

粮食生产技术进步对碳排放强度的影响及作用机制

闫豪玮, 穆月英*

中国农业大学经济管理学院, 北京 100083

摘要 基于 2001—2020 年中国 31 个省份的面板数据, 测算各省粮食生产碳排放强度, 以 DEA-Malmquist 模型测算的粮食生产全要素生产率表征粮食生产技术进步, 并运用双向固定效应模型分析了粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响及作用机制。研究结果表明: 中国粮食生产碳排放强度呈现先上升再降低的趋势, 粮食生产技术进步呈现升高趋势; 粮食生产技术进步有利于降低粮食生产碳排放强度, 粮食生产技术进步 1 个单位, 粮食生产碳排放强度降低 0.38 t/万元; 粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度存在明显的异质性, 其削减作用在东、中部地区和粮食主产区更明显; 粮食生产技术进步降低粮食生产碳排放强度的作用机制为提高化肥、农药施用效率。为此, 要积极发挥粮食生产技术进步碳减排功能, 因地制宜推进粮食生产技术进步, 重点推广减肥减药技术, 不断提高化肥施用效率和农药施用效率。

关键词 粮食生产技术进步; 碳排放强度; 双向固定效应模型

气候变暖是当今世界面临的最严峻的环境问题之一, 对人类社会的可持续发展构成巨大威胁。《全球升温 1.5°C 特别报告》指出若无法将全球升温控制在 1.5°C 以内, 世界粮食安全、健康福祉以及经济发展等多方面将面临巨大挑战, 而温室气体的过量排放是导致气候变暖的主要原因^[1]。中国政府高度重视气候变暖问题, 积极推进经济发展绿色低碳

转型以减少温室气体排放, 力争在 2030 年前碳排放量达到峰值, 2060 年前实现碳中和的目标。实现“双碳”目标, 粮食作物的碳减排作用不容忽视, 粮食作物播种面积占农作物总播种面积的 70%, 且农粮系统产生的碳排放占全国碳排放总量的 14%^[2], 推动粮食产业碳减排意义重大。

粮食是农业农村经济发展的基础, 是农民收入

收稿日期: 2023-10-08; 修回日期: 2023-12-11

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(18ZDA074); 国家自然科学基金青年项目(72103201)

作者简介: 闫豪玮, 博士研究生, 研究方向为农业经济理论与政策, 电子信箱: yanhaowei147@163.com; 穆月英(通信作者), 教授, 研究方向为农业经济理论与政策, 电子信箱: yueyingmu@cau.edu.cn

引用格式: 闫豪玮, 穆月英. 粮食生产技术进步对碳排放强度的影响及作用机制[J]. 科技导报, 2024, 42(7): 66-75;

doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2023.10.01509

的重要来源。中国粮食产量从1990年4.46亿t增长到2020年6.69亿t,增幅达到50%,保障了国家粮食安全。但粮食生产过程中投入了大量的化肥、农药、农膜和能源等生产要素,仅化肥投入量就达到了382.35 kg/hm²,远高于发达国家的投入量^[3],这些生产要素的大量投入直接或间接产生了碳排放,增加了农业碳减排的压力^[4-5]。2022年中央一号文件明确提出减少农业投入品,而粮食生产技术进步是减少粮食生产要素投入,进而实现粮食碳减排的有效途径。但粮食生产技术进步的同时,粮食生产碳排放也可能出现间断性增加的现象。因此,明确粮食生产技术进步对碳排放强度的影响及其内在机理对实现粮食生产碳减排具有重大意义。

技术进步作为实现粮食生产碳减排目标的重要途径,受到众多研究人员的广泛关注。已有研究主要集中在3个方面:一是测算技术进步和碳排放总量。已有研究主要集中在农业技术进步和农业碳排放总量的测算,大多数研究者采用随机前沿生产函数和数据包络分析法测算了农业技术进步^[6-7],基于农业生产对象的生命周期测算了农业碳排放^[8],而侧重于粮食生产技术进步和碳排放的研究较少。随着研究的深入,郑志浩等^[9]测算了粮食种植业的技术进步,王雅楠等^[10]测算了粮食生产的碳排放总量。二是理论层面和实证层面分析技术进步对减少碳排放总量的效果。孙宁^[11]构建新古典经济学理论分析框架论证了技术进步是破解经济增长碳减排约束的重要途径。一些研究人员发现农业技术进步存在部分回弹效应,但其碳减排效果依然明显^[12]。农业技术进步的空间溢出效应显著^[13],通过区域间的技术扩散,可以增强技术进步的碳减排效果^[14]。三是探究碳减排的路径和潜力。陈宇斌等^[15]发现高标准农田建设需要提高农业规模经营效率,减少农业碳排放。程秋旺等^[16]发现数字普惠金融通过农业技术进步减少农业碳排放总量。通过技术进步,中国农业碳减排潜力巨大,在保障粮食安全的前提下,粮食生产可以减少34.5%的碳排放^[17-18]。

总体上,已有研究主要集中在农业技术进步对农业碳排放总量的影响,而将农业技术进步按照作

物类型进行细化,并进一步探究技术进步对粮食生产碳排放强度影响以及其作用机制的研究尚属少见。鉴于此,本研究测算粮食生产技术进步及碳排放强度,分析粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响,探讨生产技术进步降低碳排放强度的作用机制。

1 理论分析

在粮食生产实践中,传统生产要素化肥、农药、农膜、柴油的投入量持续增加,其导致粮食生产碳排放强度不断增加,提升粮食生产技术水平,利用先进的粮食生产技术替代传统生产要素,是我国粮食生产可持续发展的必由之路^[19]。粮食生产技术是指直接应用于粮食生产中的现实生产力,粮食生产技术进步是指突破原有粮食生产束缚的变革过程,包含前沿技术进步和综合技术效率。由图1可知,前沿技术进步是指种质创新、化肥农药减施技术、新型肥料农药农膜等生物化学技术和先进机械设备投入粮食生产,进而推动生产可能性边界外移的技术进步;综合技术效率是指经营制度创新以及经营管理能力使粮食生产实际产出尽可能接近生产可能性边界的技术进步^[20]。粮食生产技术进步过程中,一方面,化肥农药减施技术、新型肥料农药农膜技术以及新生产经验有助于提高化肥、农药、农膜等含碳要素投入的精准性,从而减少化肥、农药、农膜等碳要素的冗余投入,进而降低碳排放强度;另一方面,粮食生产技术进步可以提高化肥、农药、农膜含碳要素的利用效率,进而有助于降低碳排放强度。据此,本研究提出假说1。

假说1:粮食生产技术进步有助于降低粮食生产碳排放强度。

粮食生产活动的地区性较强,各地区农业资源禀赋不同,粮食生产技术水平、生产规模以及生产结构等存在较大差异,粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响也存在地区差异^[21]。通常来说,经济社会发展、地区农业资源禀赋会影响地区的粮食生产技术进步,进而对粮食生产碳排放强度产生差异性影响。同时,粮食生产逐步出现向粮食

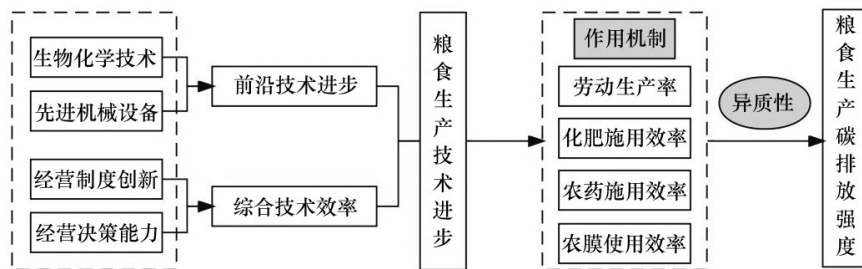


图1 粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度影响的理论框架

生产优势地区集聚的现象,粮食生产的集聚一方面会产生规模效应;另一方面,因为生产要素的过度集中产生拥挤效应,进而出现地区间粮食生产技术的碳减排效果的差异。据此,本研究提出假说2。

假说2:粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响存在异质性。

在以上基础上,从投入的角度进一步挖掘粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响机制。结合已有研究,劳动、化肥、农药、农膜为粮食生产最主要的生产要素,也是粮食生产碳排放的最主要来源。粮食生产技术进步可以提高劳动、化肥、农药、农膜等要素的利用效率,在产量一定的情况下,劳动、化肥、农药和农膜利用效率的提高有助于减少各类要素投入,继而减少粮食生产碳排放,进而降低粮食生产碳排放强度。据此,本研究提出假说3。

假说3:粮食生产技术进步降低粮食碳排放强度的内在机制是提高劳动生产率、化肥施用效率、农药施用效率和农膜使用效率。

2 实证设计与描述性分析

2.1 模型设定

为了分析粮食生产技术进步对碳排放强度的影响效果,构建了双向固定效应模型如式(1):

$$qd_{it} = \beta_0 + \beta_1 tech_{it} + \theta \sum X_{it} + \lambda_t + u_i + \varepsilon_{it} \quad (1)$$

式中, i 表示省份, t 表示年份; qd_{it} 为被解释变量,表示省份 i 在 t 年的粮食生产碳排放强度; $tech_{it}$ 为核心解释变量,表示省份 i 在 t 年的粮食生产技术进步; X_{it} 表示控制变量; λ_t 表示时间固定效应; u_i 表示各地区固定效应; ε_{it} 表示误差项; β_0 、 β_1 和 θ 表示待估计参数。

2.2 变量测度与说明

2.2.1 被解释变量

粮食生产碳排放强度,以粮食生产为研究对象,测算粮食生产碳排放强度,借鉴已有研究,粮食生产碳排放的计算公式为:

$$qd_{it} = \frac{\sum_{j=1}^n E_{ijt}}{CZ_{it}} = \frac{\sum_{j=1}^n \mu_j Q_{ijt}}{CZ_{it}} \quad (2)$$

式中, E_{ijt} 表示 i 省份在 t 年时第 j 种碳源的碳排放量, μ_j 为各生产投入品的碳排放参数, Q_{ijt} 表示 i 省份在 t 年时第 j 种碳源的投入量, CZ_{it} 为 i 省份在 t 年时粮食生产产值。

其中,碳源包括化肥、农药、农膜、柴油和灌溉,5类碳源的碳排放系数分别为化肥0.90 kg/kg、农药4.93 kg/kg、农膜5.18 kg/kg、柴油0.59 kg/kg、灌溉20.48 kg/hm²。由于针对粮食生产化肥、农药、农膜、柴油和灌溉投入量的统计数据可获得性较低,本文参考文献[22],通过相应权重系数从大农业口径数据中计算粮食生产的各类投入,权重系数包括粮食作物与农作物播种面积之比(A_1),粮食作物与农作物播种面积之比×农业产值与农林牧渔业总产值之比(A_2),其中,粮食生产化肥投入为农业生产化肥折纯量× A_1 ,粮食生产农药投入为农业生产农药折纯量× A_1 ,粮食生产农膜投入为农业生产农膜施用量× A_1 ,粮食生产柴油投入为农用柴油折纯量× A_1 ,粮食生产灌溉投入为有效灌溉面积× A_1 。

2.2.2 核心解释变量

粮食生产技术进步为核心解释变量。参考Solow^[23]的研究,粮食生产全要素生产率反映粮食生产技术进步,本研究使用粮食生产全要素生产率来衡量粮食生产技术进步,具体做法为:以2001年

为基期,历年的粮食生产全要素生产率水平用上年度粮食生产全要素生产率乘以当年粮食生产全要素生产率增长率后求得,粮食生产全要素生产率增长率通过 DEA-Malmquist 模型测算得到。

$$M_i(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t) = \frac{D_i^t(x^t, y^t)}{D_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \left[\frac{D_i^{t+1}(x^{t+1}, y^{t+1})}{D_i^t(x^{t+1}, y^{t+1})} \times \frac{D_i^{t+1}(x^t, y^t)}{D_i^t(x^t, y^t)} \right]^{1/2} \quad (3)$$

式中, $M_i(x^{t+1}, y^{t+1}, x^t, y^t)$ 表示 t 期到 $t+1$ 期粮食全要素生产率变化。 (x^t, y^t) 和 (x^{t+1}, y^{t+1}) 分别表示 t 时期和 $t+1$ 时期的粮食生产投入量和产出变量。产出变量为粮食生产总值,并以粮食类商品价格指数进行平减处理,投入变量包括劳动力投入、土地投入、化肥投入和机械动力投入,其中,粮食生产产值为农业生产总值 $\times A_1$,粮食生产劳动力投入为第一产业从业人员 $\times A_2$,粮食生产机械动力投入为农机总动力 $\times A_1$ 。

2.2.3 控制变量

根据已有文献中关于影响粮食生产碳排放的研究^[24],选取农民收入水平、财政支农力度、城镇化水平、基础设施水平、第一产业占比、种植业占比、畜牧业占比、粮食产业集聚水平和农业灾害情况作为控制变量。此外,为了减少不可观测变量对估计结果造成的偏误,作出以下处理:一是在模型构建中加入省份的固定效应变量,减少各个省份因个体特征对估计结果造成的偏误;二是加入时间固定效应,减少时间因素对估计结果造成的偏误。

2.3 数据来源与描述性分析

选取 2001—2020 年中国 31 个省份的省级面板数据,所需数据均来自《中国统计年鉴》《中国农村统计年鉴》及各省统计年鉴。为消除价格变动的影响,经济数据均以 2000 年作为基期进行平减处理;为使宏观数据满足平稳性要求,部分变量数据进行对数化处理,各变量的描述性统计结果如表 1 所示。

表 1 变量含义和描述性分析

变量名称	变量说明	平均值	标准差
粮食生产碳排放强度/(t·万元 ⁻¹)	粮食生产单位经济产出的碳排放	0.40	0.12
粮食生产技术进步	粮食生产全要素生产率	1.05	0.07
农民收入水平/元	农村居民可支配收入,进行对数化处理	8.78	0.73
财政支农力度/%	财政农林水事务支出与地方财政一般预算支出之比	9.74	3.91
城镇化水平/%	地区城镇人口与地区总人口之比	49.72	17.65
基础设施水平/(km·km ⁻²)	地区公路里程与地区面积比值	0.74	0.50
第一产业占比/%	第一产业 GDP 与地区 GDP 之比	11.74	6.31
种植业占比/%	种植业产值与农业产业产值之比	52.16	8.69
畜牧业占比/%	畜牧业产值与农业产业产值之比	31.18	9.61
粮食产业集聚水平/%	粮食播种面积与农作物播种面积之比	66.05	13.29
农业灾害情况/%	农作物受灾面积与农作物播种面积之比	22.03	15.52
劳动生产率/(t·人 ⁻¹)	地区粮食产量与粮食生产劳动力投入之比	6.10	3.64
化肥施用效率/(t·t ⁻¹)	地区粮食产量与粮食生产化肥投入之比	16.48	5.79
农药施用效率/(t·t ⁻¹)	地区粮食产量与粮食生产农药投入之比	745.64	530.36
农膜使用效率/(t·t ⁻¹)	地区粮食产量与粮食生产农膜投入之比	490.82	406.95

3 实证结果与分析

3.1 粮食生产碳排放强度和技术进步测算结果

粮食生产碳排放强度和技术进步情况如图 2 所示。结果显示,2001—2020 年中国粮食生产碳排放强度总体呈现出“倒 U 型”(先上升,后降低),具体而言,2001—2004 年中国粮食生产碳排放强

度不断上升,由 2001 年 0.42 t/万元上升至 2004 年 0.47 t/万元,增幅达到 11.90%;2005—2020 年中国粮食生产碳排放强度不断下降,由 2005 年 0.46 t/万元降至 2020 年 0.28 t/万元,降幅达到 39.13%,其中,2016—2020 年中国粮食生产碳排放强度降速明显加快,降幅达到 28.21%。上述结果表明,2015 年中国提出绿色发展理念、农业部出台《到 2020 年

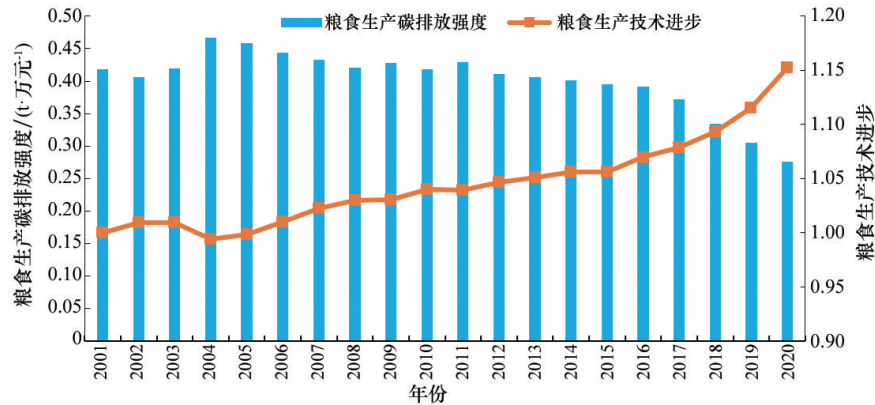


图2 2001—2020年粮食生产碳排放强度及技术进步情况

化肥使用量零增长行动方案》后,中国粮食生产中化肥等含碳要素的减量有效降低了碳排放强度。

与此同时,中国粮食生产技术进步总体呈现出不断升高的趋势,年平均增长率达到0.71%。具体而言,中国粮食生产技术进步在2002—2004年出现小幅度下降,2005—2015年总体呈现稳步提升,2016—2020年粮食生产技术进步速度明显加快,表明中国在粮食生产约束日益加剧促进了粮食生产技术进步,粮食生产技术进步成为激发中国粮食生产潜力的重要路径。

3.2 基准结果分析

为评估粮食生产技术进步对粮食生产碳排放

强度的影响,本研究控制了时间和地区固定效应进行回归,逐步加入控制变量,估计出粮食生产技术进步对粮食碳排放强度的影响。从表2可以看出,在所有回归结果中,粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度均具有显著影响,且系数为负,表明粮食生产技术进步有助于降低粮食生产碳排放强度,与魏梦升等^[25]的研究结果一致,假说1得到验证。与此同时,依据表2结果可知,粮食生产技术进步1个单位,粮食生产碳排放强度降低0.38 t/万元。

在控制变量中,农民收入水平、城镇化水平、第一产业占比和种植业占比可以显著影响粮食生产碳排放强度。具体而言,农民收入水平越高的地区

表2 粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度影响的估计结果

变量名称	粮食生产碳排放强度		
	模型 I	模型 II	模型 III
粮食生产技术进步	-0.589 ^{**} (0.257)	-0.614 ^{**} (0.241)	-0.381 [*] (0.187)
农民收入水平		-0.028(0.071)	-0.150 [*] (0.080)
财政支农力度		0.270(0.263)	0.160(0.186)
城镇化水平		-0.177(0.122)	-0.262 [*] (0.130)
基础设施水平		-0.060 [*] (0.032)	-0.042(0.039)
第一产业占比			-0.823 ^{***} (0.291)
种植业占比			-0.343 [*] (0.201)
畜牧业占比			0.186(0.217)
粮食产业集聚水平			0.016(0.113)
农业灾害情况			-0.003(0.021)
常数项	1.008 ^{***} (0.253)	1.322 [*] (0.695)	2.314 ^{***} (0.738)
时间固定效应	已控制	已控制	已控制
地区固定效应	已控制	已控制	已控制
观察值	620	620	620

注: *、**、***分别表示 10%、5% 和 1% 的显著性水平下显著,括号内数据为稳健标准误。

越容易降低碳排放强度,这是因为农民收入水平的提高会增强农户的环境感知,从而提高农户采纳绿色生产技术的概率,进而降低碳排放强度。城镇化水平越高,粮食生产碳排放强度越低,这主要是城镇化增加了绿色农产品的需求,从而有助于促进粮食的绿色生产,进而降低粮食生产碳排放强度,这与邵帅等^[26]城镇化与碳排放绩效呈“U型”关系的研究结论不同,可能的原因在于本研究主要为粮食生产,研究对象差别可能造成显著的差异。第一产业占比和种植业占比越高,粮食生产碳排放强度越低,可能的原因在于农业专业化水平的提高有助于降低农业技术创新的成本,从而加速粮食生产技术进步,从而有助于降低粮食生产碳排放,这与温世彬^[27]的研究结论相符。此外,财政支农力度、基础设施水平、畜牧业占比、粮食产业集聚水平和农业灾害情况对粮食碳排放强度的影响不显著。

3.3 内生性讨论

通过构建双固定效应模型和引入控制变量,遗漏变量和选择性偏误导致的内生性问题得到了较好的解决,但考虑到粮食生产技术进步和碳排放强度之间可能存在一定的反向因果问题,即粮食生产技术进步影响粮食生产碳排放,但反过来,粮食生产碳排放强度的增加会助推粮食生产技术进步。为解决反向因果问题导致的内生性问题,进而得到

无偏的回归结果,参考马九杰和崔恒瑜^[28]的做法,选取核心解释变量的前一期作为控制变量进行再次回归以解决可能存在的内生性问题,一方面,前一期粮食生产技术进步与当期粮食生产技术进步高度相关;另一方面,前一期粮食生产技术进步不会对当期粮食生产技术进步产生直接影响。因此,选择前一期粮食生产技术进步作为工具变量采用工具变量两阶段法(IV-2SLS)进行估计,估计结果见表3。

由表3前一期粮食生产技术进步对当期粮食生产技术进步的影响效应检验结果,可以看出,前一期粮食生产技术进步对当期粮食生产技术进步具有显著影响,表明工具变量和粮食生产技术进步显著相关,满足工具变量的相关性要求,且第一阶段回归的F值为125.19,显著大于10这一经验值,说明不存在弱工具变量问题,以上检验说明选择前一期粮食生产技术进步作为工具变量有效。由表3引入工具变量后粮食生产技术进步对碳排放强度的影响效应检验结果,可以看出,粮食生产技术进步可以降低碳排放强度,且在1%的统计水平上显著,同时,粮食生产技术进步1个单位,粮食生产碳排放强度降低0.46 t/万元,考虑反向因果问题后的估计结果与基准回归结果相近,进而验证粮食生产技术进步显著降低粮食生产碳排放强度的结果是稳健的。

表3 工具变量估计结果

变量名称	粮食生产技术进步	粮食生产碳排放强度
粮食生产技术进步		-0.462*** (0.070)
前一期粮食生产技术进步		
控制变量	0.920*** (0.031)	
常数项	已控制	已控制
时间固定效应	-0.585** (0.216)	2.208*** (0.356)
省级固定效应	已控制	已控制
观察值	589	589

注: *、**、***分别表示10%、5%和1%的显著性水平下显著,括号内数据为稳健标准误。

3.4 异质性分析

为进一步考察粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度影响的异质性,参考李波等^[29]、田云

等^[30]的研究,重点分析中国东、中、西部地区以及粮食主产区和非主产区粮食生产技术进步对碳排放强度影响的差异性(表4)。

表4 异质性分析结果

变量名称	粮食生产碳排放强度				
	东部地区	中部地区	西部地区	主产区	非主产区
粮食生产技术进步	-0.680*** (0.178)	-1.217** (0.490)	-0.223 (0.127)	-1.226* (0.636)	-0.326 (0.195)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
常数项	0.089 (0.973)	3.056** (1.077)	1.534 (1.234)	2.413** (1.066)	1.941*** (0.645)
时间固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
省级固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
观察值	220	160	240	260	360

注: *、**、***分别表示 10%、5% 和 1% 的显著性水平下显著, 括号内数据为稳健标准误。

一是东、中、西部地区差异。东、中、西部地区粮食生产的社会经济条件、自然资源禀赋和技术特点存在一定差异, 从而可能导致粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响存在差异。本研究将样本分为东、中、西部进行分组回归, 表4中东、中、西部地区粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响, 结果显示, 中部地区粮食生产技术进步的碳减排效果最有效, 且在 1% 统计水平上显著; 东部地区粮食生产技术进步的碳减排效果次之, 且在 1% 统计水平上显著; 而西部地区粮食生产技术进步的碳减排效果不显著。可能的原因: 中部地区和东部地区经济发展水平高, 碳排放的机会成本更高, 使中部地区和东部地区的粮食生产者更加注重粮食生产的可持续性, 进而更有助于降低碳排放强度; 而西部地区经济发展水平相对较低, 粮食生产者更加注重增产增效型技术, 使西部地区的粮食生产者更为依赖含碳要素的投入, 进而弱化了粮食生产技术进步的碳减排效应。

二是粮食主产区和非主产区的差异。参考张哲晰等^[31]的研究, 产业集聚会对碳减排产生影响, 粮食主产区往往会出现粮食生产的集聚, 从而可能导致粮食主产区和非主产区粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响存在差异。鉴于此, 本研究将样本分为粮食主产区和非主产区进行分组回归, 由表4粮食主产区和非主产区粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的回归结果可以看出, 主产区粮食生产技术进步对碳排放强度具有负向影响, 且在 10% 统计水平上显著; 而非主产区粮食

生产技术进步降低碳排放强度的作用效果不显著, 上述结果表明, 粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响在粮食主产区和非主产区存在显著差异, 且主产区粮食生产技术进步的碳减排效果明显优于非主产区。可能的原因: 粮食主产区逐步形成粮食生产的产业集聚, 从而实现了粮食生产的规模经济, 进而致使主产区粮食生产技术进步的碳减排效果更明显。

3.5 作用机制检验

上述结果表明, 粮食生产技术进步显著减少粮食生产碳排放强度, 但尚未回答粮食生产技术进步通过什么路径实现粮食生产碳排放强度的减少。结合中国粮食生产实际和已有相关研究^[32], 本研究考虑劳动生产率、化肥施用效率、农药施用效率、农膜使用效率为可能的传导路径, 即粮食生产技术进步降低碳排放强度的作用机制为提高劳动生产率、化肥施用效率、农药施用效率、农膜使用效率。借鉴江艇^[33]关于作用机制检验的研究, 将粮食生产技术进步分别对劳动力生产率、化肥施用效率、农药施用效率、农膜使用效率进行回归, 由表5粮食生产技术进步对劳动力生产率、化肥施用效率、农药施用效率、农膜使用效率影响的估计结果可以看出, 粮食生产技术进步对化肥施用效率、农药施用效率具有正向影响, 且在 1% 的统计水平上显著, 而粮食生产技术进步对劳动生产率和农膜使用效率的影响不显著, 也就是说粮食生产技术进步降低粮食生产碳排放强度的内在机制为提高化肥施用效率和农药施用效率。

表5 作用机制检验结果

变量名称	劳动生产率	化肥施用效率	农药施用效率	农膜使用效率
粮食生产技术进步	-4.496(3.726)	16.909*** (5.613)	746.937*** (249.548)	-706.910(872.621)
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制
常数项	-25.937(23.610)	-4.801(32.523)	-2829.870(1968.579)	3537.439(3409.828)
时间固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制
省级固定效应	已控制	已控制	已控制	已控制
观察值	620	620	620	620

注: *、**、***分别表示10%、5%和1%的显著性水平下显著,括号内数据为稳健标准误。

4 结论与政策建议

4.1 结论

粮食生产技术进步是实现降低粮食生产碳排放强度的关键,基于中国2001—2020年31个省份的面板数据,在构建理论分析框架的基础上,采用双向固定效应模型探究了粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响,得出以下结论。

1) 粮食生产技术进步有利于降低粮食生产碳排放强度,粮食生产技术进步1个单位,粮食生产碳排放强度降低0.38 t/万元。此外,农民收入水平、城镇化水平、第一产业占比和种植业占比的提高可以显著降低粮食生产碳排放强度。

2) 粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响存在异质性。粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响在东、中部地区更加明显,而在西部地区不明显,东、中部地区更加注重粮食的绿色生产;相比粮食非主产区,粮食生产技术进步对粮食生产碳排放强度的影响在主产区更明显,粮食产业集聚更有助于发挥粮食生产技术进步降低粮食生产碳排放强度。

3) 粮食生产技术进步通过提高化肥施用效率和农药施用效率降低粮食生产碳排放强度。粮食生产技术进步会显著提高化肥施用效率和农药施用效率,进而降低粮食生产碳排放强度,而劳动生产率和农膜使用效率并非粮食生产技术进步降低粮食生产碳排放的内在机制。

4.2 政策建议

基于上述结论,在当前农业绿色发展的背景下,为加快实现粮食生产低碳化、可持续发展,提出

以下政策建议。

1) 加大财政支持力度,推进粮食生产技术创新与应用,持续提升粮食生产的技术贡献率。一是以财政支持的方式激励粮食生产技术创新主体,鼓励高校院所、企业等多元主体参与粮食生产技术创新。二是加强粮食生产技术推广应用补贴力度,采用实物补贴、资金补贴以及技术示范和培训等多元化推广方式推动粮食生产技术推广应用。

2) 在顶层设计方面要注重粮食生产技术的地区异质性,因地制宜推进粮食生产技术的地区异质性,因地制宜推进粮食生产技术的地区异质性。在西部地区以及粮食非主产区要进一步推动粮食生产技术的扩散程度,加深粮食生产者对先进粮食生产技术的理解和认识,使粮食生产技术的进步可以发挥产业集聚的规模优势,进而实现这些地区粮食生产的碳减排。

3) 重点推广减肥减药技术,不断提高化肥施用效率和农药施用效率。逐步形成低碳型、低能耗型、环境友好型、资源节约型等一系列相互配套的化肥、农药利用体系,通过不断提高化肥施用效率和农药施用效率实现降低粮食生产碳排放强度的目标。

参考文献(References)

- [1] 魏玮, 文长存, 崔琦, 等. 农业技术进步对农业能源使用与碳排放的影响——基于GTAP-E模型分析[J]. 农业技术经济, 2018(2): 30-40.
- [2] 韩冬, 钟钰. 农业科技创新对粮食生产碳排放的影响——以中国三大粮食功能区为例[J]. 科技导报, 2023, 41(16): 32-42.
- [3] 魏后凯. 中国农业发展的结构性矛盾及其政策转型[J].

- 中国农村经济, 2017(5): 2-17.
- [4] 赵明正, 赵翠萍, 李天祥, 等. “零增长”行动背景下中国化肥使用量下降的驱动因素研究——基于LMDI分解和面板回归分析[J]. 农业技术经济, 2019(12): 118-130.
- [5] 郑玉雨, 葛察忠, 于法稳. 低碳视角下农业集约化、绿色化与资源再生的实现机制研究[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2022(1): 32-44.
- [6] 王璐, 杨汝岱, 吴比. 中国农户农业生产全要素生产率研究[J]. 管理世界, 2020, 36(12): 77-93.
- [7] 尹朝静, 李欠男, 马小珂. 中国县域农业全要素生产率增长的地区差异及动态演进[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2022(3): 108-118.
- [8] 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.
- [9] 郑志浩, 程申. 中国粮食种植业TFP增长率及其演进趋势: 1980—2018[J]. 中国农村经济, 2021(7): 100-120.
- [10] 王雅楠, 张琪琳, 陈伟. 基于碳汇功能的省域农业碳排放及减排潜力研究——以中国三种主要粮食作物为例[J]. 重庆社会科学, 2022(5): 58-75.
- [11] 孙宁. 如何实现碳减排约束下的经济增长——技术进步碳减排效应的理论和实证分析[J]. 中国软科学, 2010(增刊1): 123-132.
- [12] 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.
- [13] 何艳秋, 成雪莹, 王芳. 技术扩散视角下农业碳排放区域溢出效应研究[J]. 农业技术经济, 2022(4): 132-144.
- [14] 张军伟, 张锦华, 吴方卫. 我国粮食生产的碳排放及减排路径分析[J]. 统计与决策, 2018, 34(14): 168-172.
- [15] 陈宇斌, 王森. 农业综合开发投资的农业碳减排效果评估——基于高标准基本农田建设政策的事件分析[J]. 农业技术经济, 2023(6): 67-80.
- [16] 程秋旺, 许安心, 陈钦. “双碳”目标背景下农业碳减排的实现路径——基于数字普惠金融之验证[J]. 西南民族大学学报(人文社会科学版), 2022, 43(2): 115-126.
- [17] 高标, 房骄, 卢晓玲, 等. 区域农业碳排放与经济增长演进关系及其减排潜力研究[J]. 干旱区资源与环境, 2017, 31(1): 13-18.
- [18] 曹翔, 高瑀, 刘子琪. 农村人口城镇化对居民生活能源消费碳排放的影响分析[J]. 中国农村经济, 2021(10): 64-83.
- [19] 殷贺, 王为东, 王露, 等. 低碳技术进步如何抑制碳排放? ——来自中国的经验证据[J]. 管理现代化, 2020, 40(5): 90-94.
- [20] 穆月英, 张龙. 我国“藏粮于技”战略的实现路径与对策研究[J]. 中州学刊, 2022(12): 40-48.
- [21] 张童朝, 颜廷武, 何可, 等. 资本禀赋对农户绿色生产投资意愿的影响——以秸秆还田为例[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(8): 78-89.
- [22] 闵锐, 李谷成. “两型”视角下我国粮食生产技术效率的空间分异[J]. 经济地理, 2013, 33(3): 144-149.
- [23] Solow R M. Technical change and the aggregate production function[J]. The Review of Economics and Statistics, 1957, 39(3): 312-320.
- [24] 崔民, 张济舟, 夏显力. 参与培训对农户生态农业技术采纳行为的影响——基于生态认知的中介效应和遮掩效应[J]. 干旱区资源与环境, 2021, 35(11): 38-46.
- [25] 魏梦升, 颜廷武, 罗斯炫. 规模经营与技术进步对农业绿色低碳发展的影响——基于设立粮食主产区的准自然实验[J]. 中国农村经济, 2023(2): 41-65.
- [26] 邵帅, 范美婷, 杨莉莉. 经济结构调整、绿色技术进步与中国低碳转型发展——基于总体技术前沿和空间溢出效应视角的经验考察[J]. 管理世界, 2022, 38(2): 46-69.
- [27] 温世彬. 中国农业碳生产率测度及影响因素研究[D]. 北京: 中国农业大学, 2022.
- [28] 马九杰, 崔恒瑜. 农业保险发展的碳减排作用: 效应与机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(10): 79-89.
- [29] 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.
- [30] 田云, 吴海涛. 产业结构视角下的中国粮食主产区农业碳排放公平性研究[J]. 农业技术经济, 2020(1): 45-55.
- [31] 张哲晰, 穆月英. 产业集聚能提高农业碳生产率吗?[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(7): 57-65.
- [32] 徐湘博, 李畅, 郭建兵, 等. 土地转入规模、土地经营规模与全生命周期作物种植碳排放——基于中国农村发展调查的证据[J]. 中国农村经济, 2022(11): 40-58.
- [33] 江艇. 因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J]. 中国工业经济, 2022(5): 100-120.

On the impact of technological progress in grain production on carbon emission intensity and its action mechanism

YAN Haowei, MU Yueying*

College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China

Abstract This paper measures the carbon emission intensity of grain production in each province based on the panel data of 31 provinces in China from 2001 to 2020, characterizes the technological progress in grain production by the total factor productivity of grain production measured by the DEA-Malmquist model, and analyzes the impact of technological progress in grain production on the carbon emission intensity of grain production and its functioning mechanism by using the two-way fixed effect model. The results show the followings. China's grain production carbon emission intensity showed a trend of first increasing and then decreasing, and the technological progress of grain production showed an increasing trend; the technological progress of grain production was conducive to reducing the carbon emission intensity of grain production, and the technological progress of grain production reduced the carbon emission intensity of grain production by 0.38 t per unit; there was obvious heterogeneity in the effect of technological progress of grain production on the carbon emission intensity of grain production, and the reduction effect was more significant in the eastern and central regions. Its reduction effect was more obvious in the east and central regions and the main grain producing areas; the mechanism of grain production technology progress to reduce the carbon emission intensity of grain production was to improve the efficiency of chemical fertilizer and pesticide application. For this reason, we should actively bring into play the carbon emission reduction function of technological progress in grain production, promote technological progress in grain production in accordance with local conditions, and focus on promotion of weight-loss and pesticide reduction techniques, so as to continuously improve the efficiency of fertilizer and pesticide application.

Keywords technological progress in grain production; carbon emission intensity; two-way fixed effects model ●



(责任编辑 赵庆圆)