

技术培训对农户粮食生产韧性的影响效应与作用机制

马永喜^{a,b}, 丁芮^a, 俞书傲^{a,b*}

(浙江理工大学 a. 经济管理学院; b. 浙江省生态文明研究院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 基于全国农村固定观察点数据, 以水稻、小麦和玉米主产区农户为研究对象, 采用韧性评估模型、内生转换模型以及中介和调节效应模型, 实证分析技术培训对农户粮食生产韧性的影响效应及其作用机制。结果表明: 技术培训能显著增强农户粮食生产韧性, 该结论在稳健性检验后依然成立; 技术培训可以通过促进农户增加内部投资来提升粮食生产韧性, 而不能通过促进农户增加外部投资来提升粮食生产韧性, 土地经营规模则在技术培训对农户粮食生产韧性的影响中有正向调节作用; 内部投资的中介效应和土地经营规模的调节效应在小麦和玉米种植户中更为明显。

关键词: 粮食生产韧性; 技术培训; 农户

中图分类号: F323.3

文献标识码: A

文章编号: 1009-2013(2024)05-0027-11

The impacts of technical training on farmers' grain production resilience and its mechanism

MA Yongxi^{a,b}, DING Rui^a, YU Shuao^{a,b*}

(a. School of Economics and Management; b. Zhejiang Academy of Eco-Civilization, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Based on the data of fixed observation points in rural areas, with the farmers in the main producing areas of rice, wheat and corn being taken as the research object, the impact of technical training on farmers' grain production resilience and its mechanism were analyzed empirically by adopting the resilience assessment model, the endogenous switching model, and the mediating and moderating effect model. The research shows that technical training enhances farmers' grain production resilience significantly, and the conclusion still stands after the robustness test. Technical training could enhance the grain production resilience through increasing farmers' internal investment rather than external investment. The scale of land management has a positive moderating effect on the impact of technical training on farmers' grain production resilience. Meanwhile, both the mediating effect of internal investment and the moderating effect of farmland scale are more significant in wheat and corn farmers than that in rice farmers.

Keywords: grain production resilience; technical training; farmers

一、问题的提出

党的二十大报告明确指出, 要强化农业科技和装备支撑, 全方位夯实粮食生产安全根基。2024年, 中央“一号文件”强调要确保粮食产量保持稳定增长。然而, 当前我国粮食生产面临着气候变化和市

场波动等多重外部冲击, 同时粮食生产的资源环境约束逐步趋紧, 这些现实条件使得我国粮食减产风险将持续存在, 给我国保持粮食生产长期稳定带来了新的挑战^[1]。农户是我国粮食生产的微观主体, 受到内外部环境最直接的影响。如何增强农户粮食生产韧性, 已成为我国化解粮食减产风险和保障粮食稳产的重大理论与现实问题。

近年来, 粮食生产韧性逐渐受农业经济学者关注, 并被用以考察粮食生产系统受到冲击时的抵抗与恢复能力^[2]。已有较多研究通过构建多维度韧性指标体系、采用熵值赋权法等方法量化评估了我国

收稿日期: 2024-06-27

基金项目: 国家自然科学基金国际合作项目(41961124004); 浙江省统计科学研究项目(24TJQN16); 浙江省教育厅科研项目(Y202250557)

作者简介: 马永喜(1977—), 男, 河南信阳人, 博士, 教授, 主要研究方向为农业可持续发展。*为通信作者。

粮食生产韧性的时空演进趋势。蒋辉等^[3]研究测算表明我国粮食生产韧性整体呈下降趋势,仅有东北地区粮食生产韧性水平较为稳定。不过也有学者认为我国粮食生产韧性呈波动上升趋势,其中粮食主产区粮食生产韧性水平显著高于主销区和产销平衡区。左秀平和叶林祥^[4]研究发现,我国粮食体系韧性存在一定区域收敛趋势,组间差异是韧性发展不平衡不充分的主要原因。在韧性评估的基础上,一些学者采用地理探测器等方法分析了粮食生产韧性变化的驱动因素,研究发现农业生产资料价格上涨和极端天气冲击限制了粮食生产韧性提升^[3],而科技进步、基础设施建设和数字经济发展等则是驱动粮食生产韧性提升的最主要因素^[5,6]。这些研究大多是聚焦于宏观层面的分析,鲜有深入农户层面的考察,难以揭示科技进步等因素驱动粮食生产韧性提升的微观机制。

农业技术培训作为农业劳动力人力资本投入最直接的方式,对规范农户生产行为、优化农业生产方式有着深刻影响,为提升粮食生产效率和应对粮食生产风险提供了可行思路^[7,8]。已有研究表明,农户参与技术培训有利于提高农户自身的技术认知水平和技术可获得性,同时可以促进农业技术信息传播和农户间的农业技术推广,从而促进农业生产效率提升和可持续发展^[8]。机械化农具等生产性固定资产的应用已成为农业现代化发展的重要标志。从理论上来说,农业技术培训将有助于提升农户机械化农具的使用意愿和投入倾向,从而提升农户的生产能力。有研究指出,在农业规模化经营发展背景下,农业技术培训能够显著提升农户经营管理能力,强化其土地规模经营意愿和选择低成本高效率的生产方式,从而提升其粮食产出和农业收入水平^[9,10]。这些研究在技术培训对粮食生产的促进作用上做了较深入的探讨,但是对于技术培训如何影响粮食生产韧性,增强生产稳定性还缺乏深入的理论和实证分析,尚未从农户粮食生产韧性视角来进一步揭示农业技术培训对我国粮食生产的影响效应和作用机制。

有鉴于此,本文将在评估农户粮食生产韧性的基础上,实证分析农业技术培训对农户粮食生产韧性的影响效应及其作用机制。本文可能的边际贡献在于:一是从微观视角评估水稻、小麦和玉米等种植户的粮食生产韧性,弥补以往研究在农户层面分析的不足;二是理论分析并实证评估农业技术培训

对农户粮食生产韧性的影响效应,拓展粮食生产韧性理论与实证研究;三是检验内部投资、外部投资和土地经营规模在农业技术培训影响农户粮食生产韧性中的中介与调节作用,进一步揭示粮食生产韧性提升的微观机制。

二、理论分析与研究假说

(一) 粮食生产韧性的理论内涵

“韧性”原本是物理学概念,表示物体受到冲击时的抵抗与恢复能力,后被广泛应用于生态学、社会学和经济学等其他领域^[11]。粮食生产韧性是粮食体系韧性或农业系统韧性中最重要的组成部分,反映了农业经营主体在粮食生产过程中遭受外部冲击时可以有效抵抗、及时适应并积极变革,从而保持粮食生产趋于稳定的能力,对保障粮食体系稳定运行意义重大^[12,13]。一些学者采用粮食单产或土地和劳动力生产率的稳定性等反映粮食生产能力的指标来表征粮食生产韧性。另有学者在此基础上进一步考虑了科技进步、生产要素投入和基础设施建设等多方面因素,构建包含粮食生产抵抗力、适应力和变革力的多维度复合指标体系来反映粮食生产韧性^[3,14]。学术界普遍认为粮食生产韧性的核心内涵在于粮食产出的稳定性,而粮食实际产出与预期产出之间偏差的大小能有效反映受到外部冲击时粮食生产受影响的程度,偏差越小则代表粮食产出稳定性越高,粮食生产韧性越强^[15,16]。

从概念内涵上来讲,包含粮食生产抵抗力、适应力和变革力的多维度复合指标体系对粮食生产韧性的刻画更为全面,但粮食产出偏差同样暗含了粮食生产系统应对内外部冲击时的抵抗、适应与变革,是一项能够直接反映粮食生产韧性的综合指标。因此,两者虽然在韧性指标形式上有所区别,但在表征粮食生产韧性的内在逻辑上是统一的。为进一步解析粮食生产韧性的理论内涵,本文在以往研究基础上构建粮食生产韧性概念示意图如下(图1):

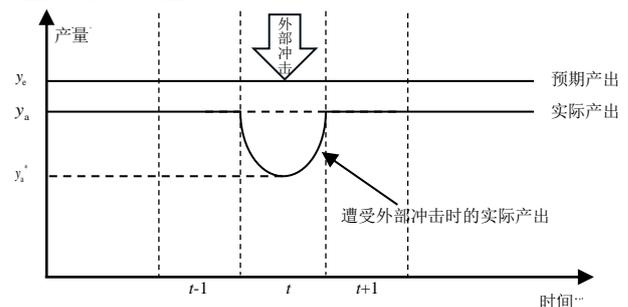


图1 粮食生产韧性概念示意图

其中, y_e 为农户粮食生产的预期产出, 表示在当前技术水平和生产条件下所能够达到的最高产出, 即生产前沿, 假定 y_e 在一段时间内保持不变; y_a 为未遭受外部冲击影响时农户的粮食实际产出, 与 y_e 存在一定差距, 表示受制于农户技术掌握程度、经营管理能力以及其他资源约束条件, 农户无法实现最高产出; 而在受到外部冲击影响时, 农户粮食产出受损, 实际产出从 y_a 下降到 y_a^* 。基于上述分析, 粮食生产韧性可表示如下:

$$y_e - y_a^* = (y_e - y_a) + (y_a - y_a^*) \quad (1)$$

沿用 Rao 和 Lamichhane 等^[15,16]基于粮食生产稳定性的分析思路, 本文考虑农户在外部冲击影响下的粮食实际产出 y_a 与预期产出 y_e 的偏差可以用于表征粮食生产韧性, 而这种偏差由两部分组成: 一是农户在未遭受外部冲击影响时的粮食实际产出 y_a 与预期产出 y_e 的偏差, 反映农户实际生产水平与生产前沿面的距离, 即粮食生产效率; 二是农户在是否遭受外部冲击两种情况下的实际产出之差 $y_a - y_a^*$, 反映了农户的粮食生产风险。因此, 从理论上来说, 粮食生产韧性由粮食生产效率和粮食生产风险共同决定, 提升粮食生产韧性需要协同提升粮食生产效率和降低粮食生产风险。

(二) 技术培训影响农户粮食生产韧性的理论机制

舒尔茨认为改造传统农业的关键在于人力资本投资, 对农户进行技术培训能够有效弥补其前期教育不足, 进而提升其人力资本水平, 改善其生产行为及其表现^[17]。一方面, 农业技术培训有助于农户更科学和更熟练地运用现有生产技术和设备进行农业生产活动, 优化土地、劳动力、化肥和农药等生产要素配置, 提高使用效率, 同时也能提高农户对新技术新设备的认知水平与接纳程度, 使得农业科技进步成果能够得到更有效的应用与转化, 缩小实际产出与生产前沿面的差距, 从而促进粮食生产效率提升^[18]。另一方面, 技术培训还可以打破信息传播壁垒, 促进政府与农户、农户与农户之间的交流, 扩展农户信息渠道以帮助其调整生产决策以应对可能出现的粮食生产风险^[17]。综上, 技术培训将有利于提升粮食生产效率并降低粮食生产风险。基于此, 本文提出如下研究假说:

H₁: 技术培训能够提升农户粮食生产韧性。

农业生产性投资是农业资本积累和生产力进步的重要源泉, 其中以机械化农具为代表的固定资产使用是农业现代化发展的重要标志之一^[19]。相较于传统的人力、畜力和其他铁木农具, 机械化农具投入显著提升了农户播种、灌溉和收割效率, 这不仅有利于粮食生产效率增长, 同时也缩短了农户在粮食生产不同环节所需要花费的时间, 使得农户有能力在面对极端天气等不利情况时, 提高生产效率和抢占有利时机, 从而降低粮食生产风险^[10,19]。与此同时, 在当前倡导绿色农业和可持续发展的现实背景下, 化肥和农药等传统要素使用受限, 对粮食生产形成了不利的“农业投入冲击”^[20], 而机械化投入对化肥和农药投入的替代效应能够弥补这种“冲击”造成的产出损失, 从而实现粮食绿色增产^[21]。农业技术培训则有助于大幅提升农户对农业机械化的认知水平和采用意愿, 使农户在生产性投资决策中更偏向于对机械化农具等固定资产进行投资^[22]。同时, 劳动力与农业机械相对价格上升会诱发农户的农业机械技术需求, 部分农户基于成本收益的考虑会更倾向于购置农业机械外包服务^[23]。因此, 农业技术培训可以通过促进农户对机械化农具等内部投资(生产性固定资产投资)和机械化农具等外部投资(机械作业投入)来提升粮食生产效率、降低粮食生产风险, 进而提升农户粮食生产韧性。基于上述理论机制分析, 本文提出如下研究假说:

H_{2a}: 技术培训可通过促进农户内部投资来提升粮食生产韧性;

H_{2b}: 技术培训可通过促进农户外部投资来提升粮食生产韧性。

土地是农业生产活动最基本和最重要的投入要素。已有大量研究表明, 土地经营规模是决定粮食生产效率的重要因素之一^[24,25]。尽管学术界对于二者是否存在“反向关系”尚有争议^[26,27], 但越来越多的证据表明, 土地经营规模与粮食生产效率之间呈现倒“U”形关系, 规模报酬会随着规模扩大而提升, 直到经营规模的最优拐点^[28,29]。与此同时, 土地规模经营有利于实现土地细碎化整治和基础设施建设等高标准农田建设的具体要求, 能够有效提高农户应对极端天气等风险冲击的抵抗能力, 从而达到保障粮食稳产增产的目的^[30,31]; 适度规模经营有利于提升灌溉和种收机械等要素利用效率^[32]。

技术培训一方面能促进农户采纳与应用技术,帮助农户实现包含土地在内的生产资源优化配置,另一方面能让农户接触到更多农业经营理念与管理方案^[22,27],提升土地经营管理能力。相较于小农户,规模户更倾向于采取资本与技术偏向型的生产调整行为,更能够发挥先进技术和优势,其抵抗外界冲击的能力更强^[28,29]。因而,土地经营规模扩张将能够正向调节技术培训对农户粮食生产韧性的影响效应,但这种影响效应是否呈现倒“U”形趋势仍有待检验。依据上述论证,得到如下研究假说:

H_{3a}: 土地经营规模可以强化技术培训对农户粮食生产韧性提升的促进作用;

H_{3b}: 土地经营规模的调节作用存在先正向后负向的倒“U”形趋势。

三、模型、变量与数据

(一) 模型构建

1. 粮食生产韧性评估

基于上述粮食生产韧性的理论内涵分析,结合 Lamichhane 等^[16]的研究思路,本文将农户粮食生产实际产出与预期产出的偏差作为粮食生产韧性指标,具体模型构建如下:

$$AYI_{i,j} = Y_{i,j}^A / Y_j^A \quad (2)$$

$$EYI_{i,j} = Y_{i,j}^E / Y_j^E \quad (3)$$

$$RI_{i,j} = AYI_{i,j} - EYI_{i,j} \quad (4)$$

$AYI_{i,j}$ 和 $EYI_{i,j}$ 分别为地区 j 农户 i 的实际产出指数和预期产出指数; $AYI_{i,j}$ 由该农户实际产出 $Y_{i,j}^A$ 与所在地区所有农户实际产出均值 Y_j^A 的比值来表示; $EYI_{i,j}$ 由该农户预期产出 $Y_{i,j}^E$ 与所在地区所有农户预期产出均值 Y_j^E 的比值来表示; $RI_{i,j}$ 为农户粮食生产韧性指数,由农户实际与预期产出指数偏差来表示, $RI_{i,j}$ 越大表示农户粮食生产韧性越大。

农户粮食生产预期产出 $Y_{i,j}^E$ 由联合国粮农组织 (FAO) 开发的 AquaCrop 作物生长模型计算所得。该模型综合考虑了作物生长的生物机理、土壤物候、水分平衡与田间管理因素,尤其适用于农户层面的产出模拟和预测,已被广泛运用于全球主要粮食作物水稻、小麦和玉米等的产出模拟^[33,34]。

2. 内生转换模型

由于农户是否参与农业技术培训是非随机的

自选择过程^[27],因此存在样本自选择偏误和内生性问题。为解决该问题,常用方法包括倾向匹配得分法 (PSM)、工具变量法 (IV) 和双重差分法 (DID) 等;其中,PSM 难以消除不可观测因素的影响,IV 无法捕捉农户处理效应的异质性,使用 DID 进行估计则需要严格满足平行趋势假定,这些方法均不适用于本研究中的样本非随机自选择情况。而内生转换模型 (Endogenous Switching Model, 简称 ESM) 可以将不可观测因素导致的估计偏差纳入模型中,可在一定程度上校正样本选择偏差,解决不可观测因素导致的样本选择偏误问题,消除变量间的内生性。故本研究采用内生转换模型实证分析技术培训对农户粮食生产韧性的影响。

该模型第一阶段假设农户是否参与技术培训取决于参与效用 (E_{1i}) 和不参与效用 (E_{0i}) 之差,若 $A_i^* = E_{1i} - E_{0i} > 0$,则农户选择参与技术培训。其决策模型如下:

$$A_i^* = FU_i + \omega V_i + \mu_i, A_i = 1(A_i^* > 0) \quad (5)$$

其中, A_i^* 为农户参与技术培训的净效用, U_i 为外生解释变量向量, V_i 为确保 ESM 模型成功识别的工具变量。考虑到农户参与技术培训的决策是在一定资本条件下进行的^[16,18],并且该变量与粮食生产韧性没有直接联系,故本文选取“村经济水平”和“村产业化经营程度”作为模型识别的工具变量。 μ 为随机扰动项。

第二阶段在农户决策模型的基础上,区分参与技术培训与未参与技术培训两个子样本,构建不同决策下农户粮食生产韧性的影响模型:

$$RI_{1i} = \beta_1 X_{1i} + \varepsilon_{1i}, \text{ if } A_i = 1 \quad (6)$$

$$RI_{0i} = \beta_0 X_{0i} + \varepsilon_{0i}, \text{ if } A_i = 0 \quad (7)$$

其中, RI_1 和 RI_0 分别为参与户和未参与户的粮食生产韧性, X_1 和 X_0 分别为两类农户粮食生产韧性的影响因素, ε_1 和 ε_0 为随机误差项。第一阶段模型和第二阶段模型的随机扰动项 μ 和 ε 相关。ESM 通过将两者的协方差引入影响模型来控制不可观测因素带来的选择性偏误。则农户在参与和不参与两种情况下的条件期望分别为:

$$E(RI_{1i} | A_i = 1) = \beta_1 X_{1i} + \delta_{\mu 1} \mathcal{Q}_{1i} \quad (8)$$

$$E(RI_{0i} | A_i = 0) = \beta_0 X_{0i} + \delta_{\mu 0} \mathcal{Q}_{0i} \quad (9)$$

其中, $E(RI_{it} | A_i = 1)$ 为参与户的期望值, $E(RI_{it} | A_i = 0)$ 为未参与户的期望值, $\delta_{\mu_{1v}} = \text{cov}(\mu_i, \varepsilon_i)$, $\delta_{\mu_{0v}} = \text{cov}(\mu_i, \varepsilon_0)$ 。

“参与技术培训”与“不参与技术培训”是两种不可观测的“反事实”情景, 根据前文所测系数和条件期望, 将两类农户数据带入相反情景的期望公式中可以对“反事实”情景下的农户粮食生产韧性进行拟合:

$$E(RI_{it} | A_i = 1) = \beta_{0i} X_{it} + \delta_{\mu_{0v}} \mathcal{Q}_{it} \quad (10)$$

$$E(RI_{it} | A_i = 0) = \beta_{1i} X_{0i} + \delta_{\mu_{1v}} \mathcal{Q}_{0i} \quad (11)$$

参与技术培训的平均处理效应, 即被处理组的平均处理效应 (Average Treatment Effect on the Treated, ATT) 可以表述为式 (8) 与式 (10) 之差:

$$ATT = E(RI_{it} | A_i = 1) - E(RI_{0i} | A_i = 1) \quad (12)$$

同理, 未参与技术培训的平均处理效应, 即未被处理组的平均处理效应 (Average Treatment Effect on the Untreated, ATU) 可以表述为式 (11) 与式 (9) 之差:

$$ATU = E(RI_{it} | A_i = 0) - E(RI_{0i} | A_i = 0) \quad (13)$$

ATT 表示, 若参与技术培训的农户选择不参与技术培训时其粮食生产韧性指数的差异。ATU 表示, 若未参与技术培训的农户选择参与技术培训时其粮食生产韧性指数的差异。

3. 作用机制识别

为识别技术培训影响农户粮食生产韧性的作用机制, 本文采用中介效应和调节效应模型进行实证分析。借鉴江艇^[35]关于中介效应的估计思路, 本文构建如下中介效应模型:

$$RI_i = \gamma_1 A_i + \alpha_{i1} \quad (14)$$

$$RI_i = \gamma_2 A_i + \gamma_3 D_i + \alpha_{i2} \quad (15)$$

$$D_i = \gamma_4 A_i + \alpha_{i3} \quad (16)$$

其中, D_i 为中介变量 (内部投资与外部投资), γ_1 为技术培训对农户粮食生产韧性的总效应, γ_2 为技术培训对 RI 的直接效应, $\gamma_3 \times \gamma_4$ 表示技术培训经中介变量对 RI 的间接效应, 三者关系为 $\gamma_1 = \gamma_2 + \gamma_3 \gamma_4$ 。

借鉴江艇^[35]关于调节效应的估计思路, 本文构建如下调节效应模型:

$$RI_i = \theta_0 + \theta_1 A_i + \theta_2 Z_i + \theta_3 A_i \times Z_i + \rho \quad (17)$$

$$\frac{\partial E(RI_i | \cdot)}{\partial A_i} = \theta_1 + \theta_3 Z_i \quad (18)$$

其中, Z_i 为调节变量 (土地经营规模); $A_i \times Z_i$ 代表技术培训与调节变量的交互项, 其估计系数 θ_3 反映农户经营规模作用于技术培训影响粮食生产韧性的调节作用; 若 $\theta_3 > 0$, 则表示 Z_i 起到正向调节作用, 反之则起到负向调节作用。

(二) 变量设置

1. 被解释变量

被解释变量为农户粮食生产韧性。本文采用农户粮食生产的实际产出与预期产出指数的偏差来构建农户粮食生产韧性评估指数。

2. 核心解释变量

本文采用“技术培训”作为核心解释变量, 若农户参与了农业技术培训, 则赋值为 1, 否则赋值为 0。

3. 控制变量

为避免其他可能因素对实证估计结果造成干扰, 本文引入一系列控制变量: 一方面是农户特征变量, 包括户主性别、年龄、教育程度和是否为农业户口、粮食直接补贴等; 另一方面是模型识别变量, 参考 Lamichhane 和 Manda 等^[16,36]的研究, 本文选取村经济水平和村产业化经营程度作为内生转换模型的识别变量, 前者用村经济发达程度在所居县水平来表示, 后者则用村中参加产业化经营的户数与村年末总户数的比值来表示。

4. 机制变量

中介变量包括内部投资与外部投资。参考葛岩和吴海霞^[37]的研究, 使用生产性固定资产投资原值占家庭全年总支出的比值来代表内部投资。参考彭超和张琛^[9]的研究, 使用机械作业费占家庭全年总支出的比值来代表外部投资。调节变量为土地经营规模。参考郑志浩等^[29]的研究, 使用年末农户耕地总面积作为农户土地经营规模的衡量指标。

相关变量的描述性统计如表 1 所示。

(三) 数据来源

1. 农户数据

本文所使用的农户数据来自农业农村部全国农村固定观察点农户调查数据库 (2017 年), 具有全国代表性以及权威性。本文以我国水稻、小麦和玉米等粮食主产区农户为研究对象, 在剔除变量缺失严重或明显异常的样本后, 最终形成了包含 4180 个农户样本的数据集, 其中水稻种植户 1084 个,

小麦种植户 891 个, 玉米种植户 2205 个。

表 1 变量描述性统计

变量类型	变量名称	变量说明	观测数	均值	标准差	最小值	最大值
被解释变量	粮食生产韧性	实际与预期产出指数偏差	4 180	0.052	0.334	-1.052	2.958
核心解释变量	技术培训	参与=1, 未参与=0	4 180	0.137	0.344	0	1
控制变量	性别	男=1, 女=0	4 180	0.522	0.500	0	1
	年龄	周岁(岁)	4 206	49.266	15.696	19	90
	教育程度	受教育年限(年)	4 109	7.459	3.089	0	18
	是否为农业户口	农业户口=1, 非农业户口=0	4 180	0.970	0.171	0	1
	粮食直接补贴	家庭全年粮食直接补贴收入(元)	3 710	727.346	892.786	0	8 496
	村经济水平 ^m	村经济发达程度在所居县水平, 取值区间: 1-5	4 108	2.727	0.800	1	5
机制变量	村产业化经营程度 ^m	村产业化经营户占比(%)	2 298	0.087	0.169	0	1
	内部投资	生产性固定资产原值与总支出的比值(%)	3 428	0.455	0.719	0.001	8.938
	外部投资	全年机械作业费与总支出的比值(%)	1 624	0.015	0.020	0.000	0.192
	土地经营规模	年末农户耕地总面积(亩)	4 107	12.003	34.104	0.200	1 125

注: m 为模型识别变量。

2. 气候、土壤与作物物候数据

为准确评估农户粮食生产韧性, 本文采用气候、土壤和作物物候数据对水稻、小麦和玉米等粮食作物预期产出进行估计。气候数据源于国家气象科学数据共享服务平台, 包含最高气温、最低气温、平均气温、降水、湿度和风速, 均以日为单位; 土壤数据源于 SoilGrids 2.0 全球土壤数据库和中国土壤数据库, 包含深度、质地、有效含水量和含砂量等; 作物物候数据源于“中国主要农作物生长发育数据集”。AquaCrop 模型运行所需要的其他数据参数源于《AquaCrop 模型手册》以及 Lamichhane 和田旂旒等^[16,38]研究。

四、实证结果与分析

(一) 农户粮食生产韧性评估

农户粮食生产韧性评估结果如图 2 所示。

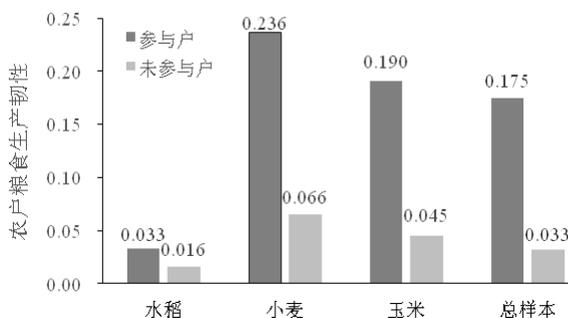


图 2 农户粮食生产韧性评估结果

技术培训参与户的粮食生产韧性均值达到了 0.175, 远高于未参与户的 0.033, 这在一定程度上

表明, 农业技术培训能够提升农户粮食生产韧性, 初步验证了 H_1 。分作物来看, 小麦组最高, 技术培训参与户的粮食生产韧性均值达到了 0.236; 玉米组次之, 技术培训参与户的粮食生产韧性均值为 0.190; 而水稻组最低, 技术培训参与户的粮食生产韧性均值仅为 0.033。

(二) 基准回归

内生转换模型的第一阶段回归结果如表 2 所示, LR 检验在 1% 的显著性水平下拒绝了模型相互独立的原假设, 且 $\ln\sigma_0$ 和 $\ln\sigma_1$ 在 1% 的显著水平下不为 0, 表明存在样本自选择问题, 不可观测因素同时影响了农户参与技术培训的决策及粮食生产韧性, 有必要采用内生转换模型进行样本分析。同时, ρ_1 均显著为正, 表明技术培训参与户的粮食生产韧性高于其他随机样本的韧性; ρ_0 均显著为负, 表明技术培训未参与户的粮食生产韧性低于其他随机样本的韧性。该结果表明了技术培训对农户粮食生产韧性具有积极作用, 进一步验证了 H_1 。

表 2 中列 (1)(4) 和 (7) 分别为水稻、小麦和玉米种植户参与农业技术培训的决策模型实证结果。可以发现, 男性相较于女性参与农业技术培训的概率更高, 其原因可能在于, 在传统农村家庭中男性户主更倾向于作为主要务农者学习种植技术。教育程度对参与技术培训有显著正向影响, 户主教育程度高的农户更倾向于接受新知识新技能, 参与培训的意愿更强烈, 该结果与潘丹^[39]的研究结果一致。村经济水平则与农户培训参与存在显著负向关系, 有学者认为落后地区农户渴望通过掌握技

术脱离贫困，农业技术培训相关政策措施通常也优先帮助或倾向于落后地区^[40]。村产业化经营程度越高的地方，水稻种植户技术培训参与率较低，而玉米种植户技术培训参与率较高。

表 2 中列 (2)(3)(5)(6)(8) 和 (9) 分别为水稻、小麦和玉米种植户粮食生产韧性影响因素的回归结果。户主性别对粮食生产韧性没有显著性影响；户主年龄、教育程度和是否为农业户口、粮食直接补贴等因素对农户粮食生产韧性的影响具

有作物类别异质性。其中，玉米种植户的粮食生产韧性受户主年龄和教育程度的影响较其他作物种植户更为显著。粮食直接补贴和是否为农业户口仅在水稻种植户的粮食生产韧性回归中存在显著影响。对于未参与技术培训的水稻种植户来说，粮食直接补贴能够显著提升其粮食生产韧性，但该效应在参与户中正好相反。这可能是由于粮食直接补贴与技术培训在影响农户粮食生产韧性中有一定的替代作用。

表 2 内生转换模型的第一阶段回归结果

变量	水稻			小麦			玉米		
	技术培训	粮食生产韧性		技术培训	粮食生产韧性		技术培训	粮食生产韧性	
	(1)	(2) 参与户	(3) 未参与户	(4)	(5) 参与户	(6) 未参与户	(7)	(8) 参与户	(9) 未参与户
性别	0.274 [*] (1.90)	0.046 (0.96)	-0.003 (-0.16)	0.327 ^{**} (2.18)	0.012 (0.26)	-0.010 (-0.27)	0.285 ^{***} (2.65)	-0.063 (-1.26)	0.016 (0.74)
年龄	1.106 ^{***} (4.56)	-0.023 (-0.21)	0.033 (0.93)	0.709 ^{***} (2.71)	-0.038 (-0.43)	-0.117 ^{**} (-2.13)	0.895 ^{***} (4.89)	-0.234 ^{***} (-2.61)	0.094 ^{**} (2.54)
教育程度	0.797 ^{***} (3.96)	-0.025 (-0.27)	0.028 (1.12)	0.500 ^{**} (2.43)	0.088 (1.12)	-0.057 (-1.43)	0.875 ^{***} (4.97)	-0.330 ^{***} (-3.80)	0.016 (0.54)
是否为农业户口	-0.397 (-1.24)	-0.193 ^{**} (-2.18)	-0.065 (-1.10)	-0.196 (-0.51)	0.167 (1.60)	-0.028 (-0.27)	-0.311 (-1.31)	0.057 (0.55)	0.106 [*] (1.79)
粮食直接补贴	0.141 (1.39)	-0.077 ^{**} (-2.02)	0.064 ^{***} (4.41)	0.056 (0.52)	0.052 (0.167)	-0.012 (-0.50)	-0.116 (-1.80)	0.007 (0.21)	-0.003 (-0.24)
村经济水平	-0.194 ^{**} (-2.19)			-0.434 ^{***} (-5.42)			-0.043 (-0.93)		
村产业化经营程度	-3.096 ^{***} (-2.97)			-1.091 (-1.05)			1.622 ^{***} (7.27)		
_cons	-7.001 ^{***} (-4.85)	0.528 (0.71)	-0.509 ^{**} (-2.54)	-3.766 ^{**} (-2.27)	-0.529 (-0.90)	0.602 [*] (1.80)	-5.425 ^{***} (-5.26)	2.146 ^{***} (4.43)	-0.458 ^{**} (-2.39)
lnσ ₀			-1.452 ^{***} (-35.58)			-1.159 ^{***} (-21.14)			-1.245 ^{***} (-48.75)
ρ ₀			-0.479 ^{**} (-1.85)			-1.477 ^{***} (-4.34)			-0.060 ^{***} (-9.25)
lnσ ₁		-1.442 ^{***} (-6.45)			-1.491 ^{***} (-9.17)			-0.886 ^{***} (-10.75)	
ρ ₁		1.174 ^{***} (2.67)			0.957 ^{***} (2.63)			2.015 ^{***} (11.97)	
LR test		199.62 ^{***}			170.94 ^{***}			1 090.10 ^{***}	

注：***、**、*分别表示 1%、5%、10%的显著性水平，括号内为 t 值。下同。

在内生转换模型一阶段实证基础上，本文进一步采用二阶段回归来估计技术培训影响农户粮食生产韧性的平均处理效应（表 3）。表 3 显示，水稻种植户 ATT 与 ATU 估计值未通过显著性检验。而小麦和玉米种植户 ATT 估计值分别在 1%和 5%的水平下显著为正，这表明参与户若不参与农业技术培训，其粮食生产韧性水平将明显降低，意味着参与农业技术培训显著提升了小麦和玉米种植户的粮食生产韧性，这些农户参与农业技术培训的决策是符合其自身利益的理性选择。小麦和玉米种植户 ATU 估计结果显著为正，与 ATT 的效应方向一致。这表明未参与户若参与技术培训，其粮食生产韧性水平将得到提升，这在一定程度上也佐证了技术培训对农户粮食生产韧性的积极作用。H₁ 得到了进一步验证。

表 3 内生转换模型的第二阶段回归结果：平均处理效应

	参与培训	未参与培训	ATT	ATU
水稻种植户				
参与户	0.045 [#]	0.169 ^{##}	-0.125	
未参与户	0.028 ^{##}	0.032 [#]		-0.004
小麦种植户				
参与户	0.199 [#]	-0.443 ^{##}	0.642 ^{***}	
未参与户	0.071 ^{##}	0.022 [#]		0.049 ^{**}
玉米种植户				
参与户	0.057 [#]	0.057 ^{##}	0.001 ^{**}	
未参与户	0.787 ^{##}	0.020 [#]		0.768 [*]

注：“#”表示实际观测结果，“##”则表示反事实假设下的粮食生产韧性。

(三) 稳健性检验

本文选择内生转换模型以消除变量间的内生性问题，为检验模型的内生性消除效果，采用倾向得

分匹配法进行稳健性检验。而且,为了排除极端值对回归结果造成的影响,剔除农户粮食生产韧性数据首尾5%的极端值,再次进行估计。结果如表4所示,两种稳健性检验估计结果在处理效应系数的方向和显著性上与基准回归结果基本一致,表明本文基准回归结果是稳健的。

表4 稳健性检验结果

	倾向匹配得分法		5%缩尾处理	
	ATT	ATU	ATT	ATU
水稻种植户	0.051	0.098	0.127	-0.070
小麦种植户	0.201***	0.186	0.691**	0.141
玉米种植户	0.032**	0.018	0.303*	0.730

五、机制分析

(一) 中介效应分析

1. 内部投资的中介效应

模型估计结果如表5所示。列(1)(3)和(5)中技术培训估计系数均为正,表明技术培训对农户

内部投资有显著的促进作用。与此同时,列(4)和(6)估计结果表明,内部投资的估计系数在5%和1%的水平下显著为正,表明增加内部投资能够显著提升小麦和玉米种植户的粮食生产韧性;而列(2)估计结果表明,内部投资对水稻种植户的粮食生产韧性未有显著作用。这意味着对小麦和玉米种植户而言,技术培训可以通过促进他们增加内部投资而提升其粮食生产韧性,内部投资发挥了中介效应, H_{2a} 在一定程度上得到了验证。

与此同时,本文进一步采用偏差校正的非参数百分位 Bootstrap 方法对内部投资的中介效应进行显著性检验,结果如表6所示。水稻、小麦和玉米种植户内部投资的中介效应系数分别为-0.007、0.008和0.011,分别占技术培训影响粮食生产韧性总效应的10.0%、3.8%和6.7%,小麦和玉米种植户的内部投资通过了显著性检验,水稻种植户的内部投资未通过显著性检验,这进一步说明 H_{2a} 在一定程度上得到了验证。

表5 内部投资的中介效应模型估计结果

	水稻种植户		小麦种植户		玉米种植户	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	内部投资	粮食生产韧性	内部投资	粮食生产韧性	内部投资	粮食生产韧性
技术培训	0.095*	0.077	0.265***	0.015***	0.154***	0.153***
	(1.76)	(0.31)	(3.20)	(6.66)	(2.69)	(6.21)
内部投资		-0.074		0.031**		0.069***
		(-0.12)		(2.01)		(6.24)
控制变量	是	是	是	是	是	是
_cons	0.038	0.459***	-0.833	0.326	-0.584	0.105
	(0.13)	(2.86)	(-1.26)	(1.37)	(-1.61)	(0.67)
N	861		557		1518	

表6 内部投资的中介效应 Bootstrap 检验结果

效应类型	水稻种植户	小麦种植户	玉米种植户
中介效应	-0.007	0.008*	0.011**
直接效应	0.077	0.199***	0.153***
总效应	0.070	0.208***	0.164***

2. 外部投资的中介效应

模型估计结果如表7所示。列(1)(3)和(5)中技术培训估计系数未通过显著性检验,表明技术培训对水稻、小麦和玉米种植户的外部投资不存在显著影响。与此同时,列(2)(4)和(6)的主效

应系数与中介效应系数均未同时显著,表明在三大主粮作物种植户中外部投资并未发挥中介作用,技术培训未通过促进农户扩大外部投资提升农户粮食生产韧性, H_{2b} 未得到验证。

本文进一步采用偏差校正的非参数百分位 Bootstrap 方法对外部投资的中介效应进行显著性检验,结果如表8所示。水稻、小麦和玉米种植户外部投资的中介效应均未通过显著性检验,表明外部投资并未在技术培训影响农户粮食生产韧性的过程中起到中介作用,这同样表明 H_{2b} 未得到验证。

表 7 外部投资的中介效应模型估计结果

	水稻种植户		小麦种植户		玉米种植户	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	外部投资	粮食生产韧性	外部投资	粮食生产韧性	外部投资	粮食生产韧性
技术培训	-0.008 (-1.12)	0.069 (0.75)	-0.001 (-0.67)	0.184*** (5.16)	-0.003 (-1.53)	0.025 (0.70)
外部投资		0.835** (2.12)		-1.276 (-0.96)		-0.560 (-0.62)
控制变量	是	是	是	是	是	是
_cons	-0.058 (-4.21)	0.420*** (2.59)	0.001 (0.07)	-0.243 (-0.77)	-0.044*** (-3.38)	0.102 (0.43)
N	875		232		402	

表 8 外部投资的中介效应 Bootstrap 检验结果

效应类型	水稻种植户	小麦种植户	玉米种植户
中介效应	-0.006	0.002	0.002
直接效应	0.069	0.184***	0.025
总效应	0.062	0.186***	0.027

(二) 调节效应分析

表 9 报告了农户土地经营规模调节效应的估计结果。列 (2) 和 (3) 中, 技术培训与土地经营规模的交互项估计系数在 1% 的水平下显著为正, 表明农户土地经营规模的扩大对技术培训提升小麦和玉米种植户粮食生产韧性有正向调节作用; 而对

于水稻种植户来说, 列 (1) 的估计结果表明其土地经营规模的调节效应不显著, H_{3a} 得到一定程度的验证。考虑到已有研究证明了农户经营规模与粮食生产率之间的倒“U”形关系^[29], 本文进一步将土地经营规模 (耕地面积) 的平方项引入调节效应模型。列 (4) (5) 和 (6) 的估计结果显示, 技术培训与土地经营规模平方项的交互项估计系数均不显著, 这表明土地经营规模对技术培训提升农户粮食生产韧性的调节效应并未呈现先正后负的倒“U”形趋势, H_{3b} 未得到验证。

表 9 土地经营规模的调节效应的估计结果

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
	水稻种植户	小麦种植户	玉米种植户	水稻种植户	小麦种植户	玉米种植户
技术培训	0.061** (2.16)	0.191*** (6.79)	0.160*** (6.86)	0.061** (2.16)	0.191*** (6.79)	0.160*** (6.86)
土地经营规模	-0.012 (-1.13)	-0.029** (-2.11)	0.010 (1.02)	-0.019 (-0.689)	0.052* (1.739)	0.068*** (3.761)
技术培训×土地经营规模	-0.020 (-0.69)	0.092*** (3.08)	0.058*** (3.10)	-0.058 (-0.465)	0.128* (1.703)	0.148*** (2.931)
土地经营规模 ²				-0.006 (-1.13)	-0.145** (-2.11)	0.029*** (3.10)
技术培训×土地经营规模 ²				-0.010 (-0.69)	0.046 (3.08)	0.005 (1.02)
控制变量	有	有	有	有	有	有
_cons	0.287* (1.82)	-0.000 (-0.00)	-0.001 (-0.01)	0.287* (1.82)	-0.000 (-0.00)	-0.002 (-0.01)
N	968	703	1802	968	703	1802

六、结论及其政策启示

本文基于全国农村固定观察点调查数据库提供的粮食主产区水稻、小麦和玉米种植户的粮食生产数据, 采用韧性评估模型、内生转换模型以及中介效应和调节效应模型等, 实证分析了技术培训对

农户粮食生产韧性的影响效应与作用机制。研究表明: 第一, 技术培训能显著提升农户粮食生产韧性。韧性评估结果显示, 参与户的粮食生产韧性明显高于未参与户。反事实分析表明, 参与户若未参加农业技术培训, 其粮食生产韧性将明显下降, 这进一步佐证了技术培训对农户粮食生产韧性的

积极作用。第二,内部投资在技术培训影响农户粮食生产韧性的过程中起到一定程度的中介作用,土地经营规模起到了一定程度的正向调节作用。但外部投资在技术培训影响农户粮食生产韧性的过程中未起到显著的中介作用,土地经营规模的调节作用也未呈倒“U”形趋势。第三,技术培训对农户粮食生产韧性的影响效应与作用机制存在作物种植类别异质性。技术培训对小麦和玉米种植户粮食生产韧性的提升作用大于水稻种植户。在技术培训影响农户粮食生产韧性的作用机制中,内部投资和土地经营规模分别在小麦和玉米种植户中表现出显著的中介作用和调节作用,但这些作用在水稻种植户中未能通过验证。

上述研究结论对于农业技术培训政策制定和提升粮食生产韧性具有以下启示:一是应进一步鼓励和支持农户参与农业技术培训。制定和完善农业技术培训机制,通过宣传引导和拓展渠道等方式,提高各类农户的技术培训参与率;积极开展形式多样、内容实用先进的农业技术培训活动,提升农户对新技术、新方法和新设备的认知水平与操作能力,从而提升农户粮食生产韧性。二是多措并举强化技术培训对粮食生产韧性的提升效应。通过加大农业生产性补贴等推动技术、设备和服务联动下乡,促进农户积极进行生产性固定资产投资,同时进一步稳步推进土地流转,促进农户适度规模经营,降低粮食生产风险,保障粮食生产稳定。三是基于农户作物种植类别的异质性开展针对性技术培训和推广。针对不同作物抗风险能力的差异,加大对重点粮食作物和低韧性粮食作物生产的技术培训支持和生产性投资支持,提升农户在主要粮食作物生产中的抗风险能力,稳定主要粮食作物产量,保障国家粮食安全。

参考文献:

[1] 樊胜根, 龙文进, 冯晓龙, 等. 联合国食物系统峰会的中国方案[J]. 农业经济问题, 2022, 43(3): 4-16.
 [2] 魏后凯, 崔凯. 建设农业强国的中国道路: 基本逻辑、进程研判与战略支撑[J]. 中国农村经济, 2022(1): 2-23.
 [3] 蒋辉, 陈瑶, 刘兆阳. 中国粮食生产韧性的时空格局及其影响因素[J]. 经济地理, 2023, 43(6): 126-134.
 [4] 左秀平, 叶林祥. 中国粮食体系韧性: 水平测度及动态演进[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2024, 23(1): 88-101.

[5] HUANG J K, HUANG Z R, JIA X P, et al. Long-term reduction of nitrogen fertilizer use through knowledge training in rice production in China[J]. *Agricultural systems*, 2015, 135: 105-111.
 [6] 王妍霏, 叶举, 曹杰. 数字金融提升粮食体系韧性的机理及效应研究[J]. *经济经纬*, 2023, 40(5): 48-60.
 [7] SUN Y D, HU R F, ZHANG C. Does the adoption of complex fertilizers contribute to fertilizer overuse? Evidence from rice production in China[J]. *Journal of cleaner production*, 2019, 219: 677-685.
 [8] 刘宇炎, 李后建, 林斌, 等. 水稻种植技术培训对农户化肥施用量的影响——基于70个县的控制方程模型实证分析[J]. *农业技术经济*, 2022(10): 114-131.
 [9] 彭超, 张琛. 农业机械化对农户粮食生产效率的影响[J]. *华南农业大学学报(社会科学版)*, 2020, 19(5): 93-102.
 [10] 吉星, 厚轶, 张红霄. 农业机械化选择与农户相对贫困缓解——来自2014—2018年的经验证据[J]. *农业技术经济*, 2023(6): 115-128.
 [11] TENDALL D M, JOERIN J, KOPAINSKY B, et al. Food system resilience: Defining the concept[J]. *Global food security*, 2015, 6: 17-23.
 [12] BÉNÉ C, DOYEN L. From resistance to transformation: A generic metric of resilience through viability[J]. *Earth's future*, 2018, 6(7): 979-996.
 [13] SLIJPER T, DE MEY Y, POORTVLIET P M, et al. Quantifying the resilience of European farms using FADN[J]. *European review of agricultural economics*, 2022, 49(1): 121-150.
 [14] WARD F A. Enhancing climate resilience of irrigated agriculture: A review[J]. *Journal of environmental management*, 2022, 302: 114032.
 [15] SRINIVASA RAO C, KAREEMULLA K, KRISHNAN P, et al. Agro-ecosystem based sustainability indicators for climate resilient agriculture in India: A conceptual framework[J]. *Ecological indicators*, 2019, 105: 621-633.
 [16] LAMICHHANE P, MILLER K K, HADJIKAKOU M, et al. Resilience of smallholder cropping to climatic variability[J]. *Science of the total environment*, 2020, 719: 137464.
 [17] 黄伟, 刘银轲, 胡培奇. 数字鸿沟背景下小农户信息赋能过程机理与实现路径——基于数字包容理论的多案例研究[J]. *技术经济*, 2023, 42(6): 138-152.
 [18] 郑阳阳, 罗建利. 农业生产培训能提升农户扩大农地规模意愿吗?——来自12省2340个农户的证据[J]. *华中农业大学学报(社会科学版)*, 2020(2): 39-48, 163-164.
 [19] 许彩艳, 何爱平, 安梦天. 自然灾害如何影响农户人力资本投资[J]. *农业技术经济*, 2023: 1-21.
 [20] 王学婷, 张俊飏, 童庆蒙. 参与农业技术培训能否促进农户实施绿色生产行为?——基于家庭禀赋视角的

- ESR 模型分析[J]. 长江流域资源与环境, 2021, 30(1): 202-211.
- [21] VOLKOV A, MORKUNAS M, BALEZENTIS T, et al. Are agricultural sustainability and resilience complementary notions? Evidence from the North European agriculture[J]. Land use policy, 2022, 112: 105791.
- [22] 翟世贤, 彭超. 培训能增加农民收入吗——基于全国农村固定观察点数据的实证研究[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2024(2): 108-121.
- [23] 蔡键, 唐忠, 朱勇. 要素相对价格、土地资源条件与农户农业机械服务外包需求[J]. 中国农村经济, 2017(8): 18-28.
- [24] ADAMOPOULOS T, RESTUCCIA D. The size distribution of farms and international productivity differences[J]. American economic review, 2014, 104(6): 1667-1697.
- [25] ARAGÓN F M, RESTUCCIA D, RUD J P. Are small farms really more productive than large farms?[J]. Food policy, 2022, 106: 102168.
- [26] 李文明, 罗丹, 陈洁, 等. 农业适度规模经营: 规模效益、产出水平与生产成本——基于 1552 个水稻种植户的调查数据[J]. 中国农村经济, 2015(3): 4-17, 43.
- [27] 袁若兰, 廖文梅, 邱海兰. 农业技术培训、经营规模对农业生产效率的影响——以水稻栽培技术为例[J]. 中国农业资源与区划, 2023, 44(7): 216-226.
- [28] 盖庆恩, 李承政, 张无垠, 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] 郑志浩, 高杨, 霍学喜. 农户经营规模与土地生产率关系的再探究——来自第三次全国农业普查规模农户的证据[J]. 管理世界, 2024(1): 89-106.
- [30] WANG T, YI F J, WU X M, et al. Calamitous weather, yield risk and mitigation effect of harvest mechanisation: Evidence from China's winter wheat[J]. Australian journal of agricultural and resource economics, 2024, 68(2): 386-412.
- [31] 张长征, 李嘉雯, 孙杰. 农田水利基础设施投资缺口对粮食生产效率损失的影响[J]. 资源科学, 2022, 44(1): 169-180.
- [32] 钱龙, 杨光, 钟钰. 有土斯有粮: 高标准农田建设提高了粮食单产吗?[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2024, 24(1): 132-143.
- [33] HSIAO T C, HENG L, STEDUTO P, et al. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: III. parameterization and testing for maize[J]. Agronomy journal, 2009, 101(3): 448-459.
- [34] ČOSIĆ M, STRIČEVIĆ R, DJUROVIĆ N, et al. Predicting biomass and yield of sweet pepper grown with and without plastic film mulching under different water supply and weather conditions[J]. Agricultural water management, 2017, 188: 91-100.
- [35] 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.
- [36] MANDA J, ALENE A D, GARDEBROEK C, et al. Adoption and impacts of sustainable agricultural practices on maize yields and incomes: Evidence from rural Zambia[J]. Journal of agricultural economics, 2016, 67(1): 130-153.
- [37] 葛岩, 吴海霞. 非农收入、土地流转与农户农业生产性投资[J]. 管理评论, 2023, 35(8): 3-14.
- [38] 田旖旎, 邵东国, 李思明, 等. 东北寒区水稻需水对地下水埋深的响应及灌溉模拟[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(12): 68-77.
- [39] 潘丹. 农业技术培训对农村居民收入的影响: 基于倾向得分匹配法的研究[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2014, 14(5): 62-69.
- [40] 李静, 谢丽君, 李红. 农民培训工程的政策效果评估——基于宁夏农户固定观察点数据的实证检验[J]. 农业技术经济, 2013(3): 26-35.

责任编辑: 李东辉