

引用格式:高天志,冯辉,陆迁.黄土高原区农户保护性耕作技术采用的提效与减贫效应[J].资源科学,2023,45(3):579-592.  
[Gao T Z, Feng H, Lu Q. Effects on efficiency improvement and poverty reduction of conservation tillage technology adoption by farming households in the Loess Plateau area[J]. Resources Science, 2023, 45(3): 579-592.] DOI: 10.18402/resci.2023.03.09

# 黄土高原区农户保护性耕作技术采用的提效与减贫效应

高天志,冯辉,陆迁

(西北农林科技大学经济管理学院,杨凌 712100)

**摘要:**【目的】保护性耕作技术作为提升耕地质量的重要手段,事关农业可持续发展。【方法】本文基于黄土高原陕甘宁地区1268份玉米种植户调查问卷,运用随机前沿(SFA)模型测算农业生产效率后,使用内生转换回归(ESRM)检验农户保护性耕作技术采用对农业生产效率的影响,并利用逆概率加权回归调整(IPWRA)估计农户保护性耕作技术采用对增收减贫的影响效应。【结果】①保护性耕作技术采用能够显著提高农业生产效率,在考虑反事实情况的基础上,采用保护性耕作技术的农户生产效率比未采用农户高2.9%。②保护性耕作技术采用对农户增收减贫有着稳健的正向促进作用,采用保护性耕作技术的人均家庭纯收入比未采用农户显著增加8.9%,进一步使用PSM不同匹配方法验证了该结果的有效性。③相比单一技术采用,农户联合采用保护性耕作技术的生产效率提升更高;相比甘肃和宁夏,陕西地区的农户采用保护性耕作技术的增收减贫效果更为显著。【结论】耕地是粮食生产的关键,政府应积极推广、激励农户采用保护性耕作技术,为耕地保护的保数量、提质量、增效率、减贫困等目标实现奠定坚实基础。

**关键词:**保护性耕作技术采用;农户;农业生产效率;减贫效应;内生转换回归;逆概率加权回归调整;黄土高原区

DOI: 10.18402/resci.2023.03.09

## 1 引言

黄土高原区作为中国乃至世界典型的生态脆弱区,强烈侵蚀区面积达11.4万 $\text{km}^2$ ,面临地表裸露和水土流失等生态环境问题,而传统的翻耕式耕地方式造成土壤水分大量散失和土壤有机质含量下降,导致耕地质量逐步退化,不利于农户农业生产<sup>[1]</sup>。基于此,改革现有的耕作模式,就必须建立一套适应现代农业发展的、新型的、可持续的耕作模式,才能帮助黄土高原地区农户走出受资源禀赋劣势限制的困境<sup>[2]</sup>。保护性耕作技术作为一种集少耕、免耕、地表覆盖、秸秆还田等耕作措施,排水沟渠、节水灌溉等工程措施,有机肥、生物农药使用、测土配

方施肥等生物措施于一体的环境友好型土壤耕作技术,不仅能够减轻强风暴、低温冻害等极端天气变化对农作物幼苗早期生长阶段的不利影响,还具备减少温室气体排放、降低能源消耗、防治土壤侵蚀、蓄水保墒、抑制耕地退化、改善土壤质量和健康的功能<sup>[3-6]</sup>。现有文献表明,用“长牙齿”的硬技术措施保护耕地,不仅能够有效提高土地生产力和作物生产效率,还能实现作物高产的长期可持续发展,对减轻农户家庭贫困发挥着重要作用<sup>[7]</sup>。然而,现实中,农户认知不全面、硬件机械化设施未配套、技术推广力度不到位、信息服务系统不完善、病虫害和杂草的控制难度大等问题,使得农户并没有广泛采用

收稿日期:2022-11-02 修订日期:2023-01-07

基金项目:国家自然科学基金面上项目(7177031481;71673223;71973105)。

作者简介:高天志,女,河北唐山人,博士生,研究方向为农村与区域发展。E-mail: gtz22@nwfufu.edu.cn

通讯作者:陆迁,男,宁夏中宁人,博士,教授,博导,研究方向为农业技术经济与区域经济。E-mail: xnluqian@126.com

保护性耕作技术,而是在维持生计水平的前提下,普遍采用传统耕作措施,部分地区农户对保护性耕作技术仍持观望的态度,保护性耕作技术的推广应用任重道远<sup>[8-10]</sup>。

既往关于农户保护性耕作技术采用的研究主要体现在以下方面:①影响因素研究。如发现农户个体特征、风险偏好、家庭禀赋、外部气候变化、政府农业推广政策等因素影响其采用行为<sup>[11-14]</sup>;②采用效果研究。如探讨了保护性耕作技术采用对家庭作物单产、盈利能力、土壤质量、种植制度与土地生产率等方面起到的作用<sup>[15-17]</sup>。现有文献对保护性耕作技术的采用效果研究已较为丰富,但仍有需要完善之处:①现有文献较多探讨耕地经营权流转、土地比较优势、服务外包、宅基地退出和互联网使用等因素对农业生产效率的影响<sup>[18-22]</sup>,但鲜有学者关注到保护性耕作技术采用对生产效率的作用,尤其对黄土高原区微观种植户的研究更少;②大多数文献仅将农户收入作为影响保护性耕作技术采用的重要因素<sup>[23,24]</sup>,忽略了保护性耕作技术采用的增收减贫效果,虽然有学者认为采用一项新的农业技术对农户增收减贫效应产生正向作用<sup>[25-27]</sup>,或有些学者认为当少数农户开始采用一项先进技术后,引起众多农户竞相模仿,出现“谷贱伤农”现象,对农户增收减贫起到负向或弱相关影响<sup>[28,29]</sup>,不同学者对农业技术采用的增收减贫效果未达成共识,并缺少更进一步的论证;③不同学者使用不同尺度刻画农户农业技术采用效果,但大多集中于成本收益比较法、基于OLS的多元线性回归、PSM、双重差分模型,并没有考虑不可观测变量带来的选择性偏误<sup>[30]</sup>,均无法真实有效地刻画农户保护性耕作技术的采用效果。因此,农户保护性耕作技术采用能否实现提效与增收减贫值得关注和进一步探讨。

鉴于此,本文使用黄土高原1268份农户调研数据,实证检验保护性耕作技术采用的提效与增收减贫效应,并进一步运用分样本和分区域方法进行稳健性检验,证明结论的可靠性。为黄土高原地区发展环境友好型农业耕作技术,提高农业生产效率、增加农户收入和降低贫困发生率,提供新的支持依据和实证参考。本文的创新和贡献体现在:①从研

究视角来看,将保护性耕作技术采用、农业生产效率和家庭增收减贫这3个变量纳入同一分析框架,在一定程度上为农户保护性耕作技术的采用效果提供了新的视角和路径;②从研究方法来看,本文运用内生转换回归模型和逆概率加权回归调整模型,最大程度解决不可观测变量对农户行为选择偏误等问题,降低样本数据缺失和自选择等情况下产生的潜在偏差,提高实证结果的可靠性;③从研究区域来看,黄土高原地区是中国重要的农业区域之一,但农户常常面临土地退化、水资源短缺、自然灾害等多重困境。基于大规模实地调研数据,定量研究保护性耕作技术的采用效果,有助于农户了解技术的经济和环境效益,推动可持续农业发展。

## 2 理论分析与模型设定

### 2.1 理论分析

#### 2.1.1 保护性耕作技术采用对提高生产效率的实现机制

以往研究发现,农业技术采用和创新的直接影响表现为农作物产量提高及农产品优质化<sup>[14,22]</sup>。相比传统耕作技术,保护性耕作技术被证明能够提高作物产量,有效提升土地生产率<sup>[10]</sup>,例如,保护性耕作技术中少耕免耕仅一次作业工序完成播种,意味着拖拉机及劳动力作业时间的减少,或者相同时间内完成更多的播种面积,以此减少劳动量、节约时间,说明其技术的更新迭代促进机械化设备对劳动力的替代,同样投入却能获取更多产出,大大提高了农业生产水平<sup>[31]</sup>;秸秆覆盖凭借作物秸秆中拥有的丰富营养元素,可以增加土壤有机质,提高水分的渗透性,达到蓄水保墒、防治土壤侵蚀、提高土壤肥力等效果,最终提高作物产量<sup>[15]</sup>;杂草及病虫害防治中,实施轮作和套作、薄膜覆盖、挑选优质种子、科学除草,以作物增产增收和除草剂减量控害为目标<sup>[8]</sup>,努力降低除草剂药害,进一步提高农产品质量,最终实现农业绿色高质量发展,确保农业生产、农产品质量和农业生态环境安全。总之,保护性耕作技术的采用能够改善劳动者的外部条件、节约劳动成本,增加土壤肥力、提高作物产量,科学使用化肥农药、减少农业面源污染,最终对提高农户生产效率产生积极影响。

2023年3月

### 2.1.2 保护性耕作技术采用对增收减贫的实现机制

农户作为耕地保护和粮食生产的微观主体,其对粮田建设、投入与发展起到关键作用。农户采用新技术后,获利最大化的过程必经3个不同阶段:①在初步采用阶段,较多生产要素和成本的投入,使得农户呈现出亏损状况。②大规模采用技术阶段,其经济状况由开始亏损到之后逐渐扭亏为盈,直到出现经济利润最大化。③当采用技术不再具有产量优势阶段,可能会遇到经济增长瓶颈,所获利润再次出现减少趋势甚至出现负利润<sup>[8,9]</sup>。传统观点认为,保护性耕作技术能够提高农业生产水平,从而促进农户收入增加,达到减贫目的,这是直接作用效果<sup>[26]</sup>。然而,随着乡村振兴战略的开展,农业技术的变革与创新逐渐深入农产品市场经济和现代农业价值链中,农业技术采用对农户增收减贫的影响传导机制也悄然发生变化,例如:①传统农耕多以男性、青壮年劳动力为主,保护性耕作技术通过大型机械设备耕作种植,不仅降低农业生产的劳动强度,提高女性及中老年劳动力对生产种植活动的参与度,还会释放更多劳动力从事非农就业获取外出打工收入,增加家庭总收入,降低贫困发生率<sup>[6]</sup>;②与两次甚至多次的土地耕作相比,凭借仅一次作业工序完成播种的保护性耕作技术,具有许多传统耕作无法比拟的效益,且随着机械设备收割的普及,不仅极大缩短了农忙时间,还能节省燃料和减少机器磨损,科学的化学(高效低毒除草剂等)与物理除草(地膜覆盖等)方式基本取代费时费力的人工除草,进而减少农业生产时间<sup>[25,32]</sup>,使土地、资本、劳动力等生产要素的配置更为合理,且容易实现规模经营。总之,保护性耕作技术作为一种先进的农业技术,农户采用并实践于农业生产种植,以直接或间接方式增加家庭生计来源,对实现增收减贫的效果发挥重要作用。

## 2.2 模型设定

### 2.2.1 随机前沿生产函数(SFA)

本文借鉴闫迪等<sup>[22]</sup>测定蔬菜种植户生产效率的方法,使用SFA估计农户玉米种植的生产效率,原因在于:①SFA能够考虑随机因素的参数前沿分析,以实际产出与随机前沿产出比值估计生产效率值;

②超越对数函数的形式比较灵活,限定也相对宽松,无须要求各要素替代相同或弹性之和为1;③SFA能够“一步”完成对生产效率及其影响因素的估计,避免了“两步法”产生结果偏差。

首先,将生产函数设定为:

$$\begin{aligned} \ln F_i = & \beta_1 \ln L_i + \beta_2 \ln T_i + \beta_3 \ln C_i + \\ & \beta_4 \ln L_i \ln T_i + \beta_5 \ln L_i \ln C_i + \\ & \beta_6 \ln T_i \ln C_i + 0.5\beta_7 (\ln L_i)^2 + \\ & 0.5\beta_8 (\ln T_i)^2 + 0.5\beta_9 (\ln C_i)^2 + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (1)$$

式中:  $F_i$  表示第  $i$  个农户的总产值;  $L_i$ 、 $T_i$ 、 $C_i$  分别表示第  $i$  个农户的劳动力、土地和资本投入;  $\beta_1 - \beta_9$  表示劳动力、土地和资本投入的一次项、交互项和平方项的待估系数;  $\varepsilon_i$  是随机误差项。为缩小数据之间的绝对差异,避免个别极端值同时满足同方差、符合正态分布等基本假定,本文在测算生产效率时将总产值、投入等数值均取对数,不仅不会改变数据的性质和相关关系,还使得数据更加平稳,也削弱了模型的共线性、异方差性等影响。

其次,选取当年农户的玉米种植收入作为产出的指标,当年玉米种植面积作为土地投入的指标,玉米种植过程中的化肥投入、种子投入、农家肥投入、地膜投入、农药投入、灌溉水电投入、机械费投入等作为资本投入的指标,玉米种植过程中总雇工费用作为劳动投入的指标。

最后,运用Stata软件把玉米种植的农业投入、农业产出指标带入随机前沿生产函数得出农户生产效率  $M$ 。

### 2.2.2 内生转换回归模型(ESRM)

以往学者通常使用倾向得分匹配(PSM)或内生转换回归模型(ESRM)检验变量间因果影响,进而分析家庭是否从技术采用中受益。但PSM既不能解决由选择偏差或遗漏变量所导致的内生性问题,也无法模拟实验条件,使得样本代表性变差,影响结果的外部有效性<sup>[33-35]</sup>。ESRM综合考虑了可观测和不可观测变量导致的样本选择偏差,不仅能弥补既有研究在PSM方法上的缺陷,还能解决由于未观测的选择特征,导致采用者和非采用者估计结果之间存在的系统性差异,修正选择性偏误<sup>[35]</sup>。

ESRM由两部分组成:在本文中,农户采取保护

性耕作技术决策是一个虚拟变量,采用者为1,否则为0,因此,在模型第一阶段,运用Probit模型对自我选择导致的内生性进行修正,估计农户保护性耕作技术采用(不采用)概率。借鉴Abdulai等<sup>[25]</sup>的研究,假设农户是风险中性的,若采用某项保护性耕作技术的净收益高于不采用该技术的净收益,那么农户通常会采用该技术。公式如下:

$$Y_i^* = \Phi(\mathbf{Z}_i) + \mu_i \quad (2)$$

$$Y_i = \begin{cases} 1 & \text{if } Y_i^* > 0 \\ 0 & \text{if } Y_i^* \leq 0 \end{cases}$$

式中:  $Y_i^*$  是农户  $i$  采用保护性耕作技术所获得的净收益;  $\Phi$  是待估参数;  $\mathbf{Z}_i$  是外生解释变量向量,包括农户个体特征、家庭特征等;  $\mu_i$  是随机扰动项。

在ESRM第二阶段,构建保护性耕作技术对农户生产效率影响模型,如式(3):

$$M_i = \beta_i X_i + \delta Y_i + \varepsilon_i \quad (3)$$

式中:  $M_i$  为农户  $i$  的生产效率(以玉米为例);  $X_i$  为影响农户生产效率的因素;  $Y_i$  为农户  $i$  保护性耕作技术采用变量;  $\beta$  和  $\delta$  为待估参数;  $\varepsilon_i$  为随机扰动项。分别估计采用和采用保护性耕作技术对农户生产效率影响的结果方程,如式(4)和式(5)

$$M_{ia} = \beta_a X_{ia} + \sigma_{\mu a} \lambda_{ia} + v_{ia}, \text{ if } Y_i = 1 \quad (4)$$

$$M_{in} = \beta_n X_{in} + \sigma_{\mu n} \lambda_{in} + v_{in}, \text{ if } Y_i = 0 \quad (5)$$

式中:  $M_{ia}$  和  $M_{in}$  分别表示采用保护性耕作技术的农户与未采用农户的生产效率;  $X_{ia}$  和  $X_{in}$  分别表示影响采用农户和未采用农户生产效率的因素;  $v_{ia}$  和  $v_{in}$  表示随机扰动项。如果有不可观测同时影响  $\varepsilon_i$  与  $v_{ia}$  和  $v_{in}$ , 导致  $\varepsilon_i$  与  $v_{ia}$  和  $v_{in}$  的协方差至少有一个显著不为0,说明模型存在选择性偏误<sup>[35]</sup>,为解决上述问题,最大程度减少因遗漏变量导致的样本选择偏差,本文引入逆米尔斯比率  $\lambda_{ia}$  和  $\lambda_{in}$  及协方差  $\sigma_{\mu a} = \text{cov}(\mu_i, v_{ia})$ 、 $\sigma_{\mu n} = \text{cov}(\mu_i, v_{in})$ ,并借鉴Tooa等<sup>[36]</sup>运用全信息最大似然函数对式(1)和式(4)、式(5)进行联立估计。在ESRM估计出相关系数后,计算采用保护性耕作技术对生产效率影响的平均处理效应ATT。

### 2.2.3 逆概率加权回归调整模型(IPWRA)

IPWRA不仅用于存在样本“数据缺失”和“自选

择”的情况下可能从PSM中产生的潜在偏差估计(ATT),还对无法直接观测到采用保护性耕作技术农户未采用的行为构建反事实框架,确保估计结果的一致性,凭借其双重稳健性优势,只要正确定义变量、模型或实验组,就可得到一致的估计实验结果<sup>[32,37]</sup>。步骤如下:首先,计算采用保护性耕作技术方程的倾向得分或概率(式(6)),计算逆概率权重(式(7))。其次,利用权重对外生变量进行回归调整(式(8)),并结合权重和回归调整进行模型拟合(式(9)),当然,这些回归都是在加权基础上进行(式(10)、(11)),以获得采用和不采用的概率预期结果。最后,计算ATT评估保护性耕作技术采用对农户增收减贫的影响。公式如下:

$$P(\mathbf{X}) = \Pr(A_i = 1 | \mathbf{X}) = F\{h(\mathbf{X})\} = E(A_i | \mathbf{X}) \quad (6)$$

式中:  $\mathbf{X}$  表示观察到的特征向量;  $P(\mathbf{X})$  表示样本中能够观测到的农户保护性耕作技术采用 ( $A_i = 1$ ) 的估计概率;  $F\{\}$  表示累积分布函数;  $h(\mathbf{X})$  表示影响保护性耕作技术因素的回归设定;  $A_i = 1$  表示农户采用保护性耕作技术,  $A_i = 0$  表示农户不采用保护性耕作技术。

$$W_i = A_i + (1 - A_i) \frac{\hat{P}(\mathbf{X})}{1 - P(\mathbf{X})} \quad (7)$$

式中:  $W_i$  表示倾向得分权重;  $\hat{P}$  是估计的倾向得分。继Austin<sup>[35]</sup>之后,处理组的逆权重等于1,而对对照组的逆权重为  $\frac{\hat{P}(\mathbf{X})}{1 - P(\mathbf{X})}$ 。对于式(8)中的回归调整(RA)模型,ATT可以表示为:

$$ATT_{RA} = n_Q^{-1} \sum A_i [r_Q(\mathbf{X}, \delta_Q) - r_N(\mathbf{X}, \delta_N)] \quad (8)$$

式中:  $n_Q$  表示采用保护性耕作技术的子样本;  $r_Q$  表示采用者的估计模型;  $r_N$  表示非采用者的回归模型,同时对观察到的特征  $X_i$  和参数估计值  $\delta_i = (\alpha_i, \beta_i)$ , ( $j = Q, N$ ) 进行回归,并对回归调整预测的结果进行平均,以确定增收减贫效果。

IPWRA作为一种双重稳健性估计,结合式(8)的RA和式(7)的IPW,随后在式(9)中表示:

$$ATT_{IPWRA} = n_Q^{-1} \sum_{i=1}^n A_i [r_Q^*(\mathbf{X}, \delta_Q^*) - r_N(\mathbf{X}, \delta_N^*)] \quad (9)$$

式中:  $\delta_Q^*(\alpha_Q^*, \beta_Q^*)$  和  $\delta_N^*(\alpha_N^*, \beta_N^*)$  是从采用者(式(10))

2023年3月

和非采用者(式(11))的加权回归过程获得的逆概率加权回归估计参数。

$$\min_{\alpha_Q, \beta_Q} \sum_{i=1}^N A_i (Y_i - \alpha_Q^* - X\beta_Q^*) / \hat{P}(X) \quad (10)$$

$$\min_{\alpha_N, \beta_N} \sum_{i=1}^N (1 - A_i) (Y_i - \alpha_N^* - X\beta_N^*)^2 / (1 - \hat{P}(X)) \quad (11)$$

当然,正如 Wooldridge<sup>[37]</sup>所研究,从 IPWRA 和 RA 获得的 *ATT* 是相似的,只是对回归参数使用了不同的加权估计而已。

### 3 数据来源、变量选取与描述性统计

#### 3.1 数据来源

数据来源于课题组 2021 年 8 月对黄土高原陕甘宁玉米种植户进行调研。陕甘宁主体位于黄土高原中部的丘陵沟壑区,位于东亚季风边缘区,处于温带大陆性季风气候向温带半干旱气候过渡带,具有黄土高原地质特色,是国家黄河上中游生态环境重点建设区,但该区域自然环境脆弱,强降雨洪涝、低温冻害等极端天气变化造成农业产量不稳定,给农业生产带来极大挑战。同时,陕甘宁地段也是人口相对集中、种植业收入占农户总收入比重相对较高的区域,土地滥用和过度开发等人为因素造成严重水土流失。

本次调研采取典型调查、分层抽样与简单随机抽样相结合方式。首先,典型调查法选取陕西渭南、甘肃张掖和宁夏青铜峡 3 个保护性耕作治理效果较好区域。其次,采用分层与随机抽样相结合方法,每市随机抽取 2~3 个县(区),在每个县(区)随机选取 1~3 个乡镇,采用分层方式对每乡镇选取 4~8 个村,对每村庄随机选择 20 个左右农户,一对一调研,调查问卷内容涉及农户个人特征、家庭特征、玉米种植情况以及保护性耕作技术实施情况等信息。最终,共发放问卷 1283 份,剔除关键信息缺失和前后逻辑不一致的样本,得到有效样本 1268 份,有效率为 98.83%。

#### 3.2 变量选取

解释变量:本文借鉴 Justice 等<sup>[34]</sup>关于保护性耕作技术采用的定义,用“农户是否采用保护性耕作技术”衡量,若农户采用了保护性耕作技术,则赋值为 1,否则为 0。在调研的 1268 份农户问卷中,有

849 名农户采用保护性耕作技术,占比 67%,其中,陕西 421 户(采用保护性耕作技术有 229 户)、甘肃 447 户(采用保护性耕作技术有 347 户)、宁夏 400 户(采用保护性耕作技术有 273 户)。虽然说明调研区域采用保护性耕作技术的覆盖率相对较高,但不代表该地区农户保护性耕作技术的采用率和转化率高,且仍有 33% 农户没有采取保护性耕作措施,耕地质量提高和有效性治理有待解决。

被解释变量:①农户农业生产效率。借鉴闫迪等<sup>[22]</sup>测算蔬菜种植户的生产效率研究,选取当年农户玉米生产种植的收入作为产出指标,劳动、资本和土地作为投入指标,并将其带入 SFA 函数,运用 Stata 计算农户农业生产效率;②农户增收减贫。借鉴左孝凡等<sup>[38]</sup>关于农地流转的减贫效应研究,用家庭人均纯收入指标衡量贫困,检验农户增收减贫效果。

控制变量:为避免其他可能因素对结果造成干扰,参考已有研究<sup>[23]</sup>选取户主个体特征(性别、年龄、受教育程度)、家庭特征(家庭务农人口、土地流转情况、非农就业情况、耕地规模、耕地质量、是否有借贷、是否参与产业组织、家庭除草剂费用、施肥费用、雇佣劳动力费用)、政府政策实施情况(是否提供农技推广服务、是否提供气象服务)、极端天气特征(近 3 年低温冻害加剧情况、近 3 年大风冰雹加剧情况)作为控制变量。

#### 3.3 描述性统计分析

由表 1 可知,虽然采用保护性耕作技术的农户占比为 67%,但农户玉米种植的生产效率是相对较低的。户主大多数(83%)为男性,平均年龄为 56 岁,受教育程度较低(小学水平)。平均每户务农人口为 2 人,29% 的家庭有土地流转,参与非农就业活动和产业组织比率较低(33%),说明家庭收入来源比较单一。平均耕地面积约为 14 亩,但耕地质量相对较好。20% 的家庭有借贷现象,接受过农技推广服务的农户仅占受访样本总数的 26%,但接受过政府及时气象服务提醒的农户远超过半数(74%)。在极端天气变化感知中,受访农户认为近 3 年低温冻害和大风冰雹在加剧,对农业生产生活造成一定影响。

表1 变量描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of variables

变量	描述	最小值	最大值	均值	标准差	采用农户 (均值)	非采用农 户(均值)	差值
保护性耕作技术 被解释变量	采用保护性耕作技术(1=是,0=否)	0.000	1.000	0.670	0.470			
家庭生产效率	通过随机前沿模型测算(以玉米种植为例)	0.000	1.000	0.485	0.162	0.494	0.467	0.027***
家庭人均纯收入	家庭纯收入/家庭规模/元,已对数化处理	5.886	12.777	9.868	0.795	9.897	9.808	0.062*
户主特征								
性别	户主性别(1=男,0=女)	0.000	1.000	0.831	0.375	0.844	0.804	0.040*
年龄	户主年龄/岁	19.000	89.000	56.196	10.262	55.617	57.370	-1.753***
教育程度	户主教育程度/年	0.000	9.000	2.699	0.956	2.809	2.649	0.160***
家庭特征								
家庭务农人口	家庭务农劳动力数量/人	0.000	5.000	1.587	0.937	1.629	1.501	0.128**
土地流转情况	家庭是否有土地流转(1=是,0=否)	0.000	1.000	0.289	0.453	0.308	0.248	0.060**
非农就业活动	从事非农就业活动(1=是,0=否)	0.000	1.000	0.330	0.470	0.370	0.248	0.122***
耕地规模	家庭耕地面积/亩	0.000	900.000	14.439	30.588	15.725	11.833	3.892**
耕地质量	耕地质量问题程度:几乎没有=1,不太严重=2,一般=3,比较严重=4,非常严重=5	1.000	5.000	1.662	0.767	1.783	1.603	0.180***
借贷情况	家庭是否有借贷(1=是,0=否)	0.000	1.000	0.204	0.403	0.220	0.172	0.048**
参加产业组织	家庭是否参加产业组织(1=是,0=否)	0.000	1.000	0.327	0.469	0.377	0.227	0.150***
除草剂费用	每亩除草剂费用(取对数)	0.000	9.210	2.560	3.384	2.385	2.913	-0.528***
施肥费用	每亩施肥(化肥+农家肥)费用(取对数)	0.000	12.794	7.661	1.273	7.600	7.785	-0.185**
雇佣劳动力费用	雇佣劳动和家庭劳动的费用(取对数),以工日计	0.000	12.899	3.588	3.969	3.352	4.065	-0.713***
政府特征								
农技推广服务	政府是否提供农技推广服务(1=是,0=否)	0.000	1.000	0.402	0.491	0.420	0.365	0.055*
气象服务	政府是否提供气候变化信息(1=是,0=否)	0.000	1.000	0.747	0.435	0.758	0.704	0.064**
极端天气特征								
低温冻害	近3年低温冻害加剧感知:几乎没有=1,不太严重=2,一般=3,比较严重=4,非常严重=5	1.000	5.000	3.274	1.136	3.232	3.358	-0.126*
大风冰雹	近3年大风冰雹加剧感知:几乎没有=1,不太严重=2,一般=3,比较严重=4,非常严重=5	1.000	5.000	3.162	1.152	3.092	3.305	-0.213***

注:\*\*\*、\*\*、\*分别表示1%、5%和10%的水平上显著。下同。

## 4 结果与分析

### 4.1 保护性耕作技术采用对生产效率的影响分析

#### 4.1.1 保护性耕作技术采用影响因素的ESRM模型估计结果及分析

表2第2-4列分析了农户保护性耕作技术采用的影响因素。个人特征中:性别在保护性耕作技术方程中的估计系数为0.302,在1%统计水平上显著,说明户主为男性会提高保护性耕作技术采用概率;年龄变量估计系数表明,随着年龄增长,农户采用保护性耕作技术意愿降低;教育程度对农户采用保护性耕作技术影响为正,在1%统计水平上显著,这

可能是因为保护性耕作技术包含知识密集型措施,受教育水平较高的农户,具备更多保护性耕作的技术知识和技能。

家庭特征中,务农劳动力数量给农户保护性耕作技术采用带来了显著的正向效应,这是因为务农劳动力人口越多,家庭拥有越强的生产能力,越能完成农业生产任务后转而着手保护性耕作措施的处理;参加非农就业变量在保护性耕作技术采用的影响系数为0.625,在1%统计水平上显著,这可能是由于农户参与非农就业,多方面优化生计策略,获得更多收入,因而对保护性耕作技术的投入资本更

2023年3月

表2 保护性耕作技术采用的影响因素及其对生产效率影响的ESRM模型估计结果

Table 2 Results of the endogenous transformation regression model (ESRM) estimation of the factors influencing conservation tillage technology adoption and its impact on production efficiency

变量	保护性耕作技术采用			生产效率					
				采用者(849)			非采用者(419)		
	Coef.	Std.err.	P-value	Coef.	Std.err.	P-value	Coef.	Std.err.	P-value
性别	0.302	0.100	0.003***	-0.024	0.015	0.117	0.017	0.022	0.433
年龄	-0.012	0.004	0.004***	0.002	0.001	0.734	-0.004	0.001	0.000***
教育程度	0.157	0.042	0.000***	0.019	0.007	0.003***	-0.021	0.009	0.019**
家庭务农人口	0.092	0.040	0.022**	0.006	0.006	0.314	0.013	0.009	0.135
土地流转情况	0.106	0.082	0.198	0.028	0.012	0.021**	-0.001	0.019	0.948
非农就业活动	0.625	0.161	0.000***	0.006	0.030	0.831	0.053	0.036	0.139
耕地规模	0.002	0.002	0.328	0.0005	0.0001	0.001***	-0.000	0.001	0.982
耕地质量	0.209	0.048	0.000***	0.028	0.009	0.001***	0.023	0.011	0.043**
借贷情况	0.063	0.096	0.511	-0.007	0.013	0.585	-0.016	0.022	0.479
参加产业组织	0.335	0.102	0.001***	0.029	0.015	0.048**	0.075	0.023	0.001***
除草剂费用	-0.021	0.016	0.190	0.015	0.002	0.000***	0.012	0.003	0.001***
施肥费用	0.014	0.039	0.715	-0.006	0.006	0.305	0.001	0.008	0.909
雇佣劳动力费用	-0.008	0.012	0.511	-0.001	0.002	0.536	-0.003	0.002	0.293
农技推广服务	0.143	0.084	0.102	0.105	0.027	0.000***	0.045	0.031	0.145
气象服务	0.013	0.091	0.887	-0.010	0.013	0.430	0.002	0.020	0.934
低温冻害	-0.087	0.038	0.023**	0.004	0.006	0.479	-0.028	0.008	0.001***
大风冰雹	-0.024	0.038	0.539	0.009	0.005	0.104	-0.017	0.008	0.039**
常数	1.733	0.454	0.000***	0.422	0.064	0.000***	0.891	0.104	0.000***
/Ins1	-1.609	0.065	0.000***						
/Ins2	-1.911	0.024	0.000***						
/r1	-1.460	0.157	0.000***						
/r2	0.258	0.247	0.917						
Sigma_1	0.200	0.013							
Sigma_2	0.148	0.004							
Rho_1	-0.898	0.030							
Rho_2	0.026	0.247							
LR test of <i>Indep.</i>	0.036								
<i>Prob&gt;chi<sup>2</sup></i>	0.000								
log likelihood	-67.274								

高;耕地质量对农户采用保护性耕作技术的影响系数为0.209,在1%的统计水平上正向显著,表明耕地质量越佳,农户采用保护性耕作技术的热情越高,越有利于持续提升和推进高标准农田建设;参与产业组织有利于保护性耕作技术的采用,农户积极参加产业组织,拓宽信息渠道,增加资金和农业投入(如肥料和技术援助),分散家庭风险。

极端天气特征中,农户感知近3年低温冻害加

剧在保护性耕作技术影响的估计系数为-0.087,在5%统计水平上显著,说明极端天气变化增加了农户农业生产不确定性,对采用保护性耕作技术产生不利影响。

#### 4.1.2 保护性耕作采用对生产效率影响的ESRM模型估计结果及分析

使用ESRM的全信息最大似然法对保护性耕作技术采用者和非采用者的生产效率进行估计,结

果如表2第5-10列,生产效率方程的协方差项( $Rho_1$ 和 $Rho_2$ )具有统计显著性,说明该模型确实存在样本选择性偏误,表明ESRM在经验估计中是合适的。协变量结果显示:

个人特征中,年龄的系数为负,与未采用保护性耕作技术农户的生产效率相关,说明随着农户年龄的增长,农户无力耕种,也不太可能更多地投资于保护性耕作技术,因而对农业生产效率产生负面影响;对于采用保护耕作技术农户来说,受教育程度对农业生产效率影响是正向,在1%的水平上显著,而对于未采用保护性耕作技术农户来说,受教育程度对农业生产效率影响是负向,在5%水平上显著,说明了保护性耕作技术采用过程中接受教育的重要性,农户受教育程度较高,适应新技术的调整能力较强,能够较快地掌握保护性耕作技术的要领。

家庭特征中,耕地规模和土地流转,对采用保护性耕作技术提高农业生产效率均有显著正向影响,原因是耕地规模较大和存在土地流转的家庭,具备稳定承包权和放活经营权等特征,是保护性耕作技术采用的前提需求,对于耕地规模较小和存在土地流转的未采用家庭,对农业生产效率提高均没有显著影响,侧面说明大面积地块的经济价值和租金支付意愿更强烈,且土地流转能够解决土地细碎化、土地撂荒等问题,实现规模化农地经营,农户能大规模采用保护性耕地技术,最终提高收益和农业生产效率;耕地质量对采用者和非采用者的农户生产效率都有显著积极影响,说明农户耕地资源禀赋越好,生产效率越高;增加除草剂费用和参加产业组织对提高采用者和非采用者生产效率均是显著且正向的,说明施用除草剂和产业组织是解释保护性耕作技术影响农户生产效率差异的重要变量。

政府特征中,农技推广服务对采用者的生产效率有显著影响,这表明随着政府农技推广服务力度增大,采用者的生产效率逐渐增加,不论线上还是线下的农技推广服务,培训形式越多样,农户生产效率也就越高。

极端天气特征中,采用保护性耕作技术的农户遭受低温冻害和大风冰雹,并不会影响农业生产效

率,而未采用农户在遭受极端天气后,其农业生产效率出现下滑,说明保护性耕作技术通过覆盖地膜、铺秸秆等措施,能够为农作物生长提供一个良好的土壤环境和水资源环境,保证农作物产量,并减缓由于极端气候变化导致的农业生产种植风险。

#### 4.1.3 保护性耕作技术采用对生产效率影响的平均处理效应估计结果及分析

经处理组平均处理效应测算和控制组平均处理效应测算,可得保护性耕作技术采用对生产效率影响的实际效果(表3)。表3第2-3列中的0.494和0.467数值分别表示事实结果,0.465和0.495这2个数值是基于内生转换回归模型下测度出反事实情境下的结果。

表3中农户在事实和反事实情境下的生产效率,两者净收益之差最终体现为 $ATT$ 。 $ATT=0.029$ 且在1%水平上显著,表明若同一个农户由现实情境下采用保护性耕作技术改为拒绝采用,其生产效率的平均处理效应将由0.494下降至0.465,其生产效率的平均处理效应下降了0.029,下降比例为5.9%。与之相对应的是, $ATU=0.028$ ,反映了非采用农户的平均处理效应在1%显著水平上产生正向促进作用,其生产效率处理效应将上升0.028,上升比例6.0%。可见,保护性耕作技术作为一种可持续农业技术,已成为促进农户生产效率提升的主要驱动因素,对农业生产条件改善和农业现代化进程推进发挥着重要作用。

#### 4.2 保护性耕作技术采用对增收减贫的影响分析

表4展示了IPWRA提供的采用保护性耕作技术影响的事后农户增收减贫效应估计。结果显示, $ATT$ 估计值为0.089, $P$ 值为0.035,在5%的统计水平

表3 保护性耕作技术采用对生产效率影响的平均处理效应

Table 3 Average treatment effects of conservation tillage technology adoption impact on productivity

	采用者	非采用者	$ATT$	$ATU$	$ATE$
采用者	0.494 (0.010)	0.465 (0.009)	0.029*** (0.009)		0.029*** (0.009)
非采用者	0.495 (0.014)	0.467 (0.013)		0.028*** (0.009)	

注:本文使用Bootstrap500次自助重复抽样,计算标准误差。下同。

2023年3月

表4 保护性耕作技术采用对增收减贫影响的IPWRA模型估计结果

Table 4 Estimation results of conservation tillage technology adoption affecting income generation and poverty reduction using the inverse probability weighted regression adjustment (IPWRA) model

Treatment effects	Coefficient	Std.err.	P-value
采用者平均处理效应(ATT)	0.089	0.042	0.035**
潜在结果均值(POM)	9.808	0.333	0.000***

上显著,说明849位采用者比419位未采用(反事实)的家庭增收减贫概率增加了8.9个百分点,验证了采用保护性耕作技术能够对家庭实现增收减贫效果的结论。*POM*估计系数为9.808,在1%统计水平显著,说明农户通过采用保护性耕作技术这种可持续农业,减少农田土壤侵蚀,保护农田生态环境,革新技术设备,促进劳动力正向转移,不仅能直接提高家庭人均纯收入,还能间接转化为家庭福利的溢出效应,减轻家庭贫困发生的可能性,实现获得生态效益、经济效益及社会效益协调发展。

(1)共同支撑域检验。为了保证样本匹配质量,通常仅保留倾向得分位于“共同支撑域”当中的样本,即确保“采用者”与“非采用者”的倾向得分取值范围有相同的部分。图1展示了农户保护性耕作

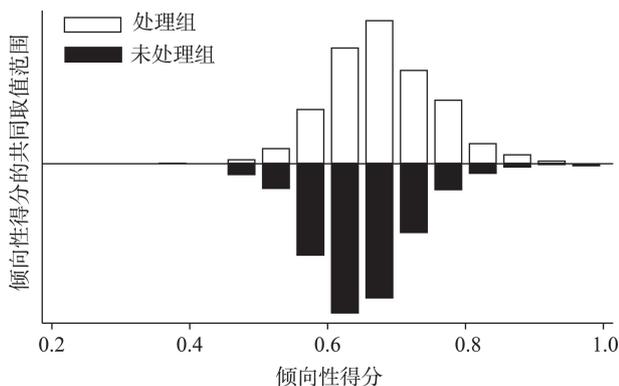


图1 共同支撑域检验

Figure 1 Common support domain test

技术采用与非采用的匹配结果,可以直观地看出大多数观察值在共同取值范围内,匹配后采用者和非采用者的倾向得分区间具有较大范围重叠,故在进行倾向得分匹配时会损失少量样本,表明样本匹配结果良好。

(2)平衡性检验。为确保保护性耕作技术采用对家庭增收减贫的研究结果可靠,在完成样本匹配的支撑域检验后又进行了平衡性检验,增强回归结果的有效性。由表5可知,解释变量的均值偏差整体减少到1.9%~2.4%,中位数偏差减少到1.8%~2.9%,显著降低了总体偏差;伪 $R^2$ 从匹配前0.023也下降到匹配后0.001~0.002;似然比检验值表明,解释变量的联合显著性检验在样本匹配之前是统计显著的,即变量之间完全不独立,有很强相关关系,而匹配后 $P$ 值统计不显著,说明变量之间相互独立。依据上述检验结果可知,样本匹配质量较好。

(3)PSM不同匹配方法的处理结果。当然,本文也使用PSM的不同匹配方法,进一步补充验证采用保护性耕作技术对农户增收减贫的影响程度(表6)。在所有匹配方法中,保护性耕作技术采用都对农户家庭人均纯收入增加有显著的正向影响,卡尺匹配和 $K$ 近邻匹配影响效应为0.104、核匹配和半径匹配的估计影响0.090,因此,保护性耕作技术的采用使得农户的增收减贫效应增加了9~10个百分点。这些发现与Abdulai<sup>[25]</sup>的研究结果一致,指出农村地区的保护性耕作技术采用能增加家庭收入,积累家庭财富,从而使农户变得更富裕。

#### 4.3 稳健性检验

为检验上述结论的稳健性,本文采用分样本方法,将样本分成工程措施、耕地措施、生物措施、工程+生物措施、工程+耕地措施、生物+耕地措施、全部采用共7种措施进行重新估计得出表7。分区域

表5 匹配前后的平衡性检验

Table 5 Balance test before and after matching

	Ps- $R^2$	LR $\chi^2$	$P > \chi^2$	均值标准化偏差	中位数标准化偏差
匹配前	0.023	37.10	0.000	13.6	13.7
$K$ 近邻匹配( $K=4$ )	0.001	2.12	0.832	2.4	2.5
核匹配	0.002	3.71	0.592	1.9	1.8
半径匹配	0.001	3.12	0.682	2.6	2.4
卡尺匹配(卡尺范围0.01)	0.001	2.02	0.846	2.4	2.9

表6 不同匹配方法的平均处理效应(PSM)

Table 6 Average treatment effects of different matching methods (propensity score matching, PSM)

匹配方法	系数	Bootstrap 标准差	Z 值	$P >  Z $
卡尺匹配(卡尺范围0.01)	0.104	0.044	2.34	0.019**
K 近邻匹配(K=4)	0.104	0.043	2.42	0.016***
核匹配	0.090	0.043	2.10	0.036**
半径匹配	0.090	0.044	2.03	0.042**
平均值	0.097			

方法,即把样本分为陕西、甘肃、宁夏3个地区重新估计得出表8。

表7给出了农户从单一采用保护性耕作技术到联合采用3种保护性耕作技术对农业生产效率的不同影响。结果表明,农户采用生物措施、生物+耕作措施对生产效率提高的影响系数分别为0.031和0.027,均在5%统计水平上显著,工程+生物措施、联合采用3种措施的农户对生产效率估计系数分别为0.038和0.067,均在1%统计水平上显著,估计变量结果与上述表中的影响方向和显著性程度大致相

同。表8给出了黄土高原不同地区保护性耕作技术采用对农户增收减贫的影响。结果表明,陕西、甘肃地区保护性耕作技术的影响更为明显,在陕西地区,无论是采用者还是非采用者都对收入提高产生积极影响,在宁夏地区,农户采用保护性耕作技术实现增收减贫的影响效果更为显著。总之,无论农户身在何处,选择几种技术属性组合的保护性耕作技术,均得出采用保护性耕作技术确实提高了农业生产效率和实现了增收减贫效果的结果,进一步说明了本文结论的可靠性。

表7 不同保护性耕作技术选择对生产效率的影响

Table 7 Effects of different conservation tillage technology choices on productivity

变量	模型1 耕作措施	模型2 工程措施	模型3 生物措施	模型4 工程+生物措施	模型5 工程+耕作措施	模型6 生物+耕作措施	模型7 全部采用
生产效率	0.005(0.011)	0.015(0.010)	0.031**(0.013)	0.038*** (0.012)	0.023(0.009)	0.027**(0.014)	0.067*** (0.018)
常数	0.464*** (0.050)	0.470*** (0.050)	0.469*** (0.050)	0.453*** (0.050)	0.457*** (0.050)	0.437*** (0.052)	0.466*** (0.050)
$R^2$	0.188	0.189	0.191	0.194	0.192	0.191	0.197
Adj $R^2$	0.176	0.178	0.180	0.183	0.181	0.179	0.185
$Prob > F$	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

注:户主特征、家庭特征、政府推广特征、极端天气特征等变量都已控制。

表8 黄土高原不同地区保护性耕作技术采用对农户增收减贫影响

Table 8 Impact of conservation tillage technology adoption on income generation and poverty reduction of farming households in different areas of the Yellow River Basin

变量	保护性耕作技术			农户增收减贫					
				采用者			非采用者		
	Coef.	Std.err.	P-value	Coef.	Std.err.	P-value	Coef.	Std.err.	P-value
陕西	0.462	0.191	0.016***	0.204	0.027	0.000***	0.233	0.035	0.000***
甘肃	0.766	0.082	0.000***	0.008	0.014	0.579	0.012	0.008	0.104
宁夏	0.178	0.263	0.499	0.071	0.040	0.073*	0.037	0.047	0.431
常数	1.806	0.492	0.000***	0.495	0.064	0.000***	0.863	0.098	0.000***
$Prob > \chi^2$	0.000								
log likelihood	84.283								

2023年3月

## 5 结论与政策启示

### 5.1 结论

基于黄土高原陕西、甘肃、宁夏三省1268份农户调查数据,利用随机前沿方法测量农户生产效率后,运用内生转换回归模型和逆概率加权回归调整模型,分别探讨了保护性耕作技术采用对生产效率和增收减贫效应的影响。主要结论如下:

(1)农户保护性耕作技术采用能够显著提升生产效率。具体表现为在反事实假设下,样本区采用保护性耕作技术的农户若未采用保护性耕作技术,其生产效率将下降0.029;未采用保护性耕作技术农户若采用了保护性耕作技术,其生产效率将提高0.028。

(2)保护性耕作技术具有明显的增收减贫效应,采用保护性耕作技术比未采用农户的家庭人均纯收入增加8.9个百分点, $K$ 近邻匹配、半径匹配、卡尺匹配和核匹配的实证结果仍然证实保护性耕作采用会促进农户收入增加,说明保护性耕作的推广具有很好的经济效果,可降低贫困发生率。

(3)保护性耕作是多项子技术的集成,不同技术所发挥的效益存在明显差异,农户联合采用保护性耕作技术比采用单一技术的生产效率提高更加明显。且保护性耕作技术采用的增收减贫效果也存在地区差异,相较甘肃和宁夏,陕西地区的农户保护性耕作技术采用增收效益更加显著。保护性耕作技术的关联性和区域相宜性是农户技术选择的基础,当这些要素相耦合时,才能形成保护性耕作技术推广与应用的评估体系。

### 5.2 政策启示

基于上述研究发现,本文得出以下政策启示:

(1)为促进农户积极采用保护性耕作等新技术,政府应拓展教育培训基地进行技术指导、优化耕地质量、开设试验田、及时提供气候变化信息,最大程度发挥技术增值效应,确保新技术的有效传播与广泛应用。

(2)政府相关部门为激励农户采用新技术,出台专项优惠措施和政策文件,补贴资金,减轻成本约束,并实施差别化推广策略引导不同规模农户,并因地制宜地推广保护性耕作技术,提升农业生产

效率,实现技术采用收益最大化。

(3)非政府机构部门(企业、合作社等)、村集体等多方利益相关者,充分运用“羊群效应”合理引导农户的群体行为,发挥其辐射带动作用,促进区域集体经济组织与小农户有机衔接,为发挥保护性耕作技术的提效增收作用创造有利环境。

虽然,保护性耕作技术在提效与增收减贫方面被证明是有效的,但高昂的采用成本和低采用意愿使该技术选择实施起来较为困难,仍需当地政府的项目统筹、资金支持,科研机构和工厂企业的合力攻坚,推动农户完成“从不采用到采用,从部分采用到整套采用”的转变,真正实现保护性耕作技术的大面积推广应用,促进中国农村和农业的可持续稳定发展。

### 参考文献(References):

- [1] 贾蕊,陆迁. 土地流转促进黄土高原区农户水土保持措施的实施吗? 基于集体行动中中介作用与政府补贴调节效应的分析[J]. 中国农村经济, 2018, (6): 38-54. [Jia R, Lu Q. Can land transfer promotes the implementation of soil and water conservation measures in the Loess Plateau? An analysis based on mediation effect of collective action and moderation effect of government compensation[J]. China Rural Economy, 2018, (6): 38-54.]
- [2] 马橙,龚直文. 基于两阶段选择模型的果农保护性耕作技术采纳行为分析:以陕西省礼泉县为例[J]. 农林经济管理学报, 2018, 17(3): 302-308. [Ma C, Gong Z W. Fruit farmers' willingness to adopt conservation tillage technology: Based on survey data from Liquan County, Shaanxi Province[J]. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2018, 17(3): 302-308.]
- [3] Li J, Wang Y, Guo Z, et al. Effects of conservation tillage on soil physicochemical properties and crop yield in an arid Loess Plateau, China[J]. Scientific Reports, 2020, 10(1): 1-15.
- [4] 李小建,王玉钊,李元征,等. 黄河流域高质量发展:人地协调与空间协调[J]. 经济地理, 2020, 40(4): 1-10. [Li X J, Wen Y Z, Li Y Z, et al. High-quality development of the Yellow River Basin from a perspective of economic geography: Man-land and spatial coordination[J]. Economic Geography, 2020, 40(4): 1-10.]
- [5] Kalinda T H, Tembo G, Ng'ombe J N. Does adoption of conservation farming practices result in increased crop revenue: Evidence from Zambia[J]. Agrekon, 2017, 56(2): 205-221.
- [6] Yang X, Shang G. Smallholders' agricultural production efficiency of conservation tillage in Jiangnan plain, China: Based on a three-stage DEA model[J]. International Journal of Environmental Re-

- search and Public Health, 2020, DOI: 10.3390/ijerph17207470.
- [7] Aravindakshan S, Rossi F, Amjath-Babu T S, et al. Application of a bias-corrected meta-frontier approach and an endogenous switching regression to analyze the technical efficiency of conservation tillage for wheat in South Asia[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2018, 49: 153-171.
- [8] Guo H, Zhao W, Pan C, et al. Study on the influencing factors of farmers' adoption of conservation tillage technology in black soil region in China: A logistic-ISM model approach[J]. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, DOI: 10.3390/ijerph19137762.
- [9] Liu L, Shangguan D Y, Li X F, et al. Influence of peasant household differentiation and risk perception on soil and water conservation tillage technology adoption: An analysis of moderating effects based on government subsidies[J]. *Journal of Cleaner Production*, 2021, DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.125092.
- [10] 李卫, 薛彩霞, 姚顺波, 等. 保护性耕作技术, 种植制度与土地生产率: 来自黄土高原农户的证据[J]. *资源科学*, 2017, 39(7): 1259-1271. [Li W, Xue C X, Yao S B, et al. Conservation tillage, cropping systems and land productivity for households on the Loess Plateau[J]. *Resources Science*, 2017, 39(7): 1259-1271.]
- [11] 仇焕广, 苏柳方, 张祎彤, 等. 风险偏好、风险感知与农户保护性耕作技术采纳[J]. *中国农村经济*, 2020, (7): 59-79. [Qiu H G, Su L F, Zhang Y T, et al. Risk preference, risk perception and farmers' adoption of conservation tillage[J]. *China Rural Economy*, 2020, (7): 59-79.]
- [12] 王振华, 李萌萌, 王苍林. 契约稳定性对农户跨期技术选择的影响: 基于2271个地块数据的分析[J]. *资源科学*, 2020, 42(11): 2237-2250. [Wang Z H, Li M M, Wang C L. Impact of contract stability on farming households' intertemporal technology selection: An analysis based on the data of 2271 plots[J]. *Resources Science*, 2020, 42(11): 2237-2250.]
- [13] 赵建吉, 刘岩, 朱亚坤, 等. 黄河流域新型城镇化与生态环境耦合的时空格局及影响因素[J]. *资源科学*, 2020, 42(1): 159-171. [Zhao J J, Liu Y, Zhu Y K, et al. Spatiotemporal differentiation and influencing factors of the coupling and coordinated development of new urbanization and ecological environment in the Yellow River Basin[J]. *Resources Science*, 2020, 42(1): 159-171.]
- [14] 刘丽, 褚力其, 姜志德. 技术认知, 风险感知对黄土高原农户水土保持耕作技术采用意愿的影响及代际差异[J]. *资源科学*, 2020, 42(4): 763-775. [Liu L, Chu L Q, Jiang Z D. Influence of technology cognition and risk perception on the willingness to adopt soil and water conservation tillage technologies and its intergenerational differences[J]. *Resources Science*, 2020, 42(4): 763-775.]
- [15] Ngwira A R, Thierfelder C, Lambert D M. Conservation agriculture systems for Malawian smallholder farmers: Long-term effects on crop productivity, profitability and soil quality[J]. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2013, 28(4): 350-363.
- [16] Achiba G A. Managing livelihood risks: Income diversification and the livelihood strategies of households in pastoral settlements in Isiolo County, Kenya[J]. *Pastoralism*, 2018, DOI: 10.1186/s13570-018-0120-x.
- [17] Giller K E, Corbeels M, Nyamangara J, et al. A research agenda to explore the role of conservation agriculture in African smallholder farming systems[J]. *Field Crops Research*, 2011, 124(3): 468-472.
- [18] 杨继军, 王鑫. 耕地经营权流转对农业生产效率的影响: 规模效应抑或选择效应[J]. *农业技术经济*, 2022, (12): 43-55. [Yang J J, Wang X. The impact of cultivated land transfer on agricultural production efficiency: Scale effect or selection effect?[J]. *Agricultural Technical Economy*, 2022, (12): 43-55.]
- [19] 盖庆恩, 王美知, 石宝峰, 等. 土地比较优势, 农户行为与农业生产效率: 来自种植结构调整的考察[J]. *经济研究*, 2022, 57(10): 138-155. [Gai Q E, Wang M Z, Shi B F, et al. Land Comparative advantage, farmer behavior and agricultural productivity: A study on the adjustment of planting structure[J]. *Economic Research Journal*, 2022, 57(10): 138-155.]
- [20] 杨海燕, 王凤婷, 吴伟光. 采用服务外包提高林业生产效率实证研究[J]. *林业经济问题*, 2022, 42(4): 422-429. [Yang H Y, Wang F T, Wu W G. Empirical study on improving forestry productivity by using service outsourcing[J]. *Issues of Forestry Economics*, 2022, 42(4): 422-429.]
- [21] 王静, 赵凯. 宅基地退出, 要素配置与农户农业生产效率[J]. *南京农业大学学报(社会科学版)*, 2022, 22(3): 151-163. [Wang J, Zhao K. Homestead exit, factor allocation and farmer's agricultural production efficiency[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University (Social Science Edition)*, 2022, 22(3): 151-163.]
- [22] 闫迪, 郑少锋. 互联网使用能提高农户生产效率吗? 以陕冀鲁三省蔬菜种植户为例[J]. *南京农业大学学报(社会科学版)*, 2021, 21(1): 155-166. [Yan D, Zheng S F. Can the internet use improve farmers' efficiency? Evidence from vegetable growers in Shaanxi, Hebei and Shandong Provinces[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University (Social Sciences Edition)*, 2021, 21(1): 155-166.]
- [23] 胡伦, 陆迁. 干旱风险冲击下节水灌溉技术采用的减贫效应: 以甘肃省张掖市为例[J]. *资源科学*, 2018, 40(2): 417-426. [Hu L, Lu Q. Poverty reduction effects of water-saving irrigation technology adoption under drought risk in Zhangye, Gansu[J]. *Resources Science*, 2018, 40(2): 417-426.]
- [24] 彭斯, 陈玉萍. 农户绿色生产技术采用行为及其对收入的影响: 以武陵山茶叶主产区为例[J]. *中国农业大学学报*, 2022, 27(2): 243-255. [Peng S, Chen Y P. Farmers' green production technology adoption behavior and its impact on income: Taking the main

2023年3月

- tea producing areas in Wuling Mountain as an example[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2022, 27(2): 243–255.]
- [25] Abdulai A N. Impact of conservation agriculture technology on household welfare in Zambia[J]. *Agricultural Economics*, 2016, 47(6): 729–741.
- [26] 崔钊达, 余志刚, 张培鸽. 保护性耕作技术采用有助于提高粮食生产技术效率吗? 以玉米为例[J]. *农林经济管理学报*, 2021, 20(4): 458–467. [Cui Z D, Yu Z G, Zhang P G. Does adoption of conservation tillage technology help improve technical efficiency of grain production? A case study of corn[J]. *Journal of Agro-Forestry Economics Management*, 2021, 20(4): 458–467.]
- [27] 郭亚军, 邱丽萍, 姚顺波. 节水灌溉技术对农户农业收入影响分析[J]. *经济问题*, 2022, (4): 93–100. [Guo Y J, Qiu L P, Yao S B. Analysis of the impact of irrigation water-saving techniques adoption on farmers' agricultural income[J]. *Economic Issues*, 2022, (4): 93–100.]
- [28] 李亚娟, 马骥. 科学施肥技术的收入效应差异分析: 基于粮农初始禀赋的实证估计[J]. *农业技术经济*, 2021, (7): 18–32. [Li Y J, Ma J. Analysis on income effect differences of scientific fertilization technology: An empirical estimation based on farmers' initial endowment[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2021, (7): 18–32.]
- [29] 陈凯达, 陈开军. 农业安全背景下技术进步促进农业收入的机制[J]. *河北农业大学学报(社会科学版)*, 2022, 24(5): 89–98. [Chen K D, Chen K J. The mechanism of technological progress promoting agricultural income in the context of agricultural security[J]. *Journal of Hebei Agricultural University (Social Sciences)*, 2022, 24(5): 89–98.]
- [30] 李长生, 刘西川. 土地流转的创业效应: 基于内生转换 Probit 模型的实证分析[J]. *中国农村经济*, 2020, (5): 96–112. [Li C S, Liu X C. The impacts of land rental market participation on entrepreneurship: An empirical analysis based on the endogenous switching probit model[J]. *China Rural Economy*, 2020, (5): 96–112.]
- [31] Carrer M J, De Souza Filho H M, Vinholis M M B, et al. Precision agriculture adoption and technical efficiency: An analysis of sugarcane farms in Brazil[J]. *Technological Forecasting and Social Change*, 2022, DOI: 10.1016/j.techfore.2022.121510.
- [32] Danso-Abbeam G, Dagunga G, Ehiakpor D S. Rural non-farm income diversification: Implications on smallholder farmers' welfare and agricultural technology adoption in Ghana[J]. *Heliyon*, 2020, DOI: 10.1016/j.heliyon.2020.e05393.
- [33] Zheng H, Ma W. Smartphone-based information acquisition and wheat farm performance: Insights from a doubly robust IPWRA estimator[J]. *Electronic Commerce Research*, 2021, DOI: 10.1007/s10660-021-09481-0.
- [34] Justice A, T, Jonathan M. Differential impacts of conservation agriculture technology options on household income in Sub-Saharan Africa[J]. *Ecological Economics*, 2018, 151: 95–105.
- [35] Austin P C. Variance estimation when using inverse probability of treatment weighting (IPTW) with survival analysis[J]. *Statistics in Medicine*, 2016, 35(30): 5642–5655.
- [36] Temitope O O, Lloyd J S B, Adetoso A A, et al. Adoption of soil and water conservation technology and its effect on the productivity of smallholder rice farmers in Southwest Nigeria[J]. *Heliyon*, 2021, DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e06433.
- [37] Wooldridge J M. *Econometric Analysis of Cross-Section and Panel Data*[M]. Cambridge: MIT Press Books, 2010.
- [38] 左孝凡, 陆继霞. 贫困脆弱性视阈下的农地流转减贫效应[J]. *资源科学*, 2020, 42(2): 274–285. [Zuo X F, Lu J X. Effect of agricultural land transfer on rural poverty reduction from the perspective of poverty vulnerability[J]. *Resources Science*, 2020, 42(2): 274–285.]

## Effects on efficiency improvement and poverty reduction of conservation tillage technology adoption by farming households in the Loess Plateau area

GAO Tianzhi, FENG Hui, LU Qian

(College of Economics and Management, Northwest A&amp;F University, Yangling 712100, China)

**Abstract: [Objective]** Conservation tillage technology, as a comprehensive technology beneficial to ecology, environment, and soil health of farmland, is an important tool to improve the quality of

arable land and is related to sustainable agricultural development. **[Methods]** Based on 1268 questionnaires from maize farmers in the Shaanxi, Gansu and Ningxia regions of the Loess Plateau, after measuring agricultural production efficiency using a stochastic frontier (SFA) model, we used the endogenous transformation regression model (ESRM) to test the effect of farming households' conservation tillage technology adoption on agricultural production efficiency and the inverse probability weighted regression adjustment (IPWRA) model to estimate the effect of farming households' conservation tillage technology adoption on income generation and poverty reduction. **[Results]** The results indicate that: (1) The adoption of conservation tillage technology can significantly improve the agricultural production efficiency of farm households, and on the basis of considering the counterfactual situation, the production efficiency of the farmers who adopted conservation tillage technology increased by 2.9% compared with those of the non-adopted farmer households. (2) Conservation tillage technology adoption had a robust positive contribution to the poverty reduction effect of farm household income increase, with a significant increase of 8.9% in per capita net household income for conservation tillage technology adopters compared to non-adopters, and the validity and reliability of the results were further verified using different matching methods of the propensity matching score (PSM). (3) Compared with the adoption of a single conservation tillage technology, the increase in productivity of farmers' multiple combinations of conservation tillage technology adoption is more significant; compared with Gansu Province and Ningxia Province, farmers in Shaanxi Province have a more significant effect on increasing income and reducing poverty by adopting conservation tillage technology. **[Conclusion]** Arable land is the key to food production, and the government actively promotes conservation tillage technology and motivates farmers to adopt it, which not only helps to improve crop yields, save labor, increase agricultural productivity, improve economic benefits, and reduce poverty incidence, but also preserves water and fertilizer, improves soil structure, and protects the environment, which is an important guiding reference for the further promotion of conservation tillage technology.

**Key words:** conservation tillage technology adoption; farming households; agricultural production efficiency; poverty reduction; endogenous switching regression model (ESRM); inverse probability weighted regression adjustment (IPWRA); the Loess Plateau area