在资源环境硬约束趋紧的背景下,实现农业增长动力机制转变,即由要素驱动向绿色全要素生产率(Green Total Factor Productivity, GTFP)驱动转化,成为农业可持续发展必须解决的关键问题(郭海红等,2021)<sup>[1]</sup>。同时,加快农业绿色低碳转型也是建设农业强国的应有之义(谢文帅,2023)<sup>[2]</sup>,契合了中国式现代化要实现人与自然和谐共生的发展理念。全要素生产率(Total Factor Productivity, TFP)是衡量生产过程中利用全部要素投入获得产出的多少的重要指标,相较于基于要素投入和期望产出核算的农业全要素生产率(以下简称农业 TFP)指标,农业绿色全要素生产率(以下简称农业 GTFP)指标进一步考虑了环境污染等非期望产出(王奇等,2012;葛鹏飞等,2018)<sup>[3-4]</sup>,能够反映农业经济增长过程中的资源节约和环境保护状况。近年来,如何有效提升农业 GTFP 成为学术界关注的热点问题,相关文献对影响农业 GTFP 的因素进行了多维度的深入探讨,比如财政支持(叶初升等,2016)、环境规制(马国群等,2021)、人口老龄化(金绍荣等,2023)、农村金融发展(李健旋,2021)、农业产业集聚(韩海彬等,2023)、农产品贸易(杨秀玉等,2023)、农地流转(匡远配等,2024)、乡村数字化(金绍荣等,2022;郭海红,2024)等<sup>[5-13]</sup>。

农业补贴是政府支持农业发展的常用政策工具之一,主要包括农作物良种补贴、种粮农民直接补贴、农资综合补贴和农机购置补贴(2016年我国实施农业补贴改革后,前三项补贴合并为农业支持保护补贴)。农机购置补贴作为一项鼓励农业生产主体购置和更新农机的政策,可以通过替代效应、收入效应和乘数效应等促进农户购置农机,进而推动农业增产增效(李农等,2010)<sup>[14]</sup>。王霞云和郭慧文(2021)、许庆等(2023)的实证研究结果均表明,农机购置补贴政策的实施显著提高了农业 TFP<sup>[15-16]</sup>。但不容忽视的是,除了经济增长效应外,农机购置补贴的实施也可能对生态环境产生影响。田晓晖等(2021)研究发现,农机购置补贴能够改变农户使用污染性投入要素和处理农业生产废弃物的方式,从而会对生态环境产生重要影响<sup>[17]</sup>。农业产出和污染物排放的多少直接影响到农业 GTFP 水平的高低,那么,农机购置补贴是促进还是抑制了农业 GTFP 提升?目前对这一问题的讨论还比较欠缺。

许庆等(2023)基于全国农村固定观察点数据的研究发现,农机购置补贴通过增加农户农机社会化服务可得性这一渠道促进了农业 TFP 提升,且主要是促进了农业技术进步<sup>[16]</sup>。邹强(2023)采用 30 个省份面板数据的分析表明,农机购置补贴主要通过提高绿色技术效率的渠道促进农业 GTFP 增长,其对绿色技术进步的影响不明显<sup>[18]</sup>。但该研究选择每年中央财政拨出的农机购置补贴这一流量指标进行分析,没有考虑到补贴会以农业机械资本存量的形式沉淀下来,从而影响后期的农业机械化水平(王许沁等,2018;张宗毅等,2019)<sup>[19-20]</sup>。那么,农机购置补贴是否通过绿色技术进步渠道和绿色技术效率改变渠道影响了农业 GTFP?哪种渠道占主导地位?仍然有待进一步的检验。同时,相对对未考虑环境因素的农业 TFP 的影响,农机购置补贴对纳入环境因素的农业 GTFP 的影响是更大还是更小,也需要明确。

基于上述考虑,本文在已有研究的基础上探讨农机购置补贴对农业 GTFP 的影响及其主导渠道,并采用 2008—2021 年 31 个省份的面板数据进行实证检验。相比已有文献,本文的边际贡献主要在于:第一,分析并比较了农机购置补贴对农业 GTFP 和农业 TFP 的影响,丰富了农机购置补贴的政策效应研究;第二,考察了不同情境下(纳入环境因素和不纳入环境因素)农机购置补贴对农业技术进步和农业技术效率改善的影响,有助于深入认识技术进步渠道和技术效率改善渠道在农业 GTFP 提升中发挥的作用,进而更有效地促进农业 GTFP 增长,并为后续研究提供了新的思路和方法;第三,从人力资本水平、地形条件和环境规制 3 个维度分析了农机购置补贴影响农业 GTFP 和农业 TFP 的异质性,为进一步提高财政支农政策实施的精准性和有效性提供了经验借鉴和启示。

## 二、理论分析与研究假说

### 1. 农机购置补贴对农业 GTFP 的影响

从理论上讲,全要素生产率的提高可能是由于技术进步或技术效率改善引起的。技术进步是指通过技术创新或引入先进技术推动生产前沿面外移,技术效率改善是指在现有技术水平下通过优化资源要素配置和提升生产管理能力和促进生产决策单元向生产前沿面移动,两者都能提高单位要素投入的产出水平。因此,本文主要基于技术进步和技术效率改善这两个渠道来探讨农机购置补贴对农业 GTFP 产生的影响。

#### (1) 技术进步渠道

农机购置补贴可以通过增加农业生产中农机的使用和促进农机企业提升农机性能两条途径,推动农业生产技术进步,进而促进农业 TFP 提高。一方面,农机购置补贴可以直接降低农机购置成本和间接降低农机社会化服务价格(刘进等,2023)<sup>[21]</sup>,激励农户和农业生产经营组织购买农机装备或农机作业服务,从而使先进的农业技术得以转化运用到农业生产中,推动农业生产实践的技术水平提高。另一方面,进入农机补贴目录的产品更易获得市场的认可和推广,而只有达到一定条件的农机产品才能进入补贴目录,补贴机具和标准还会随政策目标的变化不断调整。因此,农机购置补贴的选择性和动态调整机制会引导农机企业不断进行技术创新,科技含量更高的农机产品在农业生产中的运用则会直接推动农业技术进步。可见,农机是先进农业生产技术的重要载体,农机购置补贴引起的农机使用量增加和农机性能提升会推动农业生产技术进步,从而有助于增加单位生产要素投入的期望产出(通常指农业生产的经济效益),实现农业 TFP 提升。

但对农业 GTFP 来讲,不仅要看期望产出,还需要考虑非期望产出(通常指农业污染物排放),而技术进步在促进农业产量增加的同时也会对生态环境产生影响。一方面,高效施肥、精准施药、节水灌溉、废弃物处理等农机装备和技术的推广使用,可以提高农资利用效率和实现农业生产废弃物再利用,减少农业污染排放;另一方面,以柴油发动机为主的农业机械使用会直接增加农业污染排放。因此,农机技术进步对农业非期望产出的影响与其本身的技术偏向有关,越偏向绿色技术越有利于减少非期望产出。从实际情况来看,相较于一般的技术进步,绿色技术进步的节能减排要求会增加技术创新成本,并可能存在因绿色技术产品价格较高而不被农业生产经营主体接受的市场风险(刘运材等,2022)<sup>[22]</sup>,因此,在企业追求利润最大化目标和农户绿色技术采纳意愿不高的现实约束下,农机购置补贴引起的技术进步可能会更多地偏向提高经济效益,从而在促进农业产量增加的同时也增加了农业污染排放总量。总的来看,当农机购置补贴引致的农业技术进步使得农业期望产出增长率高于非期望产出增长率时,其表现为促进农业 GTFP 提高。

尽管偏向经济效益的技术进步会带来农业污染物排放总量增加,但随着经济发展方式的转变,绿色技术进步日益受到重视,农业机械领域技术进步的绿色偏向也不断增强,促使单位产出的污染物排放量降低,因此,农业机械化在增加农业污染排放总量的同时也会降低农业污染排放强度(徐清华等,2022;贺青等,2023)<sup>[23-24]</sup>。综合来看,农机购置补贴推动的农业技术进步带来的经济增长效应大于环境污染效应,进而可以促进农业 GTFP 提升。然而,当非期望产出呈上升趋势时,不考虑负外部性的生产率(TFP)增长会高于考虑负外部性的生产率(GTFP)增长(Yörük et al., 2005)<sup>[25]</sup>。所以,农机购置补贴可以通过促进技术进步的路径提高农业 GTFP 和农业 TFP,但对农业 GTFP 的提升作用相对较小。

## (2) 技术效率改善渠道

从理论上讲,农机购置补贴可以通过以下作用改善农业生产的技术效率:首先,农机购置补贴使得农机要素的相对价格下降,导致农机与劳动力之间产生要素替代,进而促进农村劳动力转移(吕炜等,2015)<sup>[26]</sup>;家庭成员外出务工率的提升则会促使农户进行农地流转(钱龙等,2019)<sup>[27]</sup>,这将推动农地规模经营,缓解土地细碎化问题,提高农地配置效率(盖庆恩等,2023)<sup>[28]</sup>;随着土地向生产要素相对充裕且具有集约化、专业化、组织化和社会化特征的新型农业经营主体集中,劳动、土地和资本等生产要素配置实现帕累托改进,从而提升农业生产技术效率。其次,农机购置补贴促进了农机社会化服务的发展(许庆等,2023)<sup>[16]</sup>,有利于农业生产的专业化分工和劳动者生产技能的提高,进而促进农业生产技术效率改善。最后,由于只有达到一定资质的农机产品才能进入补贴目录,这会降低农户在农机市场上面临的信息不对称风险,提高市场运行效率。

然而,上述作用在农业生产实践中能否实现,受劳动力流动、土地流转、农户要素配置能力等诸多因素的共同影响。总的来看,目前我国农业劳动力的人力资本水平不高导致其转移困难,土地流转滞后于劳动力转移且流转规模小,农地碎片化经营的特征依然明显(邵亮亮等,2022)<sup>[29]</sup>;同时,要素市场发展滞后,生产要素自由流动受阻,导致农机购置补贴难以通过优化资源配置这一路径来提升农业生产技术效率(许庆等,2023)<sup>[16]</sup>。此外,农机购置补贴的受益对象以农户为主,而农户普遍缺乏现代农业技术和管理素养,虽然农机购置补贴促进了农户购置农业机械,但在农机维修网点等农机化基础设施建设相对滞后、农机技术培训服务供给不到位等外部条件的制约下,农机使用的效率不高,对农业技术效率的改善作用难以发挥。由此可见,在农业劳动力人力资本水平不高和相关配套政策不完善的情况下,农机购置补贴对农业技术效率的改善作用可能并不明显。

综上所述,本文提出研究假说1:农机购置补贴能够显著提高农业GTFP,但该影响小于农机购置补贴对农业TFP的影响;农机购置补贴主要通过技术进步渠道促进农业GTFP和农业TFP提升。

## 2. 农机购置补贴影响农业GTFP的异质性

### (1) 人力资本异质性

农机购置补贴对农业GTFP的提升作用受到农户技术采纳和运用能力的影响。一方面,受教育程度越高的农户对新技术,尤其是生态农业技术的采纳意愿越强(毛慧等,2020)<sup>[30]</sup>,购买补贴机具时选择绿色环保农机的可能性越大,这有利于发挥农机购置补贴引导农民购置先进适用、节能环保农机的作用,进而更有效地促进农业绿色技术进步。另一方面,在农业生产实践中,农机使用对农业产出和生态环境的影响大小,在很大程度上与农户的农机运用能力相关。当农户的人力资本水平与农机使用技术不相匹配时,农机购置补贴难以推动农业先进技术充分转化为现实生产力,同时,农机技术知识的缺乏以及对节能减排重要性认识的不足还会增加农机使用过程中的能源消耗和污染环境,对农业绿色技术效率产生负面影响。由此可见,较高的人力资本为农业技术进步和技术效率改善提供了重要支撑,有助于更好地发挥农机购置补贴对农业GTFP提升的促进作用。因此,相比农村人力资本水平较低地区,农机购置补贴对农村人力资本水平较高地区农业GTFP的促进作用更为显著。

### (2) 地形异质性

地形是影响农业技术进步和技术效率改善的重要因素,农机购置补贴对农业GTFP的影响也可能因地形的不同而存在差异。丘陵山区地势起伏大、坡度陡峻,运输道路和田间作业通道等农业基础设施建设滞后,农业机械化发展也受到约束。相较于丘陵山区,平原地区的地形条件更有利于农机尤其是大中型农机的推广和运用,因而农机购置补贴在推动农业机械化的过程中对平原地区农业生产技术进步的促进

作用会更为明显(潘经韬等,2019)<sup>[31]</sup>。另外,平原地区的农业规模经营程度较高,规模经营主体对绿色清洁机械的使用意愿更高,农机购置补贴可以更有效地激励农户采纳绿色农业技术,从而推动农业绿色技术进步。因此,相比丘陵山区,农机购置补贴对平原地区农业 GTFP 的促进作用更为显著。

### (3) 环境规制异质性

已有研究表明环境规制与 GTFP 密切相关,在环境规制较严的地区或时期,农业 GTFP 增长率高于农业 TFP 增长率(王奇等,2012)<sup>[3]</sup>。在环境规制水平较高的地区,农业生产经营主体受到各种惩罚措施的压力和激励措施的吸引,会更加重视环境保护和绿色生产(杜建国等,2023)<sup>[32]</sup>,进而会更积极地采用绿色技术来提高农业生产的清洁性(张金鑫等,2020)<sup>[33]</sup>。当环境规制水平较高时,农机购置补贴政策的绿色发展导向会更强,对绿色低碳农机的补贴力度更大,这会促使农机制造企业积极研发绿色农机装备,也会激励农业生产经营主体选择购买补贴目录中的清洁型农机产品,从而增强农机购置补贴对农业绿色技术进步的促进作用。因此,相比环境规制水平较低地区,农机购置补贴对环境规制水平较高地区农业 GTFP 的促进作用更为显著。

综上所述,本文提出研究假说 2:相对而言,农机购置补贴对农业 GTFP 的提升作用在农村人力资本水平较高地区、平原地区、环境规制较强地区更为显著。

## 三、实证检验设计

### 1. 模型设定

为检验农机购置补贴对农业 GTFP 的影响,同时与农业 TFP 作对比分析,参考潘彪和田志宏(2018)、祝宏辉等(2023)、金绍荣和王佩佩(2023)的研究<sup>[34-35][7]</sup>,设定面板固定效应回归模型(1)和(2):

$$\ln GTFP_{it} = \alpha_0 + \alpha_1 \ln subsidy_{it} + \sum_{k=2}^n \alpha_k Control_{itk} + \varphi_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

$$\ln TFP_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln subsidy_{it} + \sum_{k=2}^n \beta_k Control_{itk} + \varphi_i + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中, $i$ 和 $t$ 分别代表地区(省份)和年份,被解释变量“农业 GTFP”(ln GTFP)和“农业 TFP”(ln TFP)分别为农业 GTFP 和农业 TFP 的自然对数值,核心解释变量“农机购置补贴”(ln subsidy)为地区获得的农机购置补贴存量(具体计算方法见后)的自然对数值,Control 表示影响农业 GTFP 和农业 TFP 的一系列控制变量, $\varphi_i$ 表示个体固定效应, $\varepsilon_{it}$ 表示随机扰动项。

为检验农机购置补贴影响农业 GTFP 及农业 TFP 的主导渠道,构建回归模型(3)~(6):

$$\ln GTECH_{it} = \partial_0 + \partial_1 \ln subsidy_{it} + \sum_{k=2}^n \partial_k Control_{itk} + \varphi_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

$$\ln GEFF_{it} = \theta_0 + \theta_1 \ln subsidy_{it} + \sum_{k=2}^n \theta_k Control_{itk} + \varphi_i + \varepsilon_{it} \quad (4)$$

$$\ln TECH_{it} = \delta_0 + \delta_1 \ln subsidy_{it} + \sum_{k=2}^n \delta_k Control_{itk} + \varphi_i + \varepsilon_{it} \quad (5)$$

$$\ln EFF_{it} = \mu_0 + \mu_1 \ln subsidy_{it} + \sum_{k=2}^n \mu_k Control_{itk} + \varphi_i + \varepsilon_{it} \quad (6)$$

其中,被解释变量“农业绿色技术进步”(ln GTECH)、“农业绿色技术效率”(ln GEFF)、“农业技术进步”(ln TECH)、“农业技术效率”(ln EFF)分别为农业绿色技术进步、农业绿色技术效率变化、农业技术进步、农业技术效率变化的自然对数值,其余变量定义同前。

### 2. 变量说明

#### (1) 被解释变量

考虑到数据的可获得性以及农机购置补贴主要针对种植业的实际情况,本文采用狭义农业即种植

业的数据来测算样本地区的农业 TFP 和农业 GTFP。参考马国群和谭砚文(2021)、金绍荣和任赞杰(2022)的研究<sup>[6][12]</sup>,以“农作物总播种面积”“农业就业人数”“农业机械动力”“农用化肥施用折纯量”“农药使用量”“农用塑料薄膜使用量”“有效灌溉面积”作为投入指标,以“农业总产值”(2007年不变价)作为期望产出指标,以“农业碳排放量”作为非期望产出指标。其中,“农业就业人数”采用“第一产业从业人数×(农业总产值/农林牧渔业总产值)”来衡量,“农业机械动力”采用“农业机械总动力-畜牧业机械动力-渔业机械动力”来衡量;“农业碳排放量”的计算参考李波等(2011)的方法<sup>[36]</sup>,依据6种碳排放源的投入量和碳排放系数进行测算,6种碳排放源分别是化肥、农药、农膜、柴油、翻耕、农业灌溉,对应的碳排放系数分别为 $0.8956 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $4.9341 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $5.18 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $0.5927 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、 $312.6 \text{ kg} \cdot \text{km}^{-2}$ 、 $20.476 \text{ kg} \cdot \text{Cha}^{-1}$ 。

相较于参数法,数据包络分析(DEA)和指数法相结合的非参数法无需设定生产函数形式,避免了函数设定偏误,被广泛用于测算农业 GTFP。传统的径向、角度 DEA 模型要求投入或产出同比例变化,当存在投入过度或产出不足时会高估评价对象的效率值,且角度选择忽略了投入或产出的某个方面,会导致测算结果不准确(王兵等,2010)<sup>[37]</sup>;非径向、非角度的 SBM 模型虽然能够弥补以上缺陷,但忽略了效率前沿投影值的原始比例信息,也会影响效率评价的准确性(蔡乌赶等,2017)<sup>[38]</sup>。因此,本文采用综合径向和非径向的超效率 EBM 模型来测算技术效率,并采用 Oh(2010)提出的基于全局 DEA 技术的 GML 指数法估计农业 GTFP 的动态变化情况<sup>[39]</sup>,该方法也是现有文献在测算农业 GTFP 时普遍采用的方法(杜江等,2016;郭海红等,2021;杜建军等,2023)<sup>[40][1][41]</sup>。GML 指数法将各决策单元的所有考察期作为基准构造生产前沿面,解决了 Chung 等(1997)基于当期 DEA 技术提出的 ML 指数法不具备循环性、无法基于固定年份进行累乘、可能在线性规划无解的问题(李华等,2021)<sup>[42-43]</sup>,也解决了 Oh 和 Heshmati(2010)基于序列 DEA 技术提出的 SML 指数法不具备循环性和不允许技术退步的问题<sup>[44]</sup>。在实际的农业生产中,受外部宏观经济环境变化和自然灾害的影响,可能出现生产技术短暂退步的情形(展进涛等,2019;郭海红等,2021)<sup>[45][1]</sup>。由于模型测算得到的 GTFP 指数是本年度农业 GTFP 相较于上一年度的变化情况,故参照一般做法,以 2007 年为基期(该年农业 GTFP 设定为 1),之后各年将之前的农业 GTFP 指数相乘,得到当年累积形式的农业 GTFP,取自然对数后作为被解释变量“农业 GTFP”;分解农业 GTFP 指数,用同样的方法得到“农业绿色技术进步”和“农业绿色技术效率”。“农业 TFP”“农业技术进步”和“农业技术效率”的测算方法同上(删除非期望产出指标)。

### (2) 核心解释变量

农机购置补贴最终会以农业机械资本存量的形式沉淀下来,并影响以后的农业机械化水平,因而采用存量指标比流量指标更为准确。借鉴王许沁等(2018)、张宗毅等(2019)的研究<sup>[19-20]</sup>,采用单位耕地面积累计折旧农机购置补贴资金来衡量样本地区获得的农机购置补贴水平。考虑到农机购置补贴以大中型农机为主,大中型农机的使用寿命一般为 10 年,因而设定折旧率为 10%,则“农机购置补贴”的计算公式为: $subsidy_{it} = \left[ \sum_{2004}^{t+2007} (1 - year\_gap \times 10\%) subsidy_{it} \right] / land_{it}$ 。其中, $subsidy_{it}$  为  $i$  地区  $T$  年的实际农机购置补贴, $year\_gap$  为折旧年限(若  $year\_gap > 10$ ,取  $year\_gap = 10$ ), $land_{it}$  为耕地面积。由于农机购置补贴政策始于 2004 年,故以 2004 年为基期,并采用农业生产资料价格指数对每年的农机购置补贴进行平减以消除价格因素的影响。

### (3) 控制变量

借鉴邓晓兰和鄢伟波(2018)、余志刚等(2023)的研究<sup>[46-47]</sup>,选取以下控制变量:一是“农作物种植结构”,采用粮食作物播种面积与农作物总播种面积的比值来衡量。由于种植经济作物的经济效益相对

较高,预期该变量的回归系数为负。二是“自然灾害程度”,采用农作物受灾面积与农作物总播种面积的比值来衡量。农业生产易受自然环境的影响,受灾会导致产出下降,因而预期该变量的回归系数为负。三是“工业化水平”,采用第二产业增加值占地区生产总值的比重来衡量。工业化可能导致农村青壮年等优质人力资源流出,对农业生产效率产生负面影响,同时,石油农业的发展也会对农业生态环境产生较大的负面影响(王宝义等,2018)<sup>[48]</sup>,因此预期该变量的回归系数为负。四是“农村水利基础设施”,采用有效灌溉面积与农作物总播种面积的比值来衡量。水利设施能够改善农业生产条件,减少旱涝等自然灾害对农业生产的影响,所以预期该变量的回归系数为正。五是“农村人力资本”,采用农村人均受教育年限来衡量,参照叶初升和马玉婷(2020)的做法<sup>[49]</sup>,设定文盲或半文盲、小学、初中、高中、中专、大专及以上6种类别的受教育年限分别为1、6、9、12、12、15.5,通过各类别受教育年限的人口比例乘以相应的受教育年限后加总得到。农业劳动力的受教育程度越高,其劳动技能和接受新知识、新技术的能力越强,有利于新技术的推广和采纳,因而预期该变量的回归系数为正。六是“财政支农水平”,采用农林水事务支出与农林牧渔业增加值的比值来衡量。财政支农有助于农业生产,因此预期该变量的回归系数为正。

### 3. 数据处理

基于数据的可获得性和可比性,本文使用我国31个省份(不包括港澳台地区)2008—2021年的面板数据来进行实证检验。其中,农村人口受教育年限来自《中国人口和就业统计年鉴》,农作物受灾面积和耕地面积来自《中国农村统计年鉴》,第一产业从业人数来自各省份统计年鉴,农业机械总动力、畜牧业机械动力和渔业机械动力来自《中国农业机械工业年鉴》,农机购置补贴来自布瑞克农业数据终端、《中国农业机械化年鉴》以及农业农村部农机购置补贴信息公开专栏,其他相关数据来自国家统计局网站,缺失数据通过插值法补齐。运用MAXDEA软件计算农业GTFP和农业TFP,并对核心解释变量进行前后1%的缩尾处理,以减轻异常值对回归结果的影响。表1是本文主要变量的描述性统计结果。

表1 主要变量描述性统计结果

	变 量	样本量	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	农业 GTFP	434	1.229	0.303	0.478	2.212
	农业绿色技术进步	434	1.228	0.311	0.528	2.369
	农业绿色技术效率	434	1.010	0.118	0.474	1.309
	农业 TFP	434	1.196	0.297	0.533	2.437
	农业技术进步	434	1.200	0.304	0.601	2.317
	农业技术效率	434	1.012	0.168	0.476	1.690
核心解释变量	农机购置补贴	434	725.027	790.487	49.788	4 511.401
控制变量	农作物种植结构	434	0.663	0.142	0.355	0.984
	自然灾害程度	434	0.170	0.135	0.006	0.695
	工业化水平	434	0.476	0.086	0.188	0.634
	农村水利基础设施	434	0.456	0.204	0.172	1.234
	农村人力资本	434	7.704	0.772	4.296	9.853
	财政支农水平	434	0.512	0.759	0.071	5.001

表 2 的计算结果显示,2008—2021 年我国农业 GTFP 持续提升,年均增速达到 3.87%,其中,农业绿色技术进步增速为 4.12%,农业绿色技术效率增速为-0.24%,表明我国农业 GTFP 的增长主要依靠技术进步推动,这与大多数文献的研究结论一致(王奇等,2012;李文华等,2019;郭海红等,2020;纪成君等,2020)<sup>[3][50-52]</sup>。分区域来看,东部、中部和西部地区的农业 GTFP 年均增速分别为 3.78%、4.27%和 3.69%,中部地区的增速较高可能是因为中部地区多为产粮大省,我国实施的强农惠农政策具有明显向粮食主产区倾斜的特征,推动了中部地区农业生产技术的研发和推广,使该地区的农业技术进步较快。

表 2 2008—2021 年农业 GTFP 和 TFP 指数及其分解

年份	农业 GTFP 指数	农业绿色技术进步 指数	农业绿色技术效率 指数	农业 TFP 指数	农业技术进步 指数	农业技术效率 指数
2008	1.003 0	0.979 8	1.023 7	0.991 2	0.962 6	1.029 7
2009	0.995 1	1.008 5	0.986 7	0.986 3	0.991 4	0.994 9
2010	1.001 1	0.999 4	1.001 7	0.998 1	1.012 0	0.986 3
2011	1.024 1	1.032 7	0.991 6	1.022 6	1.029 3	0.993 5
2012	1.018 1	1.011 6	1.006 4	1.016 5	1.015 3	1.001 3
2013	1.032 7	1.026 6	1.006 0	1.035 3	1.034 2	1.001 1
2014	1.027 9	1.025 0	1.002 9	1.027 8	1.027 7	1.000 2
2015	1.036 4	1.051 9	0.985 3	1.038 3	1.052 4	0.986 6
2016	1.049 2	1.040 0	1.008 9	1.046 0	1.048 5	0.997 6
2017	1.059 5	1.072 5	0.987 8	1.059 0	1.055 9	1.002 9
2018	1.070 0	1.087 2	0.984 2	1.065 2	1.082 3	0.984 2
2019	1.080 4	1.073 2	1.006 7	1.072 2	1.063 8	1.007 9
2020	1.066 6	1.084 4	0.983 5	1.053 6	1.076 6	0.978 7
2021	1.083 1	1.092 0	0.991 9	1.102 8	1.096 5	1.005 7
全国	1.038 7	1.041 2	0.997 6	1.036 3	1.038 6	0.997 8
东部	1.037 8	1.039 2	0.998 6	1.033 1	1.035 3	0.997 9
中部	1.042 7	1.047 0	0.995 9	1.044 4	1.046 4	0.998 1
西部	1.036 9	1.039 1	0.997 8	1.033 9	1.036 4	0.997 5

注:(1)表中的平均值为几何平均值;(2)东部地区包括北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东和海南;中部地区包括山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北和湖南;西部地区包括内蒙古、广西、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆和西藏。

## 四、实证结果分析

### 1. 假说 1 的检验结果

Huasman 检验结果显示 P 值为 0.000,拒绝随机效应假设,故采用固定效应回归模型来进行估计。模型(1)和(2)的回归结果见表 3。(1)~(3)列逐步加入控制变量,模型拟合优度逐步提高,且核心解释变量符号没有发生改变,因此(3)列的估计结果更为准确。需要说明的是,(3)列中加入了“财政支农水平”滞后一期项,是由于当期“财政支农水平”的估计系数显著为负,与理论预期不符(其他控制变量的回归系数符号均与理论预期一致),但与叶初升和惠利(2016)、Wang 等(2022)的分析结果一致<sup>[5][53]</sup>,其原

因可能是财政支农政策发挥作用具有一定的滞后性,因此参考叶初升和惠利(2016)的做法<sup>[5]</sup>,在模型中引入“财政支农水平”变量的滞后一期项,回归结果显示其估计系数显著为正,表明财政支农对农业 GTFP 提升的促进作用确实具有滞后性。此外,在后文的模型分析中均加入了“财政支农水平”滞后一期项。

根据(3)(4)列的回归结果,“农机购置补贴”对“农业 GTFP”和“农业 TFP”的估计系数均在 1%的水平上显著为正,表明农机购置补贴的增加显著提高了农业 GTFP 和农业 TFP;从系数大小来看,“农机购置补贴”对“农业 TFP”的估计系数(0.141)大于对“农业 GTFP”的估计系数(0.131),表明农机购置补贴增加相同幅度时,农业 TFP 提高的幅度大于农业 GTFP 提高的幅度。由此,假说 1 的前半部分得到验证。进一步检验农机购置补贴对农业总产值、农业碳排放量和农业碳排放强度(农业碳排放量与农业总产值之比)的影响,回归结果见表 4。农机购置补贴对农业产出和碳排放均具有正向影响,同时也降低了农业碳排放强度,表明农机购置补贴产生的经济增长效应大于环境污染效应,从而促进了农业 GTFP 提升,该结论也与前文的理论分析相一致。

表 3 农机购置补贴对农业 GTFP 和农业 TFP 的影响

变 量	(1)	(2)	(3)	(4)
	农业 GTFP	农业 GTFP	农业 GTFP	农业 TFP
农机购置补贴	0.142*** (0.034)	0.130*** (0.035)	0.131*** (0.040)	0.141*** (0.039)
农作物种植结构		-0.535 (0.539)	-0.867 (0.559)	-0.760 (0.557)
自然灾害程度		-0.503*** (0.120)	-0.354*** (0.111)	-0.323*** (0.113)
工业化水平		-2.584** (0.942)	-2.900*** (0.706)	-2.848*** (0.644)
农村水利基础设施			0.629* (0.345)	0.646** (0.292)
农村人力资本			0.300*** (0.057)	0.276*** (0.059)
财政支农水平			-0.379*** (0.091)	-0.317*** (0.090)
L1. 财政支农水平			0.215** (0.094)	0.162* (0.087)
常数项	-0.701*** (0.210)	1.042** (0.486)	-1.142* (0.621)	-1.156** (0.565)
个体固定效应	控制	控制	控制	控制
N	434	434	403	403
R <sup>2</sup>	0.215	0.373	0.533	0.527

注:\*\*\*、\*\*和\*分别表示 1%、5%和 10%的显著性水平,括号内为稳健标准误,下表同。

表 4 农机购置补贴的经济增长效应与环境污染效应

变 量	农业总产值	农业碳排放量	农业碳排放强度
农机购置补贴	0.224*** (0.024)	0.083*** (0.027)	-0.041*** (0.008)
常数项	5.397*** (0.529)	5.469*** (0.469)	0.604*** (0.167)
控制变量	控制	控制	控制
个体固定效应	控制	控制	控制
N	403	403	403
R <sup>2</sup>	0.680	0.453	0.571

模型(3)~(6)的回归结果表明(见表 5):农机购置补贴可以显著促进农业绿色技术进步和农业技术进步,而对农业绿色技术效率和农业技术效率的影响不显著,这意味着农机购置补贴主要是通过技术

进步渠道影响农业 GTFP 和农业 TFP,而技术效率改善渠道未能发挥显著作用,假说 1 的后半部分得以验证。因此,在通过机械化促进农业技术进步的同时,如何有效改善农业技术效率,是进一步提升农业 GTFP 和农业 TFP 需要解决的关键问题。此外,通过系数对比可以发现,农机购置补贴对农业绿色技术进步的促进作用小于对农业技术进步的促进作用,表明当前农机购置补贴推动的农业技术进步更多地偏向经济增长效益,相关政策还需要增强对农业绿色发展的引导和激励,以不断提高农业技术进步的环境治理效益。

表 5 农机购置补贴对农业技术进步和农业技术效率的影响

变 量	农业绿色技术进步	农业绿色技术效率	农业技术进步	农业技术效率
农机购置补贴	0.165*** (0.037)	-0.033 (0.021)	0.191*** (0.028)	-0.051 (0.031)
常数项	-1.124* (0.576)	-0.020 (0.383)	-0.915 (0.663)	-0.239 (0.578)
控制变量	控制	控制	控制	控制
个体固定效应	控制	控制	控制	控制
N	403	403	403	403
R <sup>2</sup>	0.568	0.064	0.609	0.203

## 2. 稳健性检验

为进一步检验回归结果的可靠性,本文进行如下稳健性检验:一是替换被解释变量。GTFP 的测算有多种,其中基于 SBM 模型和全局参比的 Malmquist 指数法也被广泛运用,因此,采用 SBM-GML 指数模型测算农业 GTFP,重新进行模型检验。二是更换核心解释变量。参考潘经韬等(2018)的做法<sup>[54]</sup>,采用历年亩均累计农机购置补贴资金(“农机购置补贴 1”)作为核心解释变量,重新进行模型回归。三是删除特殊样本。考虑到直辖市具有较大的特殊性,删除直辖市样本后重新进行模型检验。上述稳健性检验结果均表明(见表 6),农机购置补贴增加显著促进了农业 GTFP 提升。

同时,为缓解遗漏变量、样本自选择等模型内生性问题对估计结果的影响,采用工具变量法和倾向得分匹配进行内生性处理。选择除本省以外其他省份的农机购置补贴变量的平均值作为“农机购置补贴”的工具变量,运用两阶段最小二乘法进行回归。中央财政通常根据各地区的发展条件、往年政策实施情况等确定每年的补贴资金规模,其他地区获得的农机购置补贴平均值与本地区的农机购置补贴具有相关性,但对本地区农业 GTFP 不会产生直接影响,满足工具变量的相关性和排他性要求。第一阶段的回归结果显示,工具变量对“农机购置补贴”的估计系数(1.083)在 1%的水平上显著为正,且 F 统计量(793.35)远大于 10。第二阶段的回归结果显示(见表 6),拟合的“农机购置补贴”对“农业 GTFP”的估计系数仍然在 1%水平上显著为正。同时,Kleibergen-Paap rk LM 统计量的 P 值为 0.000,拒绝工具变量识别不足的原假设;Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量远远大于 10%水平的临界值,表明不存在弱工具变量问题,工具变量的选取是合理的。可见,在缓解内生性问题后,本文的基本结论依然成立。为进一步缓解内生性,参考杜建国等(2023)的方法<sup>[32]</sup>,以“农机购置补贴”的中位数为分段点(将高于中位数的样本作为处理组,其余样本作为对照组),以控制变量为匹配协变量,通过 Logit 模型计算倾向得分,分别采用半径匹配、1:4 近邻匹配和核匹配剔除不在共同取值范围内的样本,进而使用匹配后的样本重新进行模型检验。表 7 汇报了使用三种匹配方法得到的回归结果,核心解释变量的系数均在 1%的水平上显著为正,表明本文的基本结论具有较好的稳健性。

表 6 稳健性检验结果

变 量	替换被解释变量	替换核心解释变量	剔除直辖市样本	工具变量法第二阶段
农机购置补贴	0.144 ** (0.064)		0.112 *** (0.036)	0.203 *** (0.022)
农机购置补贴 1		0.184 *** (0.027)		
常数项	-1.502 (0.926)	0.017 (0.397)	-0.735 (0.663)	-2.359 *** (0.439)
控制变量	控制	控制	控制	控制
个体固定效应	控制	控制	控制	控制
Kleibergen-Paap rk LM 统计量				120.134 [0.000]
[ ] 内为 P 值				
Kleibergen-Paap rk Wald F 统计量				793.346 { 16.38 }
{ } 内为 10% 水平上的临界值				
N	403	403	351	403
R <sup>2</sup>	0.502	0.678	0.554	0.701

表 7 倾向得分匹配检验结果

	匹配方法	处理组	对照组	ATT	标准误	t 值
	半径匹配	0.289 7	0.143 2	0.146 5 ***	0.034 9	4.20
农机购置补贴	1 : 4 近邻匹配	0.274 0	0.172 7	0.101 4 ***	0.030 5	3.33
	核匹配	0.274 0	0.170 4	0.103 6 ***	0.029 6	3.50

### 3. 假说 2 的检验结果(异质性分析)

本文采用分组检验的方法进行异质性分析,根据前文理论分析对样本进行以下分组:一是以“农村人力资本”的中位数为标准将样本划分为“高人力资本”和“低人力资本”两组;二是参考李克乐和杨宏力(2022)的方法<sup>[55]</sup>,将平原面积占比超过 30%的省份归为“Ⅰ类地形区”<sup>①</sup>,其余省份归为“Ⅱ类地形区”;三是采用环境污染治理投资额占 GDP 的比重来衡量环境规制水平<sup>②</sup>,根据其中位数将样本划分为“高环境规制”和“低环境规制”两组。分组检验的结果见表 8,可以发现农机购置补贴对农业 GTFP 和农业 TFP 的影响具有类似的异质性表现。

总体上看,在农村人力资本水平较高的地区、平原面积占比较高的地区、环境规制较强的地区,农机购置补贴显著促进了农业 GTFP 和农业 TFP 提升;而在农村人力资本水平较低的地区、平原面积占比较低的地区、环境规制较弱的地区,农机购置补贴对农业 GTFP 和农业 TFP 的影响均不显著。由此,假说 2 得到验证。进一步比较农机购置补贴对农业 GTFP 和农业 TFP 的影响,在人力资本水平较高地区和平原面积占比较高地区,与全样本分析结果一致,农机购置补贴对农业 GTFP 的提升作用小于对农业 TFP 的提升作用;而在环境规制较强地区,农机购置补贴对农业 GTFP 的提升作用大于对农业 TFP 的提升作

① “Ⅰ类地形区”包括北京、天津、河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、上海、江苏、安徽、山东、河南、宁夏和新疆。

② 环境污染治理投资额和 GDP 分别用固定资产投资价格指数和 GDP 指数进行平减,由于西藏的固定资产投资价格指数未公布,参照单豪杰(2008)的做法<sup>[56]</sup>,将地理位置靠近西藏且与西藏发展水平相似的青海和新疆的投资价格指数的算术平均值作为替代指标。

用,表明环境规制的增强会促使农机生产企业增加环保型农机供给,也会促使农业生产经营者更多地使用绿色清洁技术,从而增强农业技术进步的绿色偏向,实现更快的农业 GTFP 增长。

表 8 异质性分析结果

Panel A:农机购置补贴影响农业 GTFP 的异质性						
变量	高人力资本	低人力资本	I 类地形区	II 类地形区	高环境规制	低环境规制
农机购置补贴	0.227*** (0.026)	0.033 (0.057)	0.214*** (0.026)	0.019 (0.054)	0.093** (0.042)	0.056 (0.083)
常数项	0.221*** (0.044)	0.337*** (0.050)	-0.478 (0.467)	-0.370 (1.219)	-0.515 (0.571)	-0.804 (1.372)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
个体固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	212	191	182	221	224	179
R <sup>2</sup>	0.635	0.508	0.675	0.573	0.493	0.516
Panel B:农机购置补贴影响农业 TFP 的异质性						
变量	高人力资本	低人力资本	I 类地形区	II 类地形区	高环境规制	低环境规制
农机购置补贴	0.239*** (0.029)	0.035 (0.053)	0.234*** (0.034)	0.016 (0.053)	0.090* (0.045)	0.076 (0.071)
常数项	0.201*** (0.051)	0.336*** (0.055)	-0.427 (0.423)	-0.476 (1.064)	-0.518 (0.456)	-0.959 (1.288)
控制变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
个体固定效应	控制	控制	控制	控制	控制	控制
N	212	191	182	221	224	179
R <sup>2</sup>	0.645	0.534	0.683	0.551	0.486	0.478

## 五、结论与启示

2004 年起实施的农机购置补贴政策有效推动了农业机械化发展,促进了农业技术进步和农业生产效率提高。然而,农业机械化在带来经济增长效应的同时,也会产生环境污染效应,尽管污染物排放强度持续降低,但污染物排放总量有所增加,进而导致农业 GTFP 增长慢于农业 TFP 增长。本文采用 2008—2021 年 31 个省份的数据,运用面板固定效应模型检验农机购置补贴对农业 GTFP 的影响,结果发现:(1)农机购置补贴对农业总产值和农业碳排放量均具有正向影响,同时也降低了农业碳排放强度,表明农机购置补贴产生的经济增长效应大于环境污染效应。(2)农机购置补贴显著促进了农业 GTFP 提升,该结论在经过替换变量、优化样本、工具变量法和倾向得分匹配等稳健性检验后仍然成立。(3)农机购置补贴增加相同幅度时,农业 GTFP 提高的幅度小于农业 TFP 提高的幅度,表明农机购置补贴对农业 GTFP 的正向影响小于其对农业 TFP 的正向影响。(4)农机购置补贴主要通过促进技术进步的渠道来促进农业 GTFP 和农业 TFP 提升,而技术效率改善渠道未能发挥显著作用,此外,农机购置补贴对农业绿色技术进步的促进作用小于对农业技术进步的促进作用。(5)在农村人力资本水平较高地区、平原面积占比较高地区和环境规制较强地区农机购置补贴显著促进了农业 GTFP 提升,而在农村人力资本水

平较低地区、平原面积占比较低地区和环境规制较弱地区农机购置补贴对农业 GTFP 的影响不显著,表明提高人力资本水平和环境治理力度有利于增强农机购置补贴的农业 GTFP 提升效应;另外,在环境规制较强地区农机购置补贴对农业 GTFP 的提升作用大于对农业 TFP 的提升作用,表明增强环境规制有利于实现更快的农业 GTFP 增长。

基于上述结论,本文提出以下启示:第一,应增强财政支农政策的普惠性和及时性,并提高绿色化倾向,有效促进农业 GTFP 提升。一方面,要加大对农机购置补贴等支农政策的宣传力度,加快补贴资金兑付进度,及时公开补贴的实施方案、资金规模等信息,从而进一步发挥补贴政策的杠杆作用,推动农业技术进步和效率提升;另一方面,在评价农机购置补贴等支农政策的政策效果时需要考虑环境效应,要将补贴等激励措施与可持续发展、高质量发展目标挂钩,比如,加大对绿色低碳农机生产和使用的补贴力度,让更多高性能、绿色化农机尽快投入市场,积极推动低碳农业机械化。第二,应完善配套政策,加强基础设施建设,有效提高农业技术效率。目前,农业技术效率改善还面临诸多障碍,导致农机购置补贴未能通过技术效率改善渠道促进农业 GTFP 和农业 TFP 增长。要通过加快农机耕道和农机维修网点等农业机械化基础设施建设、推进农机作业补贴、加强农机技术培训服务等,解决农户在购买农机后存在的“不能用”“用不起”“不会用”难题;要通过加强职业技能培训、完善劳动力流动和土地流转机制、健全统一开放的要素市场等,推动劳动力、土地、资本等要素自由流动,为提高农业要素配置效率创造良好的外部条件。第三,应着力提高农村劳动力的人力资本水平,适当提高环境规制强度,充分发挥农机购置补贴等支农政策对农业 GTFP 的提升作用。此外,还应提高补贴政策的指向性和精准性,比如,以适用性为标准优化调整丘陵山区的补贴机具等。

#### 参考文献:

- [1] 郭海红,刘新民. 中国农业绿色全要素生产率的时空分异及收敛性[J]. 数量经济技术经济研究,2021,38(10):65-84.
- [2] 谢文帅. 建设农业强国:内涵要义、衔接机理与实践路径[J]. 经济学家,2023(9):108-118.
- [3] 王奇,王会,陈海丹. 中国农业绿色全要素生产率变化研究:1992—2010年[J]. 经济评论,2012(5):24-33.
- [4] 葛鹏飞,王颂吉,黄秀路. 中国农业绿色全要素生产率测算[J]. 中国人口·资源与环境,2018,28(5):66-74.
- [5] 叶初升,惠利. 农业财政支出对中国农业绿色生产率的影响[J]. 武汉大学学报(哲学社会科学版),2016,69(3):48-55.
- [6] 马国群,谭砚文. 环境规制对农业绿色全要素生产率的影响研究——基于面板门槛模型的分析[J]. 农业技术经济,2021(5):77-92.
- [7] 金绍荣,王佩佩. 人口老龄化、农地流转与农业绿色全要素生产率[J]. 宏观经济研究,2023(1):101-117.
- [8] 李健旋. 农村金融发展与农业绿色全要素生产率提升研究[J]. 管理评论,2021,33(3):84-95.
- [9] 韩海彬,杨冬燕. 农业产业集聚对农业绿色全要素生产率增长的空间溢出效应研究[J]. 干旱区资源与环境,2023,37(6):29-37.
- [10] 杨秀玉,仝锦涛. 农产品贸易对农业绿色全要素生产率的空间溢出效应——基于农业产业集聚的调节作用[J]. 中国农业资源与区划,2023,44(11):15-27.
- [11] 匡远配,张昊鹏. 农地流转提升了农业绿色全要素生产率吗? [J]. 世界农业,2024(2):59-71.
- [12] 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.
- [13] 郭海红. 数字乡村建设、资源要素错配与农业绿色全要素生产率[J]. 中国地质大学学报(社会科学版),2024,24(1):102-116.
- [14] 李农,万祎. 我国农机购置补贴的宏观政策效应研究[J]. 农业经济问题,2010,31(12):79-84.
- [15] 王霞云,郭慧文. 农机购置补贴对农业全要素生产率的影响分析[J]. 中国农业文摘-农业工程,2021,33(3):47-53.
- [16] 许庆,贾杰斐,周天舒. 农机购置补贴如何影响农业全要素生产率? [J]. 财经研究,2023,49(6):109-123.

- [17] 田晓晖,李薇,李戎. 农业机械化的环境效应——来自农机购置补贴政策的证据[J]. 中国农村经济,2021(9):95-109.
- [18] 邹强. 农机具购置补贴对农业绿色全要素生产率的影响研究[D]. 云南财经大学,2023.
- [19] 王许沁,张宗毅,葛继红. 农机购置补贴政策:效果与效率——基于激励效应与挤出效应视角[J]. 中国农村观察,2018(2):60-74.
- [20] 张宗毅,王许沁,葛继红. 中国农机化效率:区域差异及购置补贴影响效应——基于省域视角和 DEA - Tobit 模型的分析[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版),2019,20(3):1-8.
- [21] 刘进,贾杰斐,许庆. 农机购置补贴如何影响小农户农机社会化服务获得——基于全国农村固定观察点数据的分析[J]. 中国农村经济,2023(2):85-108.
- [22] 刘运材,罗能生. 互联网发展对城市绿色全要素生产率的影响——基于全要素生产率分解视角[J]. 软科学,2022,36(7):46-52+61.
- [23] 徐清华,张广胜. 农业机械化对农业碳排放强度影响的空间溢出效应——基于 282 个城市面板数据的实证[J]. 中国人口·资源与环境,2022,32(4):23-33.
- [24] 贺青,张俊飏,张虎. 农业机械化对农业碳排放的影响——来自粮食主产区的实证[J]. 统计与决策,2023,39(1):88-92.
- [25] YÖRÜK K B, ZAIM O. Productivity growth in OECD countries: a comparison with Malmquist indices[J]. Journal of Comparative Economics,2005,33(2):401-420.
- [26] 吕炜,张晓颖,王伟同. 农机具购置补贴、农业生产效率与农村劳动力转移[J]. 中国农村经济,2015(8):22-32.
- [27] 钱龙,陈会广,叶俊焘. 成员外出务工、家庭人口结构与农户土地流转参与——基于 CFPS 的微观实证[J]. 中国农业大学学报,2019,24(1):184-193.
- [28] 盖庆恩,李承政,张无珂,等. 从小农户经营到规模经营:土地流转与农业生产效率[J]. 经济研究,2023,58(5):135-152.
- [29] 郜亮亮,纪月清. 中国城乡转型中的农村土地集体产权与流转配置效率[J]. 中国农村经济,2022(10):24-40.
- [30] 毛慧,曹光乔. 作业补贴与农户绿色生态农业技术采用行为研究[J]. 中国人口·资源与环境,2020,30(1):49-56.
- [31] 潘经韬,陈池波. 农机购置补贴政策实施效果的差异分析——基于湖北省 2006—2015 年县级面板数据的实证[J]. 农林经济管理学报,2019,18(2):152-160.
- [32] 杜建国,李波,杨慧. 人口老龄化下农业人力资本对农业绿色全要素生产率的影响[J]. 中国人口·资源与环境,2023,33(9):215-228.
- [33] 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.
- [34] 潘彪,田志宏. 购机补贴政策对中国农业机械使用效率的影响分析[J]. 中国农村经济,2018(6):21-37.
- [35] 祝宏辉,杜美玲,尹小君等. 乡村振兴战略下农地规模经营对农业绿色发展的影响[J]. 调研世界,2023(7):55-66.
- [36] 李波,张俊飏,李海鹏. 中国农业碳排放时空特征及影响因素分解[J]. 中国人口·资源与环境,2011,21(8):80-86.
- [37] 王兵,吴延瑞,颜鹏飞. 中国区域环境效率与环境全要素生产率增长[J]. 经济研究,2010,45(5):95-109.
- [38] 蔡乌赶,周小亮. 中国环境规制对绿色全要素生产率的双重效应[J]. 经济学家,2017(9):27-35.
- [39] OH D. A global Malmquist-Luenberger productivity index[J]. Journal of Productivity Analysis,2010,34(3):183-197.
- [40] 杜江,王锐,王新华. 环境全要素生产率与农业增长:基于 DEA-GML 指数与面板 Tobit 模型的两阶段分析[J]. 中国农村经济,2016(3):65-81.
- [41] 杜建军,章友德,刘博敏等. 数字乡村对农业绿色全要素生产率的影响及其作用机制[J]. 中国人口·资源与环境,2023,33(2):165-175.
- [42] CHUNG Y H, FÄRE R, GROSSKOPF S. Productivity and undesirable outputs: a directional distance function approach[J]. Journal of Environmental Management,1997,51(3):229-240.
- [43] 李华,董艳玲. 中国经济高质量发展水平及差异探源——基于包容性绿色全要素生产率视角的考察[J]. 财经研究,2021,47(8):4-18.
- [44] OH D, HESHMATI A. A sequential Malmquist - Luenberger productivity index: environmentally sensitive productivity

- growth considering the progressive nature of technology[J]. *Energy Economics*,2010,32(6):1345-1355.
- [45] 展进涛,徐钰娇,葛继红.考虑碳排放成本的中国农业绿色生产率变化[J].*资源科学*,2019,41(5):884-896.
- [46] 邓晓兰,鄢伟波.农村基础设施对农业全要素生产率的影响研究[J].*财贸研究*,2018,29(4):36-45.
- [47] 余志刚,孙子焯,金鑫.秸秆还田与农业绿色全要素生产率:促进还是抑制?[J].*干旱区资源与环境*,2023,37(9):36-45.
- [48] 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.
- [49] 叶初升,马玉婷.人力资本及其与技术进步的适配性何以影响了农业种植结构?[J].*中国农村经济*,2020(4):34-55.
- [50] 李文华,郭丰,陈永强.中国区域农业绿色全要素生产率分解及收敛性分析[J].*重庆工商大学学报(社会科学版)*,2019,36(2):29-39.
- [51] 郭海红,刘新民.中国农业绿色全要素生产率时空演变[J].*中国管理科学*,2020,28(9):66-75.
- [52] 纪成君,夏怀明.我国农业绿色全要素生产率的区域差异与收敛性分析[J].*中国农业资源与区划*,2020,41(12):136-143.
- [53] WANG S G,ZHU J Y,WANG L,et al. The inhibitory effect of agricultural fiscal expenditure on agricultural green total factor productivity[J]. *Scientific Reports*,2022,12(1):20933.
- [54] 潘经韬,陈池波.农机购置补贴对农机作业服务市场发展的影响——基于2004—2013年省级面板数据的实证分析[J].*华中农业大学学报(社会科学版)*,2018(3):27-34+153.
- [55] 李克乐,杨宏力.农业生产外包服务水平能否提高粮食生产?——基于2011~2020年省际面板数据的分析[J].*经济体制改革*,2022(5):83-91.
- [56] 单豪杰.中国资本存量K的再估算:1952—2006年[J].*数量经济技术经济研究*,2008,25(10):17-31.

## Research on the Impact of Agricultural Machinery Purchase Subsidies on Green Total Factor Productivity in Agriculture

TIAN Ai<sup>1</sup>, ZENG Ling-qiu<sup>2</sup>

(1. *Institute of Western China Economic Research, Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu 611130, Sichuan, China*; 2. *Institute of China Rural Revitalization, Sichuan Normal University, Chengdu 610068, Sichuan, China*)

**Abstract:** Accelerating the green and low-carbon transformation of agriculture is imperative for China to build a strong agricultural country and achieve the strategic goals of carbon peaking and carbon neutrality. How to improve the agricultural green total factor productivity (AGTFP) is the key issue facing the transformation. The agricultural machinery purchase subsidy policy implemented since 2004 has greatly promoted the development of agricultural mechanization in China, which in turn has contributed to the technological progress of agricultural production and the improvement of agricultural productivity. However, in addition to economic effects, the implementation of this subsidy policy also has an impact on the ecological environment. Existing literature lacks consideration of environmental effects when examining the impact of agricultural machinery purchase subsidies on AGTFP.

Based on the panel data of 31 provinces in China from 2008 to 2021, this paper uses the EBM-GML index model to measure the AGTFP of each province, and empirically examines the impact of agricultural machinery purchase subsidy on AGTFP through the panel fixed effect model, and makes a comparative analysis with the

traditional agricultural total factor productivity without considering environmental factors. It is found that agricultural machinery purchase subsidy has significantly improved AGTFP. After robustness tests such as replacing the explained variable, replacing the explanatory variable, replacing samples, endogenous treatment, and propensity score matching, the conclusions are still robust. The agricultural machinery purchase subsidy mainly promotes the growth of AGTFP through the channel of technological progress, with the channel of technical efficiency being less significant; if environmental factors are not considered, the promotion effect of agricultural machinery purchase subsidy on agricultural technology progress and AGTFP will be overestimated. The results of the heterogeneous analysis show that the promotion effect of agricultural machinery purchase subsidy on AGTFP will be more obvious in areas with higher levels of human capital, in plain areas, and in regions with higher environmental regulation levels.

Compared with the previous research, this paper expands on the following three aspects. Firstly, different from existing literature that predominantly examines the implementation effects of agricultural machinery purchase subsidies from a single economic or environmental perspective, this study expands the research scope by focusing on the agricultural green total factor productivity index, which considers both economic and environmental effects, thereby broadening the study of the effectiveness of agricultural machinery subsidy policies. Secondly, this paper compares and analyzes the impact of agricultural machinery purchase subsidies on agricultural technology progress and agricultural technology efficiency in different situations (with and without consideration of environmental factors), and investigates the green bias of agricultural machinery purchase subsidies. Thirdly, based on the heterogeneity of rural human capital levels, terrain conditions, and environmental regulation levels, the paper further explores the external supportive environment for promoting the improvement of AGTFP through agricultural machinery subsidies.

This paper reveals the underlying logic of how agricultural machinery subsidies affect AGTFP. It proposes strengthening support for complementary policies such as the construction of agricultural mechanization infrastructure, agricultural machinery technology training services, and land transfer. Additionally, it suggests integrating environmental effects into the policy evaluation of agricultural machinery subsidies. By doing so, government departments can maximize the supportive role of agricultural machinery purchase subsidies in promoting agricultural green development under the goal of the green and low-carbon transformation of agriculture.

**Key words:** agriculture; agricultural machinery purchase subsidy; green total factor productivity; technology progress; technology efficiency; environmental regulation; human capital

**CLC number:** F323.3; F310

**Document code:** A

**Article ID:** 1674-8131(2024)02-0094-16

(编辑:黄依洁;刘仁芳)