

引用格式: 陈儒, 孔英. 农户低碳生产的技术效率及其影响因素[J]. 资源科学, 2022, 44(7): 1405-1421. [Chen R, Kong Y. Technical efficiency of low-carbon production of smallholders and influencing factors[J]. Resources Science, 2022, 44(7): 1405-1421.] DOI: 10.18402/resci.2022.07.08

农户低碳生产的技术效率及其影响因素

陈 儒, 孔 英

(清华大学深圳国际研究生院低碳经济与金融风险分析实验室, 深圳 518055)

摘 要:推动农户参与“双碳”目标建设,发挥其在农业应对气候变化中的主体作用具有重要意义。本文从“大国小农”的现实背景出发,采用自下而上的评价视角来考察农业低碳生产的绩效水平,通过多角度控制农业碳计量技术的不确定性,选取多产出Translog距离函数形式的随机前沿模型估计农户低碳生产的技术效率,并进一步分析其影响因素,探索低碳生产技术效率在农户经营主体中的改善途径。研究表明:①调研区域农户在低碳生产粮食作物上具有15%的潜在增产空间,产出情景和方法模型的变异对低碳生产技术效率估计结果的影响并不显著。②在不同类型粮食作物之间,模型估计的生产前沿和技术非效率影响因素既有共性也有差异,其中,土地规模、土地细碎化、老龄化和非农就业均对低碳生产的技术效率产生了非线性影响。提升农户低碳生产的技术效率水平,需要进一步引导农户通过土地流转实现适度规模经营,加强农村家庭剩余劳动力转移,降低农业社会化服务购买成本,提高绿色低碳技术的采用率。

关键词:低碳农业;碳足迹;技术效率;随机前沿分析;农户;陕西

DOI: 10.18402/resci.2022.07.08

1 引言

农业生产对全球气候变化产生了重要影响,依据联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)发布的《气候变化与土地特别报告》,农业、林业和其他类型的土地利用占人类温室气体排放量的23%,若将粮食生产系统能源消耗等间接排放环节纳入考量,占比将会上升至37%。在不考虑土地利用、土地利用变化和林业的情况下,《中华人民共和国气候变化第三次国家信息通报》公布2010年中国农业活动温室气体排放量已达到8.28亿t,占总排放量的7.9%。在多元化的农业经营主体中,广泛而分散的小农依然是中国农业生产的主要形式,以农户为主的家庭经营模式构成了乡村振兴的根本力量。第三次农业普查数据显示,全国农户数量占农业经营主体的98%以上,农户从业人员占农业从业人员的90%,农户经营耕地面积占总耕地面积的70%。

“大国小农”是中国的基本国情,也是农业发展必须长期面对的客观现实,从微观层面上关注农户在农业应对气候变化中的主体作用具有重要意义。

2 文献回顾

2008年党的十七届三中全会通过了《中共中央关于推进农村改革发展若干重大问题的决定》,提出到2020年农村改革发展的基本目标任务,其中包括“资源节约型、环境友好型农业生产体系基本形成,农村人居和生态环境明显改善,可持续发展能力不断增强”。此后,中国围绕转变农业发展方式,以提高资源利用效率和生态环境保护为核心,全面推广测土配方施肥、保护性耕作、秸秆还田等农业技术体系,并在农户层面得到了一定程度的采用。尽管起初并未冠以“低碳”理念加以推行,但若以CO₂当量(CO₂e)作为衡量标尺,部分技术采用措施呈现出良好的气候效益,张灿强等^[1]指出若全面采

收稿日期:2022-02-11,修订日期:2022-06-18

基金项目:国家自然科学基金项目(72203124);中国博士后基金项目(2022M711835)。

作者简介:陈儒,男,山西曲沃人,博士后,助理研究员,主要研究方向为资源经济与生态环境管理。E-mail: r.chen@foxmail.com

用测土配方施肥,小麦、玉米和水稻种植削减的化肥量每年可减少 CO_2e 1045.9万t;随着秸秆资源化利用效率的提升,2014—2019年中国秸秆焚烧碳排放量减少了931.23万t,年均减少率为17.3%^[2]。因此,以 CO_2e 作为功能单位测度中国农业低碳发展,在时空尺度上具有明显的减排成效^[3],且当引入经济效益构建单要素相对评价指标后,碳排放强度下降趋势也较为显著^[4]。

然而,在多投入产出目标下的低碳农业绩效水平并不乐观,中国各地区的低碳农业环境效率值不高,仅呈现缓慢上升趋势^[5],其中农业技术进步发挥了主要作用,而农业技术效率改善所起到的作用相对有限^[6],甚至产生衰退现象^[7]。与此同时,微观视角下的文献指出,农户虽有参与低碳生产的意愿,却缺乏严格按照技术标准实施生产的主动性^[8],理性经济行为往往促使其选择生产可以实现市场价值的农产品而非生态产品^[9],农户生态生产意愿与行为存在悖离^[10]。显然,以上现象均不利于低碳农业发展有效性共识的达成。尽管部分研究从宏观产业层面给予了低碳农业发展有效性的肯定评价,但这种自上而下的碳计量方法,本身也存在着统计数据缺失、系统边界不完整等弊端^[11],加之在绩效评价过程中过多关注农业碳排放而一定程度上忽略了碳汇效应,这使得低碳农业发展有效性的结论均难逃质疑。因此,采用自下而上的评价视角,从农户层面来考察农业低碳生产的绩效水平,以此弥补产业层面碳计量方法的不足,进一步提供微观层面低碳农业发展有效性的证据,亟待深入挖掘。

事实上,学界从低碳视角对于农户这一经营主体给予了重点关注,宋博等^[12]依据2013年北京市种植户的实地调查数据,对设施蔬菜生产系统碳足迹进行分析和评价,测算得出每公顷种植面积上净碳排放量为 $-2344.47\text{ kgCO}_2\text{e}$;陈儒等^[13]引入联合生产的理论视角,归纳出6类低碳农业生产模式,发现不同模式的总碳产量、单位碳产量存在一定差异,但最终均实现了净碳汇量的盈余。此外,部分学者实证剖析了农户在低碳农业生产过程中的行为机制,如田云等^[14]以化肥施用和农药使用为例,探讨了影响农户低碳生产行为的主要因素;徐婵娟等^[15]基于外

部冲击、风险偏好视角,采用调研数据实证分析了农户对低碳农业技术的决策选择与采用程度的影响因素;侯博等^[16]基于计划行为理论(TPB)研究了农户的低碳生产行为,验证了TPB对农户低碳生产研究的普适性,后续有研究采用TPB构造农户低碳生产的路径模型,分析社会化小农对低碳农业的响应特征^[17]。尽管学界探索性研究了农户农业生产的碳效应,并进一步探讨了其行为机制和影响因素,但碍于低碳效率测度的技术瓶颈,农户层面低碳绩效评价的文献证据仍然相对匮乏,难以充分解释农户低碳生产的消极性是否在一定程度上制约着产业层面低碳农业绩效水平的改善。

因此,农户农业生产的低碳绩效水平测度研究不应局限于单一的碳计量指标,需要在多投入产出目标下得到进一步深化。从当前研究现状来看,存在的瓶颈主要受制于2点:①农业碳计量技术的不确定性;②多目标决策下绩效评价方法在微观层面低碳应用中的缺位。技术效率是提升全要素生产率的重要途径,其本身也是绩效评价的重要指标之一^[18,19]。已有诸多文献基于农户视角,探讨了农业生产过程中技术效率损失的影响因素,大致可以归为3类:①基于生产决策者特征分析其对农业生产技术效率产生的影响,如以农户年龄表征的种植经验、以教育水平代表的人力资本^[20,21];②考虑农户家庭特征对农业生产技术效率的影响,如家庭劳动力规模,以及劳动力转移或非农就业等带来的扰动^[22,23];③农业生产基本特征导致农业技术效率的差异化,如生产经营规模、生产要素禀赋(如土地地力、细碎化程度等)、农业社会化服务等不同特征引起技术效率的损失^[24,25]。以技术效率作为绩效水平的代理指标,不仅有助于将碳计量引入效率测度的框架内,促进低碳与产出增长的目标耦合,还可以实现生产单元效率水平的同期比较,发掘农业生产要素配置的优化空间,继而为产业层面低碳绩效改善的动因提供证据支撑。

鉴于此,围绕低碳农业生产的技术效率该如何估计,如何长期实现低碳生产的技术效率在农户经营主体中的提升这两个问题,本文试图突破相关研究方法的制约瓶颈,选取技术效率作为绩效评价指

2022年7月

标,从农户视角出发,依据调研获取的粮食作物生产数据,开展低碳生产技术效率的测度,并进一步对其影响因素展开深入分析。相关研究结论对于推动农户参与“双碳”目标建设和低碳农业发展具有一定的参考价值。

3 研究方法、变量选取与数据来源

3.1 方法构建

(1) 农业碳计量体系

本文结合碳足迹理论来统一不同碳计量体系的专业术语,碳足迹代表着衡量直接或间接由人为活动累积在全生命周期阶段上温室气体排放总量的工具,根据农业生产的自然特性,农业碳足迹表现为碳排放和碳吸收2个方面,由此所形成的气候效益界定为碳效应,包括源效应和汇效应,量化碳足迹可以有效地将主体在经济社会中的生产和消费与气候责任挂钩。明确温室气体选择、系统边界设置和数据收集是核算碳足迹3个必不可少的结构化步骤^[1],采用不一致的系统边界是影响碳足迹核算结果的重要不确定性因素之一^[26]。过程分析能够准确把握农产品生产过程中各个环节的差异,可以有效降低农业碳足迹核算结果的不确定性。农业生产是一个复杂的生态经济系统,有必要基于过程分析使用整个系统的建模方法来计算其碳足迹,通过收集农户数据,利用本土化的因子系数,进而降低碳足迹核算的不确定性。

因此,基于生命周期的评价思维,结合实验科学中农田生态系统碳、氮循环模型的研究进展,本文对碳足迹的系统边界进一步修正和完善,遴选最佳系统边界场景控制农业碳足迹核算的不确定性^[27],确定碳吸收源于农业系统中植被碳库、土壤碳库,碳排放源于农业生产过程中以CO₂、CH₄和N₂O为主的温室气体排放,同时遵循全生命周期在农业碳足迹核算中的“农场大门”原则,设置从原料生产到作物收获的系统边界,即包括原料生产系统、原料运输系统、农业生态系统和农业废弃物处理系统。以净差值表示的农户农业生产活动的碳足迹,设定公式如下:

$$ACF_i = E_{RMP-GHG} + E_{RMT-GHG} + E_{RMU-GHG} + E_{direct-N_2O} + E_{indirect-N_2O} + E_{cropland-CH_4} + E_{AWD} + E_{SRH-CO_2} - C_{CB} - C_{DOM} - C_{SOC} \quad (1)$$

式中: ACF_i 表示第 i 个农户农业生产活动的碳足迹; $E_{RMP-GHG}$ 、 $E_{RMT-GHG}$ 和 $E_{RMU-GHG}$ 是原材料生产、运输和利用过程中的温室气体排放,包括来自所有化肥、农药、塑料薄膜、柴油、汽油、煤炭、电力、劳动力、机械、设备和基础设施(根据其使用寿命将计算的碳足迹分摊到每年)整个生命周期的CO₂、CH₄和N₂O(直接和间接)排放; $E_{direct-N_2O}$ 是来自管理土壤的直接N₂O排放,包括化肥施用中的氮元素转化为N₂O排放(N₂O-NE)、有机肥施用中的N₂O-NE、秸秆还田、残留根茬和作物损失中的N₂O-NE; $E_{indirect-N_2O}$ 是来自管理土壤的间接N₂O排放,包括来自大气氮沉降的N₂O排放,以及来自淋溶或径流损失的N₂O排放; $E_{cropland-CH_4}$ 是来自管理土壤的CH₄排放; E_{AWD} 是来自农业废弃物处置的温室气体排放; E_{SRH-CO_2} 是来自土壤异养呼吸的CO₂排放; C_{CB} 为作物生物量的碳库变化; C_{DOM} 和 C_{SOC} 是死有机质和矿质土壤中的碳库变化。此外,采用一致的功能单位有助于增加碳足迹之间的可比性,本文以碳当量(Ce)作为功能单位来标准化碳计量过程,所得净值表示农业生产活动的碳足迹^①。在因子系数的引用中,从本土区域的实验测定到周边区域的数据选择,再到中国整体的数据整合,采用自下而上的方法依次选取因子数据^[27]。

(2) 随机前沿分析(SFA)

技术效率是指农户在生产一个给定的产出矢量时,最小化使用投入要素的能力,或在给定投入要素的情况下,农户可以获得的最大产出能力,因而衡量技术效率分别具有投入和产出两种导向。对于多个投入生产单个产出的农业生产过程,其投入导向和产出导向技术效率数学表达式为:

$$TE_I(y, x) = \min\{\theta: y \leq f(\theta x)\} \quad (2)$$

$$TE_O(x, y) = [\max\{\phi: \phi y \leq f(x)\}]^{-1}$$

假设生产者农户采用一个非负的投入向量,记

① 在国际实践中,碳足迹的功能单位通常被定义为CO₂,其他类型温室气体如CH₄和N₂O,通常根据自身全球变暖潜力转化成CO₂,1 kg CH₄相当于25 kg CO₂或6.8182 kg C,1 kg N₂O相当于298 kg CO₂或81.2727 kg C,1 kg CO₂相当于0.2727 kg C。

作 $\mathbf{x}=(\mathbf{x}_1\cdots\mathbf{x}_N)$, 并通过农业生产过程产生一个非负的产出向量, 记作 $\mathbf{y}=(\mathbf{y}_1\cdots\mathbf{y}_M)$, 则式(2)中 TE_i 和 TE_0 分别表示投入和产出导向技术效率; $f(\mathbf{x})$ 为定义的生产前沿面, 表示生产可能集的上边界以及所有的投入产出组合; θ 和 φ 分别表示用所有投入的径向收缩和所有产出的径向扩展来衡量技术效率。假设农户使用多个投入来生产多个产出, 此时单一产出的生产前沿面将被距离函数替代, 其数学表达式定义为:

$$\begin{aligned} TE_i(\mathbf{y}, \mathbf{x}) &= \min\{\theta: D_i(\mathbf{y}, \theta\mathbf{x}) \geq 1\} \\ TE_0(\mathbf{x}, \mathbf{y}) &= \left[\max\{\varphi: D_0(\mathbf{x}, \varphi\mathbf{y}) \leq 1\}\right]^{-1} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: D_i 和 D_0 分别表示面向投入和产出技术效率度量的距离函数, 距离函数提供了到生产技术边界的径向测量措施。如果所有投入没有径向收缩的可行性, 则从技术上称投入向量为技术有效, 同理, 如果所有产出没有径向扩展的可行性, 那么该产出向量在技术上称之为有效, 故而测算技术效率的关键是度量每个生产者的投入产出组合到生产前沿的距离。

生产前沿面的估计通常包括以线性规划和对偶理论为基础的数据包络分析技术和以计量经济学方法估计函数参数的随机前沿分析技术, 尽管两种方法各有独特优势, 但农户生产受到气候、灾害等不确定因素影响较大, 且存在样本测量误差, 因此采用考虑统计噪声的随机生产前沿分析技术更为适宜^[18,28]。其数学方程表达式为:

$$TE_i = \mathbf{y}_i / f(\mathbf{x}_i; \boldsymbol{\beta}) \exp\{v_i\} \quad (4)$$

式中: TE_i 为产出导向技术效率, 符合农户在农业生产过程中追求产出最大化的基本事实; \mathbf{y}_i 是农户 i 农业生产过程的产出水平; \mathbf{x}_i 是农户农业生产投入向量; $\boldsymbol{\beta}$ 是一个所需估计的技术参数向量。 $f(\mathbf{x}_i; \boldsymbol{\beta}) \exp\{v_i\}$ 为设定的随机生产前沿面, 其由两部分组成: 所有生产者共同的确定性部分 $f(\mathbf{x}_i; \boldsymbol{\beta})$ 和特定于生产者的部分 $\exp\{v_i\}$, 它捕捉了随机冲击对每个生产者的影响。取对数后以产出为导向的技

术无效率的随机生产前沿模型可设定为:

$$\ln \mathbf{y}_i = \ln f(\mathbf{x}_i; \boldsymbol{\beta}) + v_i - u_i, \quad u_i \geq 0 \quad (5)$$

式中: v_i 是零均值的随机误差; u_i 代表生产技术无效, 即由于技术效率低下而损失的产量百分比, 该值接近 0 表示接近完全有效。在单调性等理论约束下, 本文采用 Translog 泛函形式设定生产前沿, Translog 函数包含了平方项和交互项, 使得模型具有高度的灵活性。对于多产出情况, 需要用距离函数 D_0 替代单一产出的生产前沿, Translog 产出距离函数表示为:

$$\begin{aligned} \ln D_{0i} - \ln \mathbf{y}_{li} &= \beta_0 + \sum_j \beta_j \ln \mathbf{x}_{ji} + \\ &\frac{1}{2} \sum_j \sum_k \beta_{jk} \ln \mathbf{x}_{ji} \ln \mathbf{x}_{ki} + \sum_m \alpha_m \ln(\mathbf{y}_{mi} / \mathbf{y}_{li}) + \\ &\frac{1}{2} \sum_m \sum_n \alpha_{mn} \ln(\mathbf{y}_{mi} / \mathbf{y}_{li}) \ln(\mathbf{y}_{ni} / \mathbf{y}_{li}) + \\ &\sum_j \sum_m \gamma_{mj} \ln \mathbf{x}_{ji} \ln(\mathbf{y}_{mi} / \mathbf{y}_{li}) + v_i \end{aligned} \quad (6)$$

式中: 使用 \mathbf{y}_i 来标准化面向产出的距离函数; α, β, γ 是待估计的未知参数; v_i 独立且同分布于 $N(\mu, \sigma^2)$; 用 $\ln D_{0i}$ 表示 $-u_i$, 移到等式右边即可得到可估计的组合误差项。对 u_i 施加半正态分布假设^②, 依据模型的对数似然函数, 采用极大似然法估计模型参数。

3.2 变量选取

依据新古典经济增长理论, 劳动力、土地和资本是 3 个重要的基本生产要素, 现有文献常通过设置一揽子指标对以上 3 个要素做出详细罗列, 考虑到过多的投入变量将在计量分析中引起多重共线性问题, 进而对随机前沿模型的估计产生干扰, 本文并未采取此种指标设置规则。不同农业作物的生产过程存在根本差异, 导致必要投入的生产要素存在显著不同。因此, 根据不同作物种植的生命周期过程, 即整地、播种、基肥施用和田间管理生产环节, 汇总生产要素并将众多投入指标聚合分类为劳动力、土地、资本和中间投入 4 类, 其中劳动力主要指长期自我雇佣的家庭农业劳动力; 土地要素指在一个生长季中作物的栽培面积; 资本主要指农户在

② 对于模型 u_i 分布假设的选择, 采用了 3 种常用分布形式, 即半正态分布、截断正态分布和指数分布, 以观察它们对估计结果稳健性的影响。鉴于篇幅限制, 选取了模型拟合较优的半正态分布假设, 其他两种分布假设的估计结果并未列出, 感兴趣的读者可向作者索取。

2022年7月

生产过程中所拥有的资产总和,如大型农业机械、农业建筑(集雨窖、水井等)和其他耐用设备(喷雾器、水泵等),并采用直线法对这些资产进行折旧;中间投入即为其余成本开支,如种子、农用化学品、农业社会化服务购买等在田间管理过程中发生的材料和服务的总成本。

对于影响因素模型的变量设定,由于采用“一步法”对农户低碳生产的技术效率及其影响因素做出估计,相比于先估计技术效率,再将技术效率值作为解释变量对其影响因素进行回归的“两步法”,可以避免因对技术效率分布假设不同而造成的有偏和不一致的估计,因此在“一步法”估计过程中,需要同时纳入技术非效率的影响因素模型,相关影响变量均直接或间接作用于生产要素,进而产生技术效率的提升或损失。本文采用的影响变量包括耕地面积、是否参与土地流转、耕地地块数量、户主年龄、受教育程度、家庭劳动力数量、是否兼业、非农收入占比、农业社会化服务购买程度(全生命周期生产环节)、农技培训次数。

首先,土地要素的规模化和细碎化程度,已被证实对农户技术效率具有显著影响,农户土地流转行为有助于改变生产规模,通过实现规模效应提高规模效率,从而提高技术效率,故而农户生产技术效率的提升与经营规模的适度扩张密切相关,极可能具有“倒U型”分布的典型特征^[24]。然而,耕地细碎化又是中国农户农业生产的客观实际,具有浪费耕地资源、降低灌溉效率、阻碍农机服务并限制农户规模化经营的弊端^[22],这在一定程度上带来农业生产技术效率损失的风险。

其次,对于劳动力要素,年龄和受教育程度决定了劳动力的质量水平,一方面农村劳动力老龄化会使劳动者的体力衰减,损失农业生产的技术效率,但随着年龄的增加,“干中学”使得种植经验不断积累,相反可以提高生产的技术效率^[20];另一方面,根据人力资本理论,接受正规教育可通过提升农户对生产的合理“操控”来提高生产率,农户的智力素质对农业技术效率有显著的正向作用^[23]。

此外,家庭规模和非农就业对劳动力投入的数量产生影响,面对劳动资源的季节性稀缺,家庭规

模较大的农户可以通过家庭内部非农劳动力的短期补给解决农业生产劳动力不足的问题,减少技术效率的损失。然而,如果户主存在兼业化特征,一方面,根据新劳动力迁移经济学,农户通过向非农产业转移劳动力获得更多信息来源,其所得非农收入有助于缓解资金约束,在一定程度上减少了农业生产风险^[21];另一方面,农业和非农业生产存在替代性,当农户对非农收入依赖性较高时,在家庭资源配置的博弈中将更倾向非农就业^[23]。

最后,对于资本要素和中间投入,拥有农机资产可以保证农户生产特定环节作业的及时性,却又增加了农业生产的成本负担,在现代化农业转型过程当中,愈来愈多的农户选择购买农业社会化服务以降低成本费用,包括农机服务、农技服务等生产环节实现外包,农业社会化服务通过分工效应、技术效应及替代效应促进了农业生产技术效率的提升^[25],关键之处在于提高了农户对先进技术的应用和采纳程度。

3.3 数据来源与样本描述

对于农业碳计量活动数据,IPCC定义原则上应使用来自权威机构或出版物的官方统计数据作为活动数据。为了提高碳足迹核算的准确性,也可以根据研究目的进行问卷调查,从而获取原始数据^[29]。陕西省地处中国内陆腹地、黄河中游,是华夏农耕文化的重要发祥地之一,课题组于2019年1月对2018年陕西全省范围内的粮食作物生产情况进行了问卷调查,主要覆盖小麦和玉米两个作物品种,包括农户农业原材料的投入情况、采取的农田管理措施、种植规模和作物产量等。为了保证样本数据的代表性,根据研究区域农业产业结构的比例选取了样本地点,在市、县、村三级层面因地制宜地开展系统抽样,最终获得小麦种植户225个、玉米种植户273个相关的生产活动数据,总耕地规模为3616亩。

调研数据显示,小麦亩产372.24 kg,玉米亩产584.26 kg。由于自然灾害对农业生产的影响具有重大的不确定性,考虑到稳健的统计实践,调研过程中通过问卷搜集农户以往年份的作物平均产量,将其作为产量基准,根据官方统计数据定义的农作物成灾面积(因灾害造成农作物比正常年份减产

30%及以上的播种面积)作为是否成灾的标准,其中小麦和玉米种植成灾农户分别占到总样本 27.56%和 7.69%,成灾面积达到 358.60 亩和 147.05 亩,分别占抽样调查耕地规模的 24.27%和 6.87%。剔除成灾样本农户后,小麦和玉米未脱粒亩产分别增加至 408.04 kg 和 606.71 kg。

如表 1 所示,小麦种植规模以 6 亩的农户居多,发生了土地流转行为的农户占小麦总样本的 30.67%。玉米种植规模以 10 亩的农户最多,土地流转农户占玉米总样本的 34.43%。农户持有土地地块户均约为 4 块,其中 3 块的样本占比较多。采用直线法折旧后的家庭农业生产资产户均投入在 500 元以下,说明农户购买和持有的大型农业资产时间较长。玉米种植的中间投入要高于小麦,主要包括农用化学用品和农业社会化服务购买两个部分,对于表 1 设定的 10 个农业社会化服务购买环节,小麦生产样本中户均购买程度为 4.75,玉米生产样本中户均购买程度为 4.33,其中种子、整地、播种、镇压、灌溉和收割是农户在粮食作物生产中依赖程度较高的农业社会化服务。

样本中多数农户的年龄在 50 岁以上,老龄化程度较高。农户平均受教育程度多为小学或初中水平。农户家庭劳动力数量平均在 3 人以上,比农业劳动力平均水平多出 1 人,非农劳动力剩余有助于弥补农业生产劳动力短期内的不足。约 1/4 的样本农户直接参与了非农就业,而农户家庭中非农劳动力也通过非农就业间接提升了家庭非农收入,样本中 80%小麦种植户和 70.33%玉米种植户家庭存在非农收入来源。农户家庭年收入平均水平在 7 万元以上^③,务农收入水平约为 2~3 万元,务工收入水平约为 4~5 万元,小麦种植户家庭务工收入占总收入比重的平均水平为 55.58%,玉米种植户为 46.94%。此外,对于农技培训,实质获取到农技知识的农户不多,仅有 19.11%的小麦种植户和 22.34%的玉米种植户通过不同途径获取到了相关技术培训服务,样本农户中当年最高参加技术培训学习次数为 6 次。

4 结果与分析

4.1 农户农业生产的碳足迹分析

对于与农业生产过程密不可分的气候效应,量

化得出农户种植每亩小麦产生碳足迹 0.013 tCe,其中碳吸收 0.408 tCe,碳排放 0.421 tCe,户均碳足迹为 0.08 tCe,总体表现为碳源效应,收获每公斤小麦伴随 0.035 kgCe 排放。玉米种植每亩产生碳足迹 -0.191 tCe,其中碳吸收 0.626 tCe,碳排放 0.435 tCe,户均碳足迹为 -1.50 tCe,总体表现为碳汇效应,收获每公斤玉米伴随 0.327 kgCe 吸收。负值碳足迹反映了农业生产存在碳汇效应的事实,尽管小麦种植表现为碳源效应,但其接近 0 值浮动,剔除成灾样本农户后,小麦和玉米每亩产生碳足迹分别为 -0.003 tCe 和 -0.20 tCe,均表现为碳汇效应。

4.2 农户低碳生产的技术效率估计

采用传统单产出 Translog 生产函数和多产出 Translog 距离函数形式的随机前沿模型,分别估计农业生产的技术效率和低碳技术效率。在初步估计之前,技术非效率影响因素模型并未纳入估计过程,重点分析不同估计方法下技术效率的差异,如表 2 所示,在 1%显著性水平下,统计量的临界值为 5.41,4 个模型均显著地通过了似然比检验,完全拒绝了不存在技术非效率的零假设。

在传统单产出 Translog 生产函数 SFA 模型估计下,将作物产量作为产出指标,投入指标包含土地、劳动力、资本、中间投入,农业碳足迹并未纳入该模型。农户在小麦生产中的技术效率平均水平为 0.71,意味小麦种植达到了其最大潜在产量的 71%,而由于技术非效率损失了 29%的产出,样本农户中技术效率最低水平为 0.23,仅为潜在产出的 23%,说明该农户具有较大的技术效率改善空间。类似地,玉米种植户技术效率的平均水平为 0.72,达到了其最大潜在产量的 72%,而农户最低技术效率水平为 0.28,意味着该农户具有 72%的潜在增产空间。

在多产出 Translog 距离函数 SFA 模型估计下,将代理经济产出的作物产量和气候效应的碳足迹一同作为产出指标纳入模型的估计过程。依据模型基本假设,由于不能存在负产出,进而将碳足迹划分为碳汇和碳源两类正向标量,其中把作为期望产出的碳汇效应设定为产出指标,而将作为非期望产出的碳源效应视为投入指标,代表生态环境要素

③ 家庭总收入结构包括务农收入(包含种植业和养殖业)、务工收入(工资性收入)、个体经营收入、政府补贴、婚嫁丧娶和其他收入。

2022年7月

表1 投入产出指标及其统计特征

Table 1 Input-output indicators and their statistical characteristics

变量	变量描述	小麦		玉米	
		均值	标准误差	均值	标准误差
产出指标					
产量	作物生长季收获总量/kg	2444.18	150.42	4578.50	440.61
碳足迹	碳源减扣碳汇/tC	0.08	0.06	-1.50	0.23
碳源	碳排放/tC	2.76	0.16	3.41	0.41
碳汇	碳吸收/tC	2.68	0.18	4.91	0.61
投入指标					
土地	耕地面积/亩	6.57	0.35	7.84	0.54
劳动力	农业劳动力/人	1.98	0.04	1.99	0.04
资本	农业生产资产/元	454.36	67.62	495.95	69.46
中间投入	剩余成本费用/元	3227.34	219.29	4237.71	446.46
农药	购买费用/元	237.82	20.46	183.01	20.84
化肥	购买费用/元	1354.62	102.31	1831.10	158.46
农膜	购买费用/元	0.00	0.00	10.70	4.55
农业社会化服务	购买费用/元	1634.90	119.14	2212.91	301.66
u_i 影响因素					
生产经营规模					
土地规模	耕地面积/亩	6.57	0.35	7.84	0.54
土地流转	是否参与土地流转	0.31	0.03	0.34	0.03
土地细碎化	地块数量/块	3.84	0.15	3.83	0.15
劳动力质量					
老龄化	年龄/岁	57.55	0.58	56.22	0.61
受教育程度	1=无,2=小学,3=初中,4=高中,5=大专及以上	2.73	0.06	2.65	0.05
劳动力数量					
家庭规模	家庭劳动力/人	3.36	0.09	3.16	0.08
非农就业	是否兼业	0.25	0.03	0.25	0.03
	非农收入占比	0.56	0.02	0.47	0.02
农业社会化服务购买环节					
	购买程度(0~10)	4.75	0.10	4.33	0.12
种子服务	是否购买	0.77	0.03	0.98	0.01
整地服务	是否购买	0.88	0.02	0.78	0.03
播种服务	是否购买	0.58	0.03	0.44	0.03
镇压服务	是否购买	0.55	0.03	0.42	0.03
底肥配方服务	是否购买	0.33	0.03	0.29	0.03
追肥配方服务	是否购买	0.17	0.03	0.16	0.02
有机肥服务	是否购买	0.04	0.01	0.07	0.02
病虫害防治服务	是否购买	0.08	0.02	0.11	0.02
灌溉服务	是否购买	0.54	0.03	0.50	0.03
收割服务	是否购买	0.88	0.02	0.57	0.03
农技培训	技术培训参加次数	0.37	0.06	0.53	0.07

注:置信水平设定值为95%;虚拟变量“否=0”,“是=1”;农业社会化服务购买程度由农户所购买的环节总数衡量。

表2 不同估计模型下的技术效率水平

Table 2 Technical efficiency levels using different estimation models

	单产出 Translog 生产函数形式的随机前沿模型		多产出 Translog 距离函数形式的随机前沿模型	
	小麦	玉米	小麦	玉米
均值	0.71	0.72	0.77	0.76
标准差	0.16	0.14	0.18	0.13
最小值	0.23	0.28	0.28	0.21
最大值	0.94	0.94	0.99	0.96
似然比检验	17.76***	15.07***	94.24***	18.01***
样本规模	225	273	225	273

注: *、**和***分别表示在10%、5%与1%水平上通过显著性检验。

的投入。如表2所示,小麦种植户低碳生产的平均技术效率水平为0.77,这意味着在考虑碳排放约束和碳汇期望产出的情景下,农户生产小麦的平均产出占潜在最高产量的77%,其中最低技术效率水平仅占到潜在产出的28%。同理,玉米种植户低碳生产的平均技术效率水平为0.76,样本农户中最低技术效率水平为0.21,在同等碳足迹水平下,其具有79%的潜在产量提升空间。

整体来看,相比传统仅将作物产量视为单一产出的随机前沿分析过程,把碳足迹指标纳入到模型估计中,农户农业生产的技术效率水平有所提升,这意味着如果将生态产出一同纳入决策者的视野,多产出情景下农户农业生产的技术效率水平将发生明显波动,受益于农业正向的碳汇效应,农户生产粮食作物产生的经济与气候潜在协同效益,要优于传统所关注单一的经济效益。然而,在不同粮食作物类型之间,无论单产出还是多产出目标的随机前沿分析,两者平均技术效率水平差异并不显著,可能的原因在于农户在小麦和玉米生产模式上较为接近,具有相似的技术效率损失来源,但此结论有待进一步论证。

4.3 不同因素对农户低碳生产技术效率的影响比较

不可抗拒的自然灾害加剧了农户农业生产的自然风险,且对作物产量和农业碳足迹均有重要影响,这种不确定性传导至农户低碳生产的过程中,进而导致技术效率的损失。为此,剔除成灾样本后,再次采用多产出 Translog 距离函数形式的随机前沿模型估计了小麦和玉米低碳生产的技术效率。其中,小麦种植户低碳生产的平均技术效率水

平提升至0.84,较不考虑受灾因素的估计结果高出0.07,这意味着16%的潜在产量因技术非效率而损失,而自然灾害的冲击使得农户低碳生产多损失7%潜在产量。同理,玉米种植户低碳生产的技术效率平均值为0.82,较原先提升了0.06,说明农户生产玉米的平均产出占潜在最高产量的82%,自然灾害冲击使得农户低碳生产的技术效率多损失6%。样本中小麦种植户低碳生产的最低技术效率水平为0.41,较原先提升了13%的潜在产量损失,玉米种植户最低技术效率水平为0.50,较原先提升了29%的潜在产量损失,其中技术效率的标准差分别为0.13和0.09,样本间离散程度明显减小,说明自然灾害加剧了农户低碳生产技术效率波动的剧烈程度。

考虑到自然灾害冲击对模型估计结果稳健性的扰动,对于不同因素对农户低碳生产技术效率的影响差异分析,均以剔除成灾样本后所估计的技术效率作为分析基准。如图1所示,农户经营粮食作物的土地规模与其低碳生产的技术效率二次拟合曲线呈现“倒U型”的分布特征,说明农户低碳生产的技术效率与经营规模的适度扩张密切相关。对于发生土地流转的小麦种植户,其低碳生产技术效率的核密度估计的均值水平为0.81,低于未发生土地流转的农户0.85,而玉米种植户则相反,土地流转促进了其低碳生产技术效率水平的提升,因此,农户土地流转行为对低碳生产技术效率的影响方向在不同作物类型之间存在差异,主要取决于农户是否通过土地流转实现了适度的规模效应。此外,土地细碎化对粮食作物低碳生产技术效率的影响方向也不确定,说明土地细碎化虽然在一定程度上增

2022年7月

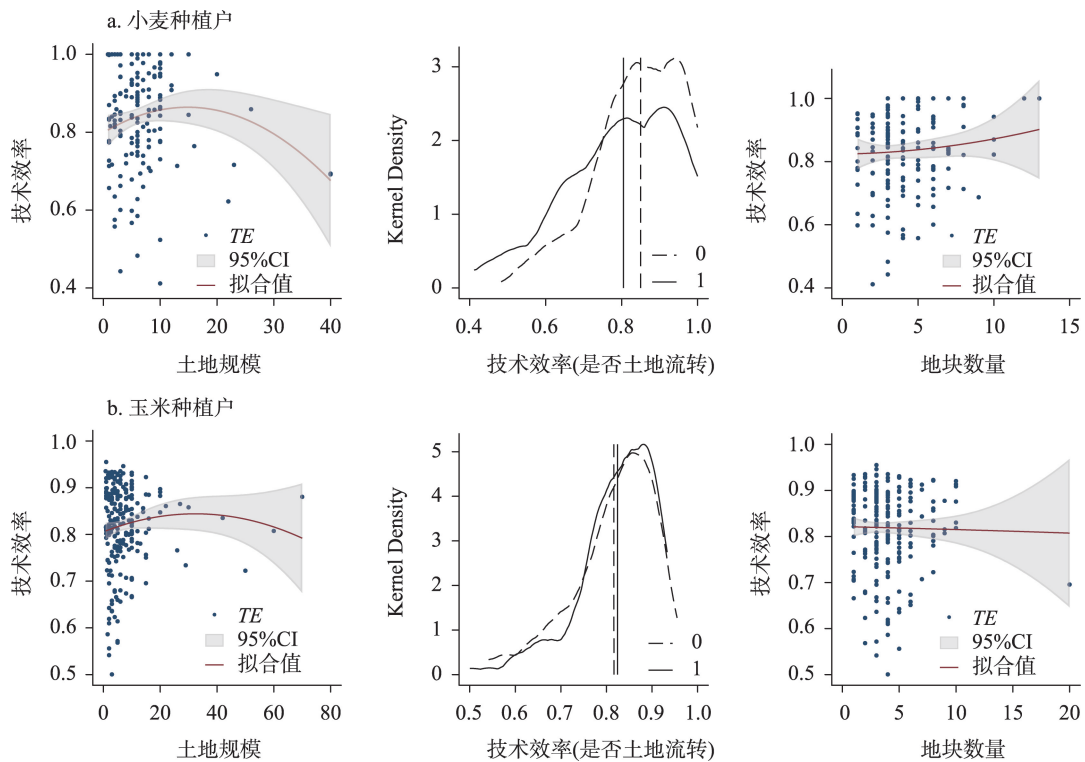


图1 农户经营规模与低碳生产的技术效率关系

Figure 1 Relationship between operation scale and technical efficiency of low-carbon production

注:图中TE为调查样本的Technical Efficiency(技术效率)。

加了农业低碳生产技术效率损失的风险,但土地细碎化又有利于传统农业中农户发挥精耕细作的优势,分散其市场和自然的双重风险^[22],在一定程度上又弥补了技术效率的损失。

老龄化对农户低碳生产技术效率的影响在不同作物类型之间存在差异,如图2所示,对于小麦种植户,农户低碳生产的技术效率持续下降,说明农业劳动力老龄化损失了农业低碳生产的技术效率,对于玉米种植户而言,低碳生产的技术效率在不同年龄之间呈现先减后增的轻微变动,种植经验不断积累产生的“干中学”效应表现更为明显,这意味着农户低碳生产的技术效率在一定程度上取决于农业劳动力老化效应与积累效应的相对大小,前者超过后者则技术效率下降,反之则上升^[21]。同时,由于多数农户受教育程度为小学或初中水平,考虑到样本数量的代表性,将受教育程度划分为小学及以下、初中和初中以上3个阶段,其中,小麦种植户低碳生产技术效率的核密度估计均值在3个受教育水

平上分别为0.83、0.83和0.86,玉米种植户核密度估计的均值水平为0.81、0.82和0.83,因此,农户受教育程度对其低碳生产的技术效率具有正向影响作用。

随着农业社会化服务水平的提升,农户生产粮食作物不再受制于农业劳动力季节性短缺,家庭劳动力规模对农户低碳生产技术效率的影响较弱,图3中玉米种植户家庭规模和技术效率接近水平的拟合曲线证实了这点。然而,对于小麦种植户,由于存在劳动力投入出现过剩的现象,劳动力数量对低碳生产的技术效率呈现负向影响,这一点也在户主兼业情况对技术效率影响中得到了辅证,兼业的小麦种植户低碳生产技术效率的核密度估计均值略高一些(图3),这意味着需要进一步加强农村剩余劳动力转移。同时,农户家庭劳动力通过非农就业所获得的非农收入,其占比对农户低碳生产粮食作物的技术效率呈现先减后增的影响,这意味着前期随着非农收入比重提升,农户逐渐增加对务工收

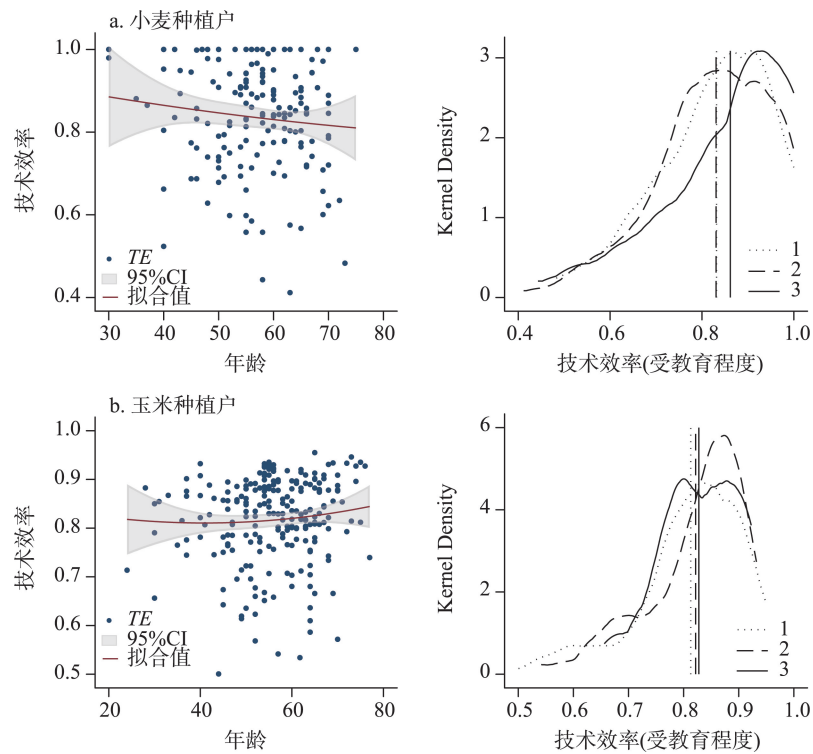


图2 农户劳动力质量与低碳生产的技术效率关系

Figure 2 Relationship between labor quality and technical efficiency of low-carbon production

注:图中受教育程度虚拟变量分为小学及以下=1,初中=2,初中以上=3。

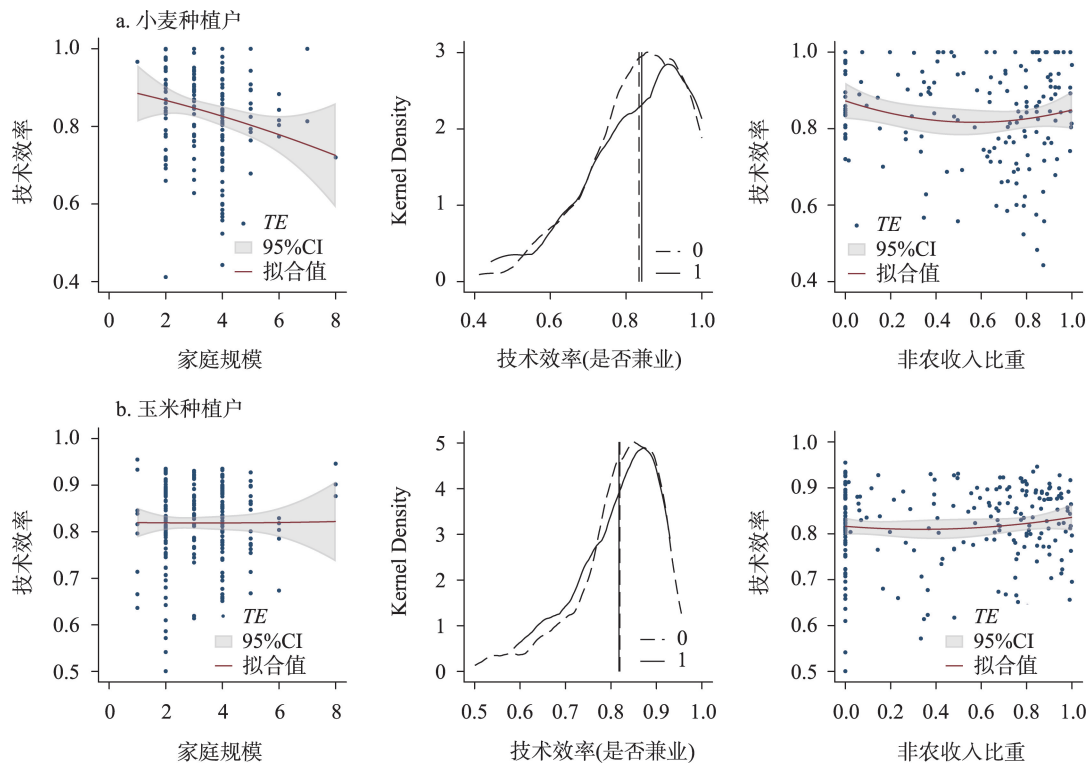


图3 农户家庭劳动力与低碳生产的技术效率关系

Figure 3 Relationship between household labor and technical efficiency of low-carbon production

2022年7月

入的依赖性,使得农业和非农生产产生替代性,农业技术效率持续降低,然而随着后期非农收入占比不断攀升,农户农业生产的资金约束得到释放,资本和中间投入得到及时补充,相关产品和服务质量得到改善,譬如更多考虑购买有机肥替代化肥,低碳生产的技术效率水平随即转减为增。

尽管购买农业社会化服务可以通过分工效应、技术效应和替代效应促进农户低碳农业生产的技术效率水平,但关键仍取决于不同作物生产的投入产出关系,过多的农业社会化服务购买会增加农业生产的成本负担,反而对技术效率产生负向影响。如图4所示,小麦生产样本中农业社会化服务购买程度在大于4的区间中对低碳生产的技术效率产生负向影响,由于玉米种植具有更高的产出水平,农业社会化服务购买仅对其低碳生产的技术效率产生了单调的正向影响。此外,由于多数农户参与农技培训次数为零,考虑到样本数量的代表性,将农户参与农技培训设定为虚拟变量,此处不考察其参与程度,农户参与农技培训并未对低碳生产的技

术效率产生积极影响(图4),这一方面意味着伴随粮食作物种植规程标准化程度越来越高,以及农业社会化服务水平的提升,粮食作物生产率对农户技术素养的依赖程度减小,另一方面说明参加农技培训并未实质性提升农户对绿色低碳技术的采用率。

4.4 农户低碳生产技术效率及其影响因素的稳健性分析

在传统线性模型估计中,异方差仅影响估计的有效性而非一致性,这与随机前沿模型不同,忽视异方差会导致不一致的估计,同时先估计技术效率值再进行影响因素回归的“两步法”,会因分布假设不同导致有偏的估计结果。因此,为了提升模型估计结果的可靠性,将技术非效率的影响因素模型纳入随机前沿分析过程,采用“一步法”对农户低碳生产的技术效率及其影响因素进行估计,检验和强化研究结果的稳健性。此外,通过前文分析,影响因素模型中继续引入地块数量、年龄、非农收入占比和农业社会化服务购买程度的二次项以检验其与

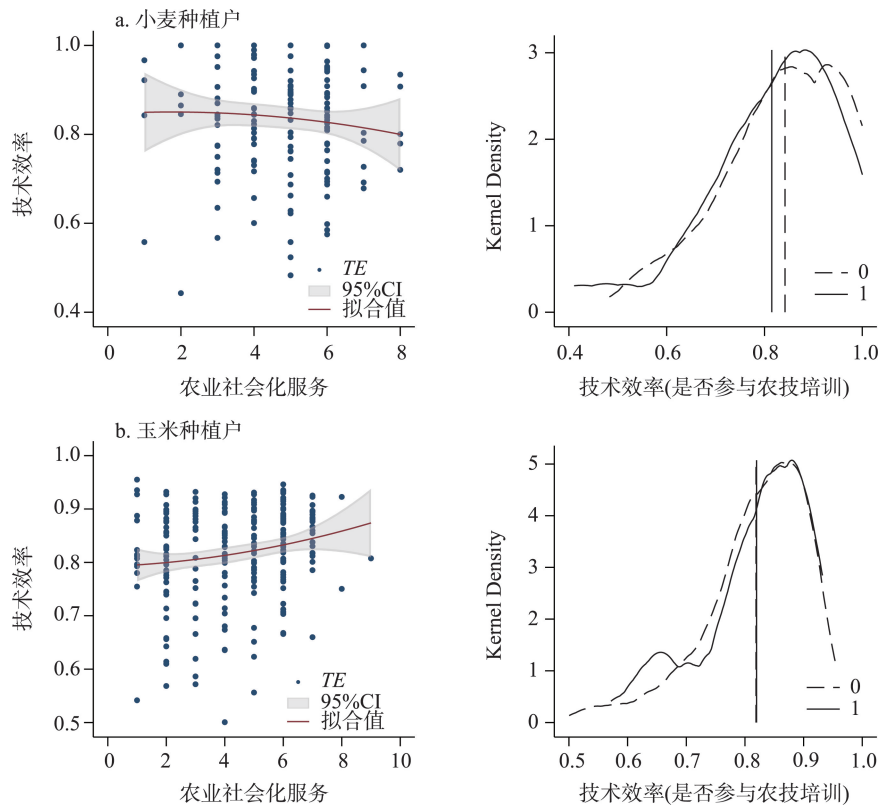


图4 农业社会化服务与农户低碳生产的技术效率关系

Figure 4 Relationship between agricultural social service and technical efficiency of low-carbon production

技术效率之间的非线性关系^④,主要利用剔除成灾农户的样本数据,采用多产出 Translog 距离函数形式的随机前沿模型估计小麦种植户、玉米种植户以及全样本农户低碳生产的技术效率及其影响因素。如表3所示,在1%显著性水平下,3个模型均显著地通过了似然比检验,拒绝了不存在技术非效率的零假设。

表3展示了小麦、玉米和全样本的生产前沿信息,具体而言,土地要素对粮食作物产量具有显著的正向影响,其二次项参数为负则意味着这种正效应不是单调的,说明土地要素投入具有一个最优的规模报酬,进一步佐证了农户低碳生产技术效率和土地规模之间的“倒U型”关系。分样本来看,农业劳动力要素对小麦和玉米产出都有负向影响,说明了劳动力要素投入存在过剩,玉米样本中其二次项系数显著为正,意味着玉米生产规模扩大会引起对劳动力的扩张需求,这一点从土地和劳动力交互项系数为正得到印证;不同于玉米种植,小麦生产规模的扩大则更多会引起中间投入需求,其土地和中间投入交互项系数显著为正,也正是由于不同作物种植对劳动力要素需求不同,全样本模型中劳动力要素表现出正向影响且不显著。资本要素和中间投入要素对粮食作物产出水平具有负向的单调影响,说明这两种要素投入存在冗余,相关成本费用具有一定降幅空间,也正是因为投入要素的冗余,导致农业生产存在过高的碳源效应。作物单产的碳汇效应在小麦生产中一次项系数为正、二次项系数显著为负,说明两种产品存在互补到竞争的过渡关系,随着生产规模扩大、产量提升,碳汇效应将逐步走高再减弱,而在玉米生产中与此相反,说明两种产品关系与农户生产经营规模密切相关,这也从单产碳汇效应与土地要素显著的交互项系数得到佐证。

对于技术非效率的影响因素模型,土地规模对农户低碳生产的技术非效率影响系数显著为负,即意味着对技术效率存在正向影响,当前阶段继续扩大粮食作物生产规模有助于提升农户低碳生产的技术效率。农户土地流转行为在不同作物

类型中对低碳生产的技术效率影响方向不同,且地块数量一次项和二次项系数估计符号相反,表明土地细碎化对不同类型粮食作物低碳生产的技术效率呈非线性影响关系,均与前文结论保持一致。年龄对农户低碳生产技术非效率的影响为“倒U型”分布,说明老龄化与技术效率之间存在老化效应和积累效应相互制约关系。受教育程度、家庭劳动力对农户低碳生产技术非效率的影响未通过显著性检验。尽管农户兼业情况对技术非效率的影响系数并不显著,但一致的负号说明兼业有助于提升低碳生产的技术效率水平。同时,非农收入占比对农户低碳生产技术非效率的影响为正,二次项估计系数为负,呈现“倒U型”分布,再次验证了上文研究结论。农业社会化服务对低碳生产技术非效率的影响系数未通过显著性检验,但一致的正向符号说明过多的农业社会化服务购买会增加农业生产成本,不利于技术效率的实现。农技培训仅对小麦种植户低碳生产的技术非效率产生了显著的正向影响,由于多数农户当年并未参与技术培训与学习,而少数参与到农技培训的样本农户也并未实现低碳生产技术效率的改善,说明当前农技培训对粮食作物低碳生产的技术效率影响有限。

基于“一步法”随机前沿模型,小麦和玉米低碳生产的技术效率均值估计结果较前文4.3中分别提高0.04和0.08,在考虑碳排放约束和碳汇期望产出的情景下,农户生产小麦和玉米的平均产出分别占其潜在最高产量的88%和90%。在不同粮食作物类型之间,无论是单产出还是多产出、两步法或一步法估计的随机前沿模型,小麦和玉米低碳生产的平均技术效率水平差异并不显著。在全样本分析下,农户低碳生产的技术效率均值为0.85,其中最低技术效率水平为0.56,意味着该农户具有44%的潜在增产空间。需要说明的是,尽管小麦和玉米低碳生产具有相近的技术效率水平,但并不意味着二者具有相似的技术效率损失来源,这一点在技术非效率的影响因素模型中得以印证。

④ 此处并未引入土地规模的二次项,耕地面积与产出的非线性关系可以在生产前沿参数估计中直接观测。

2022年7月

表3 多产出 Translog 距离函数一步式SFA 估计

Table 3 One-step stochastic frontier analysis (SFA) estimation of multiple output Translog distance function

参数	估计值和显著性		
	小麦	玉米	汇总
生产前沿			
土地对数	2.65***	1.47***	1.22***
劳动力对数	-0.07	-0.40*	0.09
资本对数	-0.05	-0.08***	-0.05*
中间投入对数	-1.21***	-0.26	-0.16
碳源对数	-0.005	-0.12	0.01
碳汇比产量对数	0.21	-0.67***	-0.28
土地对数平方	-2.00***	-0.61***	-0.18
劳动力对数平方	-0.12	0.52***	0.07
资本对数平方	-0.003	-0.01	-0.00
中间投入对数平方	-0.44***	-0.15	-0.10
碳源对数平方	0.34	-0.38***	-0.10
碳汇比产量对数平方	-0.29*	0.11	0.37
土地对数×劳动力对数	-0.07	0.02	-0.24
土地对数×中间投入对数	1.11***	0.12	0.06
土地对数×碳源对数	0.39**	0.46***	0.18*
土地对数×资本对数	0.03	0.04***	0.04**
劳动力对数×中间投入对数	0.20	0.07	0.17
劳动力对数×碳源对数	-0.08	-0.11	-0.02
劳动力对数×资本对数	-0.001	-0.01	-0.01
中间投入对数×碳源对数	-0.49***	0.01	-0.02
中间投入对数×资本对数	0.01	-0.01	-0.01
碳源对数×资本对数	-0.04**	-0.02	-0.02*
碳汇比产量对数×土地对数	-0.85***	0.32**	0.10
碳汇比产量对数×劳动力对数	0.66***	0.10	0.06
碳汇比产量对数×中间投入对数	0.005	0.14	0.06
碳汇比产量对数×碳源对数	0.78***	-0.38***	-0.21
碳汇比产量对数×资本对数	-0.01	0.004	0.004
常数项	-1.35***	-0.64***	-0.78***
u_i 影响因素模型			
耕地面积	-0.37**	-0.44***	-0.08
土地流转	0.25	-0.27	-0.11
地块数量	-0.03	1.11**	0.30
年龄	0.25	0.16	0.37
受教育程度	0.42	-0.07	-0.02
家庭劳动力	-0.29	0.38	-0.04
是否兼业	-0.75	-0.77	-0.58
非农收入占比	6.13**	2.57	4.70*
农业社会化服务购买	0.11	1.10	0.61
农技培训	0.68***	-0.28	-0.01

续表3

参数	估计值和显著性		
	小麦	玉米	汇总
<i>u_i</i> 影响因素模型			
地块数量平方	0.02	-0.13**	-0.01
年龄平方	-0.002	-0.002	-0.003
非农收入占比平方	-4.37*	-3.94	-4.86*
农业社会化服务购买平方	0.02	-0.22	-0.10
技术效率			
均值	0.88	0.90	0.85
标准差	0.12	0.12	0.08
最小值	0.43	0.45	0.56
最大值	0.99	1.00	0.99
对数似然值	102.82	50.64	31.73
似然比检验	61.76***	60.97***	28.65***
样本规模	163	252	415

5 结论与政策启示

5.1 结论

本文采用自下而上的评价视角来考察农业低碳生产的绩效水平,基于过程分析并使用系统的建模方法,通过收集农户数据,利用本土化的因子系数来计算其碳足迹,从而控制农业碳计量技术的不确定性,在此基础上,进一步利用单产出和多产出随机前沿模型,开展农户低碳生产技术效率的测度,并进一步对其影响因素展开深入分析。主要得到以下结论:

(1)将碳足迹纳入农业生产的技术效率评估过程,受益于农业碳汇效应,农户低碳生产的技术效率水平有所提升。在考虑碳排放约束和碳汇期望产出的情景下,通过弥补自然灾害冲击和参数估计带来的技术效率损失,农户在生产粮食作物上具有15%(小麦12%,玉米10%)的潜在增产空间。

(2)产出情景和方法模型的变异对农户低碳生产平均技术效率估计结果的影响并不明显。然而,在不同类型粮食作物之间,模型估计的生产前沿和技术非效率影响因素既有共性也有差异,说明作物之间并不具有一致的技术效率损失来源,不同类型粮食作物低碳生产技术效率的提升路径存在差异。

(3)土地规模与农户低碳生产技术效率之间存在“倒U型”关系,意味着土地要素投入具有一个最

优的规模报酬。农户土地流转行为对低碳生产技术效率的影响方向在不同作物类型之间存在差异,其关键在于农户是否通过土地流转实现了适度规模经营。土地细碎化对不同类型粮食作物低碳生产的技术效率呈非线性影响关系,精耕细作、种植结构优势会弥补规模退化引起的技术效率损失。

(4)农户老龄化与低碳生产技术效率之间存在“老化和积累”效应的相互制约关系,影响方向取决于“叠加”效应结果,而受教育程度对农户低碳生产的技术效率具有正向影响。非农就业对农户低碳生产技术效率呈非线性影响,关键在于非农收入占比是否使得农户在农业和非农生产资源配置中产生了替代性。

(5)农业社会化服务可以提升农户低碳生产的技术效率水平,但过多的农业社会化服务购买会增加农业生产成本,引起资本和中间投入要素的冗余,不利于技术效率的实现。农户参与农技培训并未对其技术效率产生积极影响,说明当前农技培训对粮食作物低碳生产的技术效率影响有限。

5.2 政策启示

基于以上结论,本文得到启示如下:粮食作物生产中土地要素的投入具有一个最优规模报酬,尽管扩大粮食作物生产规模有助于提升农户低碳生产的技术效率水平,但同时需要引导农户通过土地

2022年7月

流转实现适度规模经营。劳动力要素投入对粮食作物产出具有负向影响作用,且家庭劳动力规模对农户低碳生产技术效率的影响较弱,说明农村劳动力供给过剩,需要进一步加强剩余劳动力转移,但也要警惕农业劳动力老龄化引起的技术效率损失风险。推动非农就业对农户低碳生产技术效率的正向影响作用,不仅要加强农村劳动力转移,还要继续提升农户务工收入水平。此外,进一步推动绿色低碳技术的转化与扩散,有效配置农业生产要素,降低农业生产成本对农户低碳生产具有重要意义。

致谢:感谢西北农林科技大学姜志德教授研究团队给予的数据支持。

参考文献(References):

- [1] 张灿强,王莉,华春林,等.中国主要粮食生产的化肥削减潜力及其减排效应[J].资源科学,2016,38(4):790-797.[Zhang C Q, Wang L, Hua C L, et al. Potentialities of fertilizer reduction for grain produce and effects on carbon emissions[J]. Resources Science, 2016, 38(4): 790-797.]
- [2] 马铭婧,郝凤明,尹岩,等.碳中和视角下秸秆处置方式对碳源汇的贡献[J].应用生态学报,2022,33(5):1331-1339.[Ma M J, Xi F M, Yin Y, et al. Contribution of straw disposal to carbon source and sink under the framework of carbon neutrality[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(5): 1331-1339.]
- [3] 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.[Min J S, Hu H. Calculation of greenhouse gases emission from agricultural production in China [J]. China Population, Resources and Environment, 2012, 22(7): 21-27.]
- [4] 张广胜,王珊珊.中国农业碳排放的结构、效率及其决定机制[J].农业经济问题,2014,35(7):18-26.[Zhang G S, Wang S S. China's agricultural carbon emission: Structure, efficiency and its determinants[J]. Issues in Agricultural Economy, 2014, 35(7): 18-26.]
- [5] 田伟,杨璐嘉,姜静.低碳视角下中国农业环境效率的测算与分析:基于非期望产出的SBM模型[J].中国农村观察,2014,(5):59-71.[Tian W, Yang L J, Jiang J. Measurement and analysis of the Chinese agricultural eco-efficiency from the perspective of low carbon: Based on SBM model of the undesirable outputs[J]. China Rural Survey, 2014, (5): 59-71.]
- [6] 田云,张俊飏.中国低碳农业发展的动态演进及收敛性研究[J].干旱区资源与环境,2017,31(3):1-7.[Tian Y, Zhang J B. Dynamic evolution and convergence on the development of China's low carbon agriculture[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2017, 31(3): 1-7.]
- [7] 陈儒,姜志德.中国低碳农业发展绩效与政策评价[J].华南农业大学学报(社会科学版),2017,16(5):28-40.[Chen R, Jiang Z D. Evaluation on the low carbon agricultural development performance and policy in China[J]. Journal of South China Agricultural University (Social Science Edition), 2017, 16(5): 28-40.]
- [8] 李波,梅倩.农业生产碳行为方式及其影响因素研究:基于湖北省典型农村的农户调查[J].华中农业大学学报(社会科学版),2017,(6):51-58.[Li B, Mei Q. Study on carbon behavior mode and influencing factors in agricultural production: Investigation of farmers based on typical rural areas in Hubei Province[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2017, (6): 51-58.]
- [9] 陈儒,姜志德,赵凯.低碳视角下农业生态补偿的激励有效性[J].西北农林科技大学学报(社会科学版),2018,18(5):146-154.[Chen R, Jiang Z D, Zhao K. Study on incentive efficiency of agricultural ecological compensation under low carbon perspective [J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2018, 18(5): 146-154.]
- [10] 畅倩,颜俨,李晓平,等.为何“说一套做一套”:农户生态生产意愿与行为的悖离研究[J].农业技术经济,2021,(4):85-97.[Chang Q, Yan Y, Li X P, et al. Why “say one thing and do another”: A study on the deviation of willingness and behavior of farmers' ecological production[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2021, (4): 85-97.]
- [11] Pandey D, Agrawal M, Pandey J S. Carbon footprint: Current methods of estimation[J]. Environmental monitoring and assessment, 2011, 178(1): 135-160.
- [12] 宋博,穆月英.设施蔬菜生产系统碳足迹研究:以北京市为例[J].资源科学,2015,37(1):175-183.[Song B, Mu Y Y. The carbon footprint of facility vegetable production systems in Beijing[J]. Resources Science, 2015, 37(1): 175-183.]
- [13] 陈儒,姜志德,姚顺波.低碳农业联合生产的绩效评估及其影响因素分析[J].华中农业大学学报(社会科学版),2018,(3):44-55.[Chen R, Jiang Z D, Yao S B. Analysis on performance evaluation and influencing factors of low carbon agriculture joint production[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Sciences Edition), 2018, (3): 44-55.]
- [14] 田云,张俊飏,何可,等.农户农业低碳生产行为及其影响因素分析:以化肥施用和农药使用为例[J].中国农村观察,2015,(4):61-70.[Tian Y, Zhang J B, He K, et al. Analysis of farmers' agricultural low-carbon production behavior and its influencing factors: A case study of fertilizer application and pesticide use[J]. China Rural Survey, 2015, (4): 61-70.]

- [15] 徐婵娟, 陈儒, 姜志德. 外部冲击、风险偏好与农户低碳农业技术采用研究[J]. 科技管理研究, 2018, 38(14): 248-257. [Xu C J, Chen R, Jiang Z D. Influence of exogenous shocks and risk preference on farmers' low-carbon agricultural technologies adoption [J]. Science and Technology Management Research, 2018, 38(14): 248-257.]
- [16] 侯博, 应瑞瑶. 分散农户低碳生产行为决策研究: 基于TPB和SEM的实证分析[J]. 农业技术经济, 2015, (2): 4-13. [Hou B, Ying R Y. Study on decision making of decentralized farmers' low-carbon production behavior: Empirical analysis based on TPB and SEM[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2015, (2): 4-13.]
- [17] 单玉红, 王琳娜, 刘梦娇. 社会化小农趋势下农户低碳经营的路径分析: 以湖北省为例[J]. 长江流域资源与环境, 2020, 29(11): 2479-2487. [Shan Y H, Wang L N, Liu M J. Path analysis of socializing household farmer' lower-carbon management: Take Hubei Province as a case study area[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2020, 29(11): 2479-2487.]
- [18] Coelli T J, Prasada Rao D S, O'Donnell C J, et al. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis[M]. Boston: Kluwer Academic Publisher, 2005.
- [19] Shaw E H. A general theory of systems performance criteria[J]. International Journal of General Systems, 2009, 38(8): 851-869.
- [20] 郭晓鸣, 左喆瑜. 基于老龄化视角的传统农区农户生产技术选择与技术效率分析: 来自四川省富顺、安岳、中江3县的农户微观数据[J]. 农业技术经济, 2015, (1): 42-53. [Guo X M, Zuo Z Y. Analysis of farmers' production technology selection and technical efficiency in traditional agricultural areas based on the perspective of aging: Micro-data of farmers from Fushun, Anyue and Zhongjiang counties in Sichuan Province[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2015, (1): 42-53.]
- [21] 彭晓彦, 文乐. 农村劳动力老龄化、女性化降低了粮食生产效率吗: 基于随机前沿的南北方比较分析[J]. 农业技术经济, 2016 (2): 32-44. [Peng D Y, Wen L. Does aging and feminization of rural labor force reduce grain production efficiency: A North-south comparative based on stochastic frontier analysis[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2016 (2): 32-44.]
- [22] 黄祖辉, 王建英, 陈志钢. 非农就业、土地流转与土地细碎化对稻农技术效率的影响[J]. 中国农村经济, 2014, (11): 4-16. [Huang Z H, Wang J Y, Chen Z G. Effects of non-agricultural employment, land transfer and land fragmentation on technical efficiency of rice farmers[J]. Chinese Rural Economy, 2014, (11): 4-16.]
- [23] 杨万江, 李琪. 我国农户水稻生产技术效率分析: 基于11省761户调查数据[J]. 农业技术经济, 2016, (1): 71-81. [Yang W J, Li Q. Analysis on technical efficiency of rice production of farmers in China: Based on 761 household survey data in 11 provinces[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2016, (1): 71-81.]
- [24] 朱丽娟, 王志伟. 黑龙江省种粮大户的技术效率及其影响因素[J]. 资源科学, 2018, 40(8): 1583-1594. [Zhu L J, Wang Z W. Analysis on technical efficiency and influencing factors of large-scale grain-production farmers in Heilongjiang Province[J]. Resources Science, 2018, 40(8): 1583-1594.]
- [25] 杨子, 张建, 诸培新. 农业社会化服务能推动小农对接农业现代化吗: 基于技术效率视角[J]. 农业技术经济, 2019, (9): 16-26. [Yang Z, Zhang J, Zhu P X. Can specialized agricultural services promote small farmers to be involved in modern agriculture? Based on the perspective of technical efficiency[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2019, (9): 16-26.]
- [26] 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.
- [27] Chen R, Zhang R Y, Han H Y, et al. Is farmers' agricultural production a carbon sink or source? Variable system boundary and household survey data[J]. Journal of Cleaner Production, 2020, DOI:10.1016/j.jclepro.2020.122108.
- [28] 龚斌磊, 张书睿, 王硕, 等. 新中国成立70年农业技术进步研究综述[J]. 农业经济问题, 2020, (6): 11-29. [Gong B L, Zhang S R, Wang S, et al. 70 years of technological progress in China's agricultural sector[J]. Issues in Agricultural Economy, 2020, (6): 11-29.]
- [29] Zhang D, Shen J B, Zhang F S, et al. Carbon footprint of grain production in China[J]. Scientific Reports, 2017, DOI: 10.1038/s41598-017-04182-x.

Technical efficiency of low-carbon production of smallholders and influencing factors

CHEN Ru, KONG Ying

(Low Carbon Economy and Financial Risk Analysis Research Laboratory, Tsinghua Shenzhen International Graduate School, Shenzhen 518055, China)

Abstract: It is of great significance to guide smallholders to participate in the implementation of the “carbon emission peaking and carbon neutrality” action goals, and to pay attention to their responsibilities in agricultural sector responses to climate change. Considering the reality of smallholder dominance in agricultural production in China, we took a bottom-up evaluation perspective to evaluate the performance level of agricultural low-carbon production. Through comprehensive control of the uncertainty of agricultural carbon accounting technology, the stochastic frontier model in the form of multi-output Translog distance function was mainly used to estimate the technical efficiency of smallholders’ low-carbon production process, and the influencing factors were further analyzed to explore the measures to improve the technical efficiency of smallholders. The results show that under the scenario of considering carbon emission constraints and expected output from carbon sinks, the average technical efficiency of smallholders for producing wheat and maize are 0.88 and 0.90, respectively, and there is a potential increase of 15%. Land scale, land fragmentation, aging of agricultural laborers, and non-farming employment have a non-linear impact on the technical efficiency of low-carbon production of smallholders, and there are differences in the improvement path of technical efficiency for different types of food crops. Guiding farmers to achieve moderate scale operations through land transfer, transferring surplus family labor, reducing the cost of agricultural social services, and increasing the adoption rate of low-carbon technologies are important measures to promote the development of low-carbon agriculture.

Key words: low-carbon agriculture; carbon footprint; technical efficiency; stochastic frontier analysis; smallholders; Shaanxi