

引用格式: 邓远远, 朱俊峰. 保护性耕作技术采纳的增产与稳产效应[J]. 资源科学, 2023, 45(10): 2050–2063. [Deng Y Y, Zhu J F. Effect of conservation tillage technology adoption on yield increasing and stabilizing[J]. Resources Science, 2023, 45(10): 2050–2063.] DOI: 10.18402/resci.2023.10.10

保护性耕作技术采纳的增产与稳产效应

邓远远^{1,2}, 朱俊峰²

(1. 石河子大学经济与管理学院, 石河子 832000; 2. 中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘要:【目的】保护性耕作是促进耕地可持续集约化利用、应对气候变化和助推粮食生产方式转型的重要途径。准确评估保护性耕作技术采纳对粮食生产的影响, 不仅可为推进保护性耕作“提质扩面”提供经验证据, 还对保障粮食安全具有重要的现实意义。【方法】基于2019年全国14省粮食种植户调研数据, 利用内生转换回归模型, 在反事实框架下考察保护性耕作技术采纳对粮食增产和稳产的影响, 及其在区域、熟制、技术组合方面的异质性。【结果】①保护性耕作技术采纳在增加粮食产出的同时降低了粮食产出风险, 体现出显著的增产与稳产效应。基于反事实假设, 采纳农户若未采纳保护性耕作技术, 其亩均粮食产出将下降3.4%, 产出风险将增加17.5%。②保护性耕作技术采纳的增产与稳产效应存在异质性。保护性耕作技术采纳对东部地区农户粮食产出的提升强度大于对中西部地区, 且仅能降低东部地区农户的粮食产出风险; 相比于一年两熟及以上熟制, 一年一熟制农户采纳保护性耕作技术未能增加粮食产出, 反而加剧了粮食产出风险。③保护性耕作技术存在集成采纳效应, 秸秆还田+深松或免耕直播组合技术的增产与稳产效应优于单独采纳秸秆还田技术。【结论】农户采纳保护性耕作技术可以缓解耕地资源约束带来的粮食安全压力, 但需要与其相匹配的区域要素禀赋、制度环境和技术生态环境作为支撑。因此, 应提升保护性耕作技术推广、服务和研发能力, 增强保护性耕作技术的适用性和稳定性, 尽快建立起配套制度及政策体系, 以充分发挥保护性耕作技术在促进粮食安全效应提升中的作用。

关键词: 保护性耕作; 技术采纳; 增产效应; 稳产效应; 气候适应性; 内生转换回归模型

DOI: 10.18402/resci.2023.10.10

1 引言

粮食安全是“国之大者”, 耕地是粮食生产的命根子。然而, 由于农业化学投入品不合理使用, 以及长期以来“重用轻养”, 导致耕地有机质含量降低、土壤结构性破坏、生态服务功能减弱等耕地退化问题日益凸显^[1]。这不仅影响到农业农村的高质量、可持续发展, 更影响到国家的粮食安全。保护性耕作是联合国粮农组织在全球积极倡导的一种可持续农业生产方式, 具有防治水土流失、培肥地力、蓄水保墒等多重优势, 是促进耕地可持续集约化利用、应对气候变化和助推粮食生产方式转型的

重要途径。为此, 中国政府高度重视并不断加大保护性耕作专用机具研发与推广的投资力度, 建设保护性耕作示范工程, 扶持和引导农户采纳保护性耕作技术^[2]。通过制度创新和技术进步, 中国保护性耕作事业得到了较大发展, 2020年免耕播种面积、秸秆还田面积和深松面积分别占全国耕地面积的11.8%、44.1%和8.8%^①。准确评估保护性耕作技术采纳对粮食生产的影响, 不仅可为推进保护性耕作“提质扩面”提供经验证据, 还对保障粮食安全具有重要的现实意义。

既有研究主要从3个方面对保护性耕作技术进

收稿日期: 2023-03-30 修订日期: 2023-09-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(71973137; 72241009); 国家社会科学基金重大项目(22&ZD087)。

作者简介: 邓远远, 女, 安徽亳州人, 博士, 研究方向为农业资源环境与农户生产经营行为。E-mail: dengyy1002@126.com

通讯作者: 朱俊峰, 男, 河南项城人, 教授, 博导, 研究方向为中国及东北亚农业政策、农户粮食生产经营行为。E-mail: zhujunf501@sina.com

① 资料来源:《2021年中国农业机械工业年鉴》, 中国机械工业年鉴编辑委员会和中国农业机械工业协会。

2023年10月

行分析:①运用田间试验的手段,对保护性耕作技术应用效果进行评判。如发现保护性耕作技术的产量效应因气候条件、地形、土壤质地等因素而异^[3-6];②农户保护性耕作技术采纳行为影响因素研究。如发现风险偏好、契约稳定性、组织支持、气候变化等因素影响其采纳行为^[7-10];③农户保护性耕作技术采纳效应研究。如考察了保护性耕作技术采纳对粮食单产、农业生产效率、农户福利、生产要素投入等方面的影响^[11-15]。尽管学界围绕农户保护性耕作技术采纳效应已经展开了较为深入的探讨,但仍存在可拓展的空间:①现有文献大多关注保护性耕作技术采纳的节支增产增效等作用,忽略了保护性耕作技术的气候适应性,从而限制了对保护性耕作技术采纳的粮食稳产效应的认识;②已有文献主要分析了保护性耕作技术采纳对粮食产出的整体影响,对不同情境下的比较分析不足,尤其对于各细分技术采纳的具体分析还有待完善;③已有研究多直接将保护性耕作技术采纳行为作为外生变量,未有效控制不可观测变量带来的样本自选择偏误,降低了估计结果的可靠性。因此,如何准确且有效地评价保护性耕作技术采纳对粮食生产的影响是需要关注的科学问题。

基于以往文献,本文结合保护性耕作技术的特有属性,将保护性耕作技术采纳对粮食生产的影响分解为增产效应(提高产出均值)和稳产效应(降低产出方差)并进行实证检验。可能的边际贡献体现在:①在研究视角上,同时对保护性耕作技术采纳的增产与稳产效应进行评估。在评估增产与稳产效应时,通过计算亩均标准粮产量,并采用基于随机生产函数的矩方法(Moment-based Approach)刻画粮食产出及产出风险。同时,还从区域、熟制和技术组合异质性视角考察保护性耕作技术采纳的增产与稳产效应;②在研究内容上,考虑到气候变化日益加剧,将保护性耕作技术的气候适应性纳入稳产效应的作用机理分析,拓展了保护性耕作与粮食安全之间的关系研究;③在研究方法上,采用内生转换回归模型,最大限度缓解不可观测和可观测因素导致的选择性偏误,并在求解出模型参数的基础上构建反事实分析框架,估计保护性耕作技术采

纳的增产与稳产效应,以期提升估计结果的可靠性。

2 理论分析与模型设定

2.1 理论分析

2.1.1 保护性耕作技术采纳的增产效应的实现机制

结合保护性耕作技术的基本原理,本文主要从水土资源利用方式转变、技术进步两个方面来理解保护性耕作技术采纳的增产效应的实现机制。在水土资源利用方式转变这一影响途径上,保护性耕作技术通过改善土壤特性和水资源利用环境,进而影响粮食产出。耕地和水资源是粮食产出的基础。相较于传统耕作技术,保护性耕作技术被证明具有蓄水保墒、培肥地力的显著优势,可有效缓解耕地和水资源对粮食生产的约束。例如,秸秆还田不仅能有效抑制水蚀、风蚀和土壤水分蒸发,提高降水保蓄率^[16],而且能够明显提高土壤表层有机质含量^[17];免耕播种通过减少耕作对土壤的扰动,促进土壤微生物群落的繁荣^[18];深松则可以打破犁底层,加深耕作层,增强蓄水保墒能力,促进根系生长发育^[19]。在技术进步这一影响途径上,采纳保护性耕作技术意味着新的要素投入生产,进而形成新的要素配置组合,影响粮食产出。保护性耕作是以机械化作业和装备为载体的耕作模式,属于劳动节约型的技术进步。这一技术进步路径对粮食增产的直接影响虽然较为有限,但能有效弥补粮食生产中因劳动力短缺带来的产量损失,从而提高最终产量。

2.1.2 保护性耕作技术采纳的稳产效应的实现机制

与传统耕作技术相比,保护性耕作技术具有气候适应性的相对优势,即能调节气象因子变动对粮食产出的负面影响^[20,21],导致更小的产出风险和更高的产量稳定性。气候变化引发的气温升高、降水不均衡以及极端气候灾害等问题通过降低作物生产力,加剧了粮食产出的不确定性,威胁到粮食安全^[22]。一方面,保护性耕作技术通过改变粮食生产环境缓解气候变化对粮食生产的不利影响。传统耕作条件下,长期高强度开发利用耕地,加速了土壤侵蚀和地力劣化,土壤微生态环境变得更加脆弱,导致粮食生产系统稳定性差。而应用基于耕地质量提升和生态保护的保护性耕作技术,可促进土

壤健康,增强粮食生产系统的抗干扰能力和平衡性。另一方面,保护性耕作技术通过提升粮食生产率削弱气候变化对粮食生产的负向影响。例如:在提高作物抗寒防冻方面,传统耕作方式下,严重的低温冻害会导致作物植株体出现伤害或死亡;而采用保护性耕作方式,秸秆还田对作物根区具有调节作用,在低温时具有增温效应,能够预防或减轻冻害发生^[23]。在提高作物抵御干旱方面,免耕和秸秆还田的实施,能有效削减地表径流、抑制地表蒸发、增加下渗,使水分在土壤中得到有效储存和保护,具有节水抗旱的作用^[24]。

2.2 模型设定

2.2.1 粮食产出及产出风险估计

粮食产出风险是指由于粮食生产中不确定的结构性风险因子造成的粮食产量低于预期正常产量的可能性^[25]。参照已有文献^[26,27],采用基于随机生产函数的矩方法来衡量粮食产出及产出风险,具体将农户实际粮食产出的一阶矩和二阶矩分别作为粮食产出、产出风险的指标。假设农户粮食生产具有规模报酬不变的特点,则其生产函数可表示为:

$$y = f_1(A, \mathbf{X}, \theta_1) + u \quad (1)$$

式中: y 表示农户实际粮食产出; A 表示农户是否采纳保护性耕作技术,若采纳,则赋值为1,否则为0; \mathbf{X} 粮食生产的影响因素向量,包括生产要素投入变量、个体特征变量、家庭特征变量、生产经营特征变量等; θ_1 表示待估系数向量; u 表示随机扰动项,且满足 $E(u) = 0$ 。根据式(1)的估计结果,计算得到 $u = y - f_1(A, \mathbf{X}, \theta_1)$,在此基础上分别计算一阶矩 $E(y) = f_1(A, \mathbf{X}, \theta_1)$ 和二阶矩 $E[(u)^2] = f_2(A, \mathbf{X}, \theta_2)$ 。

2.2.2 内生转换回归模型

由于是否采纳保护性耕作技术并不是随机决定的,而是农户根据自身条件有意识选择的结果,亦存在某些不可观测变量同时影响着技术采纳决策与粮食产出(产出风险),从而造成样本选择偏误导致的内生性问题。解决这个问题的通常方案是采用倾向得分匹配法与工具变量法进行计量检验。然而,倾向得分匹配法无法解决不可观测变量引起的样本选择偏误,工具变量法忽视了捕捉处理效应的异质性。而内生转换回归(Endogenous

switching regression, ESR)模型的优势彰显在以下方面:①在估计处理效应时,既解决了由不可观测和可观测因素导致的选择性偏差问题,又充分考虑到处理效应的异质性;②能够分别对采纳农户组和未采纳农户组的粮食产出和产出风险的影响因素进行考察,以捕捉各组影响因素的差异;③在模型回归结果的基础上,能分别获得真实情景和反事实情景下的期望效应,从而实现反事实分析。为此,采用ESR模型,在反事实框架下分析保护性耕作技术采纳对粮食产出(产出风险)的影响。ESR模型的估计思路大致可分为两阶段:

第一阶段,估计影响农户是否采纳保护性耕作技术的因素,构建如下选择方程:

$$A_i^* = \alpha \mathbf{L}_i + \gamma \mathbf{Z}_i + \mu_i, A_i = 1 (A_i^* > 0) \quad (2)$$

式中: A_i^* 表示农户 i 采纳保护性耕作技术的净收益,是农户的决策依据; \mathbf{L} 表示影响农户保护性耕作技术采纳决策的外生因素向量; \mathbf{Z} 表示工具变量,以此确保ESR模型的可识别性。选取“村庄保护性耕作技术采纳率(除农户自身外村庄的样本农户保护性耕作技术采纳占比)”作为工具变量。一方面,该变量反映了村庄保护性耕作技术采纳情况,显然与特定农户的保护性耕作技术采纳状况息息相关;另一方面,剔除了特定个体信息之后,该变量对粮食产出和产出风险没有直接联系。 μ 表示随机扰动项; α 、 γ 表示待估系数。

第二阶段,区分采纳与未采纳两个子样本,建立不同决策下粮食产出(产出风险)的结果方程:

$$Y_{1i} = \beta_1 \mathbf{X}_{1i} + \varepsilon_{1i}, \text{ 如果 } A_i = 1 \quad (3)$$

$$Y_{0i} = \beta_0 \mathbf{X}_{0i} + \varepsilon_{0i}, \text{ 如果 } A_i = 0 \quad (4)$$

式中: Y_1 、 Y_0 分别表示采纳农户和未采纳农户的粮食产出(产出风险); \mathbf{X}_1 、 \mathbf{X}_0 表示两类农户粮食产出(产出风险)的影响因素向量; ε_1 、 ε_0 表示随机误差项; β_1 、 β_0 表示待估系数。因为随机扰动项 ε 和 μ 相关,直接使用OLS估计式(3)–(4)将产生样本选择偏差问题。而ESR模型旨在通过式(2)构造逆米尔斯比率,并将其引入式(3)–(4)来解决这一问题。从而,式(3)–(4)分别转变为式(5)–(6):

$$Y_{1i} = \beta_1 \mathbf{X}_{1i} + \sigma_{1\mu} \lambda_{1i} + w_{1i}, \text{ 如果 } A_i = 1 \quad (5)$$

$$Y_{0i} = \beta_0 \mathbf{X}_{0i} + \sigma_{0\mu} \lambda_{0i} + w_{0i}, \text{ 如果 } A_i = 0 \quad (6)$$

2023年10月

式中: λ_1 和 λ_0 表示逆米尔斯比率, 控制由不可观测因素带来的选择性偏差; $\sigma_{1\mu} = \text{cov}(\varepsilon_1, \mu)$ 和 $\sigma_{0\mu} = \text{cov}(\varepsilon_0, \mu)$ 表示选择方程和结果方程误差项的协方差。估计式(5)-(6), 则可得 β_1 和 β_0 的一致估计。

根据ESR模型的估计系数, 通过对式(7)-(8)的反事实估计, 即通过对比真实情景与反事实假设情景下采纳农户与未采纳农户的粮食产出(产出风险)的期望值, 来获取采纳保护性耕作技术对粮食产出和产出风险影响的平均处理效应(ATT)以及未采纳保护性耕作技术对粮食产出和产出风险影响的平均处理效应(ATU):

$$\begin{aligned} ATT &= E[Y_{1i} | A_i = 1] - E[Y_{0i} | A_i = 1] \\ &= (\beta_1 - \beta_0)X_{1i} + (\sigma_{1\mu} - \sigma_{0\mu})\lambda_{1i} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} ATU &= E[Y_{1i} | A_i = 0] - E[Y_{0i} | A_i = 0] \\ &= (\beta_1 - \beta_0)X_{0i} + (\sigma_{1\mu} - \sigma_{0\mu})\lambda_{0i} \end{aligned} \quad (8)$$

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“新型农业经营主体调查”课题组于2019年开展的农户调研, 该调查采用分层抽样与典型抽样相结合的方式确保样本选取的客观性和代表性。首先, 选择内蒙古、吉林、四川、安徽、山东、江苏、江西、河北、河南、湖北、湖南、甘肃、辽宁和黑龙江等14个省份开展调研。研究区域的选择主要基于以下3点考虑: ①从耕地保护重要性上看, 研究区域多属粮食主产省, 也是耕地资源主要分布区域, 具有开展保护性耕作的现实需求。②从经济社会发展上看, 研究区域能够反映社会经济发展水平差异。③从地理位置上看, 研究区域基本覆盖中国东、中、西部具有代表性的省份, 在自然地理特征、气候条件等方面能够较好反映中国粮食生产状况。然后, 在所选省份中依据典型抽样原则逐级选取了样本县、样本乡镇和样本村。最后, 严格按照随机抽样方法在每个村抽取15~20户作为调研对象。经过筛选, 该调研最终获得有效样本2127户。气象层面数据取自中经网统计数据库。鉴于村层

面的气象数据难以统计和获取, 选择地理位置相近城市的气象数据进行替代。收集的气象数据年份为2018年, 对于少数缺失的气象数据, 根据线性内插法和相邻年份的数据进行插补。

3.2 变量选取

3.2.1 被解释变量

被解释变量为农户的粮食产出及产出风险, 由矩方法估计得到。为估计农户的粮食产出及产出风险, 除了要控制农户家庭和社会经济特征外, 还需要确定农户的粮食投入产出指标。

(1)产出变量。由于不同农户种植的粮食品种存在差异, 不可直接在产量层面进行加总, 采用农户家庭种植主粮作物(包括小麦、玉米、水稻、大豆4种作物^②)的亩均标准粮产量来衡量。考虑到本文将保护性耕作技术采纳与粮食安全有机联系, 而考察具体某种粮食作物得出粮食安全提升效应结论将欠缺代表性, 因此将主要粮食作物作为整体进行考察。标准粮产量是将指定作物产量按照产量比系数折算成基准作物产量之和, 具体计算方法参照李卫等^[11]的研究, 所选的基准作物为小麦。

(2)劳动投入。用粮食生产亩均劳动用工量表示。其中, 劳动用工量指农户年内直接从事粮食生产的劳动力投入累积“标准劳动日”, 包括家庭自用工以及雇工投入。

(3)资本投入。用粮食生产亩均物质和服务费用表示。其中, 物质和服务费用指农户年内在粮食生产过程中种子、化肥、农药、农膜、机械等的投入费用。

3.2.2 核心解释变量

保护性耕作技术采纳行为是核心解释变量, 其定义是只要农户在粮食生产中使用了免耕直播、深松、秸秆还田这3种技术中的任意1种(包含同时采纳其中任何2种, 或者同时采纳这3种技术), 即视为采纳了保护性耕作技术, 定义为采纳农户, 赋值为1; 否则, 认为未采纳保护性耕作技术, 定义为未采纳农户, 赋值为0。

3.2.3 控制变量

借鉴相关研究成果^[20,28,29], 本文将从内在禀赋和

② 据国家统计局的数据显示, 2018年中国稻谷、小麦、玉米和豆类4种作物播种面积分别占粮食播种面积的25.8%、20.7%、36.0%、8.7%, 四者合计占91.2%; 而4种作物合计产量更是占到了粮食总产量的94.3%。因此, 可以认为, 这4种粮食作物代表了中国粮食生产的基本情况。

外在环境两个层面引入4组控制变量。第一组变量由农业生产经营决策者个体特征构成,包括性别、年龄、受教育程度、风险偏好、健康状况。在实际回归中,为控制年龄对粮食产出风险的U型或者倒U型影响,还加入了年龄的平方项。采用健康自评作替代变量,虽然较为主观,但在一定程度上是生理、心理、行为等多维度的综合反映。第二组变量反映的是家庭特征,主要涉及农业劳动力数量和在外务工人员数。第三组变量为生产经营特征变量,包含农业生产经营培训、经营规模、耕地细碎化程度、是否加入合作社、是否调整过耕地以及耕地质量。为了捕捉耕地经营规模对粮食产出的所有可能关系,实际回归中还选取经营规模平方作为变量参与估计。农户作为耕地直接使用者,对其经营耕地的质量最熟悉,因此采用农户对其所经营耕地的质量评价来衡量耕地质量。第四组变量是外部环境变量,主要是气候变量。农业生产对气候变化极为敏感,气候变化通过改变温度、降水等气候因子,影响农作物产量及其波动^[30]。本文采用年平均气温以及年

平均降水量来表征气候因素。关于本文所涉及的变量定义和测度说明如表1所示。

3.3 描述性统计

采纳农户和未采纳农户单独的描述性统计以及对比分析结果如表1所示,可以发现采纳农户与未采纳农户之间存在一些显著差异。首先,采纳农户亩均产出显著高于未采纳农户。其次,采纳农户的农业生产经营优势是多元的。例如:采纳农户决策者受教育程度(2.72)显著高于未采纳农户(2.49);采纳农户接受过农业生产经营培训的比例为0.25,显著高于未采纳农户的0.15;采纳农户经营规模(对数)为2.20,显著高于未采纳农户的2.05;采纳农户耕地质量等级为2.07,显著好于未采纳农户的1.96;采纳农户耕地细碎化程度为4.90,显著小于未采纳农户的5.33。最后,采纳农户存在积极应对气候变化的可能。例如,采纳农户所在区域年均气温与降水量均显著高于未采纳农户。以上差异也表明了对异质性明显的两组农户分别回归,更加切合实际,进一步显明了模型设定的合理性。

表1 变量描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of variables

变量名称	变量定义或测度	采纳农户均值	未采纳农户均值	均值差t检验
粮食产出	亩均粮食产出,取自然对数	6.79(0.62)	6.71(0.57)	0.08**
粮食产出风险	粮食产出方差	0.29(1.76)	0.26(0.91)	0.03
亩均劳动投入	亩均劳动用工量,取自然对数	2.26(1.02)	2.36(1.09)	-0.10*
亩均资本投入	亩均物质与服务费用,取自然对数	6.00(0.47)	5.77(0.55)	0.23***
性别	男=1;女=0	0.76(0.43)	0.76(0.43)	0.00
年龄	实际年龄,取自然对数	3.95(0.22)	3.94(0.23)	0.01
受教育程度	小学以下=1;小学=2;初中=3;高中及以上=4	2.72(0.83)	2.49(0.82)	0.23***
风险偏好	风险规避型=1;风险中立型=2;风险偏好型=3	1.46(0.66)	1.44(0.67)	0.02
健康状况	好=1;一般=2;差=3	1.39(0.57)	1.46(0.63)	-0.07**
农业劳动力数量	家庭农业劳动力人数	2.17(1.02)	2.13(1.03)	0.04
在外务工人员数	家庭成员在外务工人员数	1.07(1.22)	0.93(1.04)	0.14**
农业生产经营培训	是=1,否=0	0.25(0.43)	0.15(0.36)	0.10***
经营规模	耕地面积,取自然对数	2.20(1.26)	2.05(1.40)	0.15**
耕地细碎化程度	经营地块数量/块	4.90(4.78)	5.33(4.78)	-0.43*
是否加入合作社	是=1;否=0	0.08(0.27)	0.06(0.23)	0.02*
是否调整过耕地	是=1;否=0	0.11(0.31)	0.09(0.28)	0.02
耕地质量	差=1;中等=2;好=3	2.07(0.67)	1.96(0.68)	0.11***
气温	年平均气温,取自然对数	2.52(0.41)	2.39(0.45)	0.13***
降水量	年平均降水量,取自然对数	6.64(0.40)	6.54(0.52)	0.10***

注:括号内的数值为标准差;*,**、***分别表示在10%、5%、1%的水平上显著。下同。

4 结果与分析

4.1 保护性耕作技术采纳决策与粮食产出模型联立估计

农户保护性耕作技术采纳决策与粮食产出(产出风险)模型联立估计结果如表2所示。表2中列(2)和列(3)分别报告了采纳农户组和未采纳农户组粮食产出模型的估计结果。其中, $\rho_{1\mu}^1$ 和 $\rho_{0\mu}^1$ 的估计系数均显著,表明样本存在选择性偏差。 $\rho_{1\mu}^1$ 的估计值为正,说明采纳农户比随机样本的粮食产出高; $\rho_{0\mu}^1$ 估计值为负,说明未采纳农户比随机样本的粮食产出低。

要素投入与个体特征方面,劳动投入对采纳农户和未采纳农户的粮食产出分别具有显著的负向和正向影响,资本投入的回归系数均为正。这可能是因为保护性耕作技术具有劳动节约偏向,造成采纳农户粮食生产劳动力剩余。资本投入显著正向影响粮食产出,表明种子、化肥、机械等资本投入在中国粮食生产中发挥着重要作用。性别(男)对两类农户的粮食产出都具有正向促进作用。与风险规避者相比,风险中立与风险偏好的采纳农户粮食产出更低,这可能是因为风险中立与风险偏好农户更容易忽视作物产量损失与收益不确定性的粮食产出波动风险^[31]。

家庭特征方面,农业劳动力数量仅对采纳农户的粮食产出具有显著影响,对未采纳农户粮食产出的影响未通过显著性检验。这意味着采纳农户中农业劳动力资源状况对粮食产出的影响更大。结果还显示,在外务工人数量对采纳农户和未采纳农户的粮食产出均有显著的负向影响,考虑到在外务工的家庭从业重心转移效应,这一结论也间接表明劳动力资源状况对粮食产出有重要影响。此外,农业生产经营培训仅对未采纳农户粮食产出有显著的正向影响,可能的原因是对于未采纳农户而言,生产条件及资本禀赋较采纳农户弱,农业生产经营培训可以帮助他们优化自身的资源配置。

经营特征方面,经营规模对采纳农户粮食产出呈现U型影响,也就是说随着耕地经营规模扩大,粮食产出存在提升和下降不同路径。耕地细碎化程度对未采纳农户的粮食产出具有显著的负向影

响。而采纳农户的耕地细碎化程度较低,因此耕地细碎化对生产的限制较少。是否加入合作社与是否调整过耕地仅对采纳农户的粮食产出具有显著的负向影响。耕地质量则正向促进采纳农户粮食产出。耕地质量的差别实质上是耕地生产力高低的差异,耕地质量越高,则耕地综合生产能力越高。耕地质量对未采纳农户粮食产出的影响不显著,可能的解释是未采纳农户耕地质量的差异并不十分明显。气温和降水作为农业生产中的重要气候因素,对两类农户的粮食产出均具有显著的影响。

4.2 保护性耕作技术采纳决策与粮食产出风险模型联立估计

表2中列(4)和列(5)是产出风险模型的估计结果。结果显示, $\rho_{1\mu}^2$ 和 $\rho_{0\mu}^2$ 的估计值在10%的水平上显著,表明产出风险模型存在样本选择性偏差。年龄、耕地细碎化程度、是否加入合作社、是否调整过耕地、气温和降水量均显著影响采纳农户粮食产出风险;年龄、农业劳动力数量、农业生产经营培训、在外务工人数量、经营规模以及降水量均显著影响未采纳农户产出风险。年龄对未采纳农户的产出风险产生倒U型影响,说明对未采纳农户而言,产出风险随着年龄的增加呈现先上升后下降的态势。耕地细碎化程度和是否调整过耕地对采纳农户的产出风险具有正向影响,说明随着耕地细碎化程度增加和土地产权稳定性减弱,采纳农户的粮食产出风险上升,这也表明相较于未采纳农户,采纳农户耕地资源状况显著影响了其粮食产出的稳定性。经营规模对未采纳农户的产出风险的影响呈现U型态势,说明随着经营规模的扩大,产出风险先降后升^[32]。

4.3 平均处理效应及差异性分析

4.3.1 平均处理效应分析

利用式(7)和式(8)计算农户保护性耕作采纳决策对粮食产出与产出风险的处理效应,结果见表3。其中,(a)、(b)分别表示采纳与未采纳情形下的实际观测结果,(c)、(d)分别表示潜在的反事实假设结果。粮食产出的ATT结果表明,由于实际采纳保护性耕作技术,农户的粮食产出(对数)由6.764增加至6.797,增加3.4%。但粮食产出的ATU结果不

表2 保护性耕作技术采纳决策的影响因素及其对粮食产出、产出风险影响的ESR模型估计结果

Table 2 Estimation results of the endogenous switching regression (ESR) model for determinants of conservation tillage technology adoption decision and its effect on the mean and risk of grain yield

变量名称	采纳决策模型(1)	粮食产出模型		粮食产出风险模型	
		采纳农户(2)	未采纳农户(3)	采纳农户(4)	未采纳农户(5)
亩均劳动投入	-0.053(0.056)	-0.104*** (0.015)	0.090*** (0.025)	0.170*** (0.046)	-0.016(0.046)
亩均资本投入	0.070(0.111)	0.323*** (0.032)	0.179*** (0.049)	-0.290*** (0.096)	-0.028(0.089)
性别	0.201(0.122)	0.094*** (0.035)	0.190*** (0.055)	-0.120(0.104)	-0.153(0.101)
年龄	-4.603(5.886)	0.675(1.575)	-2.843(2.494)	-7.934* (4.726)	7.801* (4.601)
年龄平方	0.571(0.759)	-0.072(0.204)	0.346(0.323)	0.990(0.612)	-0.985* (0.596)
受教育程度(以“小学以下”为参照组)					
小学	0.207(0.208)	-0.010(0.063)	0.169** (0.082)	0.197(0.190)	-0.066(0.152)
初中	0.165(0.217)	0.019(0.064)	0.145(0.089)	0.201(0.193)	-0.001(0.164)
高中及以上	0.153(0.252)	-0.024(0.072)	0.018(0.110)	0.308(0.215)	-0.080(0.203)
健康状况(以“好”为参照组)					
一般	0.045(0.119)	-0.015(0.033)	0.105* (0.055)	-0.023(0.099)	-0.130(0.101)
差	-0.259(0.217)	0.010(0.074)	0.085(0.096)	-0.091(0.221)	-0.186(0.176)
风险偏好(以“风险规避型”为参照组)					
风险中立型	-0.078(0.122)	-0.125*** (0.034)	-0.059(0.054)	0.198** (0.101)	0.174* (0.100)
风险偏好型	-0.247(0.167)	-0.148*** (0.052)	0.054(0.081)	0.078(0.157)	-0.034(0.149)
农业劳动力数量	-0.009(0.055)	0.039** (0.016)	0.027(0.025)	-0.007(0.047)	-0.097** (0.046)
在外务工人数	-0.004(0.051)	-0.026** (0.013)	-0.063** (0.024)	-0.016(0.038)	0.106** (0.045)
农业生产经营培训	0.142(0.139)	-0.006(0.034)	-0.200*** (0.066)	-0.051(0.103)	0.389*** (0.122)
经营规模	0.379*** (0.133)	-0.080** (0.039)	-0.082(0.054)	0.001(0.117)	-0.225** (0.100)
经营规模平方	-0.038(0.025)	0.021*** (0.007)	0.025** (0.010)	-0.006(0.020)	0.041** (0.019)
耕地细碎化程度	-0.004(0.012)	-0.003(0.003)	-0.011** (0.005)	0.020** (0.010)	0.001(0.010)
是否加入合作社	-0.143(0.192)	-0.216*** (0.055)	0.146(0.098)	0.357** (0.164)	-0.218(0.180)
是否调整过耕地	-0.087(0.154)	-0.116** (0.047)	-0.068(0.081)	0.448*** (0.142)	-0.091(0.149)
耕地质量(以“差”为参照组)					
中等	0.135(0.125)	0.167*** (0.039)	0.090(0.058)	-0.175(0.117)	-0.039(0.106)
好	0.269* (0.156)	0.115*** (0.045)	0.012(0.070)	0.020(0.135)	0.008(0.129)
气温	0.302** (0.150)	-0.236*** (0.046)	0.540*** (0.072)	-0.505*** (0.147)	0.014(0.133)
降水量	0.102(0.150)	0.151*** (0.049)	-0.303*** (0.066)	0.410*** (0.139)	-0.310** (0.122)
村庄平均采纳率	4.119*** (0.168)				
常数项	4.556(11.427)	4.625(3.046)	11.742(4.808)	15.881* (9.140)	12.444(8.865)
$\ln \sigma_{\mu}^1, \ln \sigma_{\mu}^2$		-0.560*** (0.018)		0.539*** (0.018)	
$\rho_{\mu}^1, \rho_{\mu}^2$		0.087* (0.048)		-0.041* (0.023)	
$\ln \sigma_{\eta}^1, \ln \sigma_{\eta}^2$			-0.752*** (0.033)		-0.139*** (0.033)
$\rho_{\eta}^1, \rho_{\eta}^2$			-0.040* (0.023)		0.087* (0.049)
LR(似然比)检验	13.61***				
log likelihood	-2042.062				
样本量	2073	1609	464	1609	464

注:由于粮食产出风险模型选择方程的估计结果与列(1)中的结果基本一致,为了节约篇幅,在此省略汇报;圆括号内的数值为稳健标准误。下同。

2023年10月

表3 保护性耕作技术采纳对粮食产出、产出风险影响的平均处理效应

Table 3 Average treatment effect of conservation tillage technology adoption on the mean and risk of grain yield

指标	采纳保护性耕作技术	未采纳保护性耕作技术	ATT	ATU
粮食产出的期望值				
采纳农户	(a)6.797	(c)6.764	0.034***[3.617]	—
未采纳农户	(d)6.670	(b)6.720	—	-0.021[-1.120]
粮食产出风险的期望值				
采纳农户	(a)0.255	(c)0.431	-0.175***[-8.076]	—
未采纳农户	(d)0.293	(b)0.304	—	-0.012[0.957]

注:方括号内的数值为*t*统计量。下同。

显著,表明未采纳农户即使采纳了保护性耕作技术也不能显著增加其粮食产量,进一步说明农户是否采纳保护性耕作技术,是异质性家庭根据各自比较优势“自选择”的结果。

粮食产出风险的ATT结果表明,实际采纳保护性耕作技术后,采纳农户的粮食产出风险由0.431下降至0.255,下降了17.5%。这说明,采纳保护性耕作技术能够显著降低农户的粮食产出风险。而粮食产出风险的ATU结果不显著,说明对于未采纳农户而言,保护性耕作技术对其粮食产出风险并无显著影响。以上结果表明,农户采纳保护性耕作技术有助于提高粮食产出,降低产出风险,起到增产和稳产的双重作用。

4.3.2 区域差异性分析

中国幅员辽阔,跨越多个气候带,不同地区不但具有显著的降水与温度分异特征,而且在经济发展、农业生产等方面差异巨大^[33]。为进一步分析不同地区之间气候变化、社会经济发展水平的差异是否会导致农户采纳保护性耕作技术对粮食生产的影响不同,本文将样本农户所在地区划分为东部、中西部两大区域,分组进行回归。尽管中部地区和西部地区在资源禀赋和经济发展水平上具有一定

差异,但两者也表现出较多相似之处,并均与东部地区相比差异较大,故在此将中部省份与西部省份合并为中西部地区,与东部地区进行分区对比考察。考虑到地缘与经济因素,在国家统计局区域划分的基础上,东部地区包括山东、江苏、河北和辽宁,中西部地区包括内蒙古、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南、四川、甘肃。

表4汇报了反事实分析框架下,保护性耕作技术采纳的增产与稳产效应分地区的估计结果。对于东部地区,粮食产出的ATT和ATU的估计结果分别为0.070和0.100且均显著,粮食产出风险的ATT和ATU的估计结果分别为-0.119和-0.160且均显著。对比ATT的结果发现,若采纳农户未采纳,其粮食产出将减少约7.0%,而产出风险将增加11.9%。对比ATU的结果发现,若未采纳农户采纳,其粮食产出将增加10%,而产出风险降低16%。综合而言,保护性耕作技术采纳在东部地区具有显著的增产与稳产效应。对于中西部地区,粮食产出的ATT和ATU的估计结果分别为0.062和-0.014,但ATU的结果并不显著;粮食产出风险的ATT和ATU的估计结果分别为0.083和0.252且均显著。由此可得,若采纳农户未采纳,其粮食产出将相应减少6.2%,产出

表4 不同地区、不同熟制下保护性耕作技术采纳的增产与稳产效应

Table 4 Effect of conservation tillage technology adoption on yield increasing and stabilizing in different regions and under different

cropping systems

指标	东部地区		中西部地区		一年一熟制		一年两熟制及以上	
	ATT	ATU	ATT	ATU	ATT	ATU	ATT	ATU
粮食产出	0.070*** [5.339]	0.100*** [4.826]	0.062*** [3.990]	-0.014 [-0.513]	0.002 [0.104]	-0.022 [-0.760]	0.175*** [14.963]	0.140*** [4.619]
粮食产出风险	-0.119*** [-7.867]	-0.160*** [-6.966]	0.083*** [3.790]	0.252*** [7.111]	0.152*** [4.864]	0.235*** [5.175]	-0.242*** [-12.565]	-0.402*** [-6.878]

风险将上升8.3%;而未采纳农户采纳,其粮食产出风险将增加25.2%,而产量反应不明显。

4.3.3 熟制差异性分析

由于中国各区域光热差异显著,因而中国各地作物熟制也存在显著差异,这是中国农业生产较为突出的特点。不同熟制下作物产量潜力存在差异,同时一年多熟制给农户提供了灵活应对气候变化带来产出波动的生计策略^[11]。因而,不同熟制下保护性耕作技术采纳对作物产量的影响可能存在差异。已有研究对于熟制的划分往往根据宏观尺度的种植制度,但农户会基于资源禀赋约束作出合意的作物熟制决策。因此,根据农户自我报告的熟制选择决策,将样本分为一年一熟制和一年两熟及以上进行异质性分析。

表4给出了分熟制检验保护性耕作技术采纳的增产与稳产效应的估计结果。对于一年一熟制,粮食产出的 ATT 和 ATU 均不显著,而粮食产出风险的 ATT 和 ATU 分别为0.152和0.235且均显著。这个结果表明:如果采纳农户未采纳,那么其粮食产出风险将下降15.2%;而如果未采纳农户采纳,那么其粮食产出风险将增加23.5%。换言之,在一年一熟地区,保护性耕作技术采纳不但未能如预期一般增加粮食产出,反而加剧了粮食产出的波动。

对于一年两熟及以上熟制,粮食产出的 ATT 和 ATU 分别为0.175和0.140且显著,产出风险的 ATT

和 ATU 分别为-0.242和-0.402且显著,表明无论对于采纳农户还是未采纳农户,采纳保护性耕作技术都不失为一项明智选择,主要是因为采纳保护性耕作技术可以发挥增产和稳产的双重效果。

4.3.4 技术组合采纳差异性分析

由于不同保护性耕作技术的适用条件和作用机理具有明显的差异性,使不同技术的实践效果存在巨大差异^[34]。因而将多项技术统一打包不加以区分地合并分析,难免会影响结果的可靠性。为此,分不同技术组合进一步分析。需要注意的是,外生假设下由于忽略了不可观测异质性因素的影响,导致因果推断准确性受到挑战。因此,采用以往文献常用的多项内生处理效应模型对此进行克服^[35]。

表5给出了保护性耕作技术采纳组合的增产与稳产效应估计结果。相较于未采纳任何一种保护性耕作技术而言,采纳秸秆还田技术及其与其他技术的任一组合均能显著提升粮食产出,而仅采纳深松技术却导致粮食产出显著降低。单独采纳秸秆还田技术对粮食产出的正向影响低于其与免耕直播或深松技术结合起到的促进作用。同时采纳3项保护性耕作子技术平均提升粮食产出幅度,高于单独采纳某一项子技术以及同时采纳两项子技术带来的粮食产出增加幅度。这说明由于技术之间具有互补效应,保护性耕作技术存在集成采纳效应,即搭配采纳不同保护性耕作技术有助于实现产出

表5 保护性耕作技术采纳组合的增产与稳产效应

Table 5 Effect of adoption combination of conservation tillage technologies on yield increasing and stabilizing

技术组合	被解释变量		选择偏差项	
	粮食产出	粮食产出风险	粮食产出	粮食产出风险
秸秆还田(λ_1)	0.153*** (0.045)	-0.492*** (0.165)	0.127*** (0.028)	-0.122*** (0.044)
深松(λ_2)	-0.110* (0.057)	0.863*** (0.170)	-0.006*** (0.028)	0.087 (0.059)
免耕直播(λ_3)	0.367*** (0.086)	-0.123 (0.175)	-0.128*** (0.026)	-0.249*** (0.080)
秸秆还田+深松(λ_4)	0.396*** (0.042)	-0.589** (0.247)	-0.113*** (0.028)	0.470*** (0.176)
秸秆还田+免耕直播(λ_5)	0.242*** (0.093)	-0.558** (0.273)	-0.010 (0.027)	0.067*** (0.022)
深松+免耕直播(λ_6)	0.148 (0.117)	-0.145 (0.223)	-0.051* (0.026)	0.018 (0.034)
秸秆还田+深松+免耕直播(λ_7)	0.427*** (0.067)	-0.273 (0.252)	-0.072*** (0.028)	0.089*** (0.031)

2023年10月

最大化。

就粮食产出风险模型而言,采纳秸秆还田、秸秆还田+深松、秸秆还田+免耕直播等技术组合都显著降低了粮食产出风险,然而仅采纳深松技术使粮食产出风险提高,其余技术采纳组合对粮食产出风险的影响不显著。这表明与未采纳农户相比,单独采纳深松技术增加了粮食产出风险,而搭配秸秆还田技术使用则有助于规避粮食产出风险。同时,也意味着通过选择合适的保护性耕作技术模式,粮食产出风险可以得到有效缓解,并且不一定采纳越多粮食产出风险越低。横向对比来看,采纳秸秆还田、秸秆还田+深松、秸秆还田+免耕直播等组合能够在增加粮食产出的同时降低粮食产出风险,即起到增产和稳产的双重效果。

5 讨论

保护性耕作技术采纳对中西部地区粮食产出的提升效果小于对东部地区。可能是由于东部地区具有更高的经济发展水平和更强的技术吸收能力,在农业生产上具有技术效率领先的优势,这有助于发挥保护性耕作技术效果。相比之下,中西部地区农业技术力量匮乏、具有本地耕作资源特色的技术创新不足,从而使其保护性耕作技术的采纳率及使用的有效性低于东部地区。保护性耕作技术采纳与粮食产出风险在东部地区和中西部地区分别呈现出显著负向和正向关系。对此,可能的解释有:①丰水年份采纳保护性耕作技术致使土壤长时间处于湿冷状态,进而导致作物减产。而《2018年中国气候公报》显示,位于中西部地区的黑龙江、四川、甘肃属于异常丰水年份。②东部地区经济发展水平较高,相应地,其农业生产的外部环境也更好,可以方便地利用相关信息、技术以及高品质生产要素以获取农业生产比较优势,进而有效发挥保护性耕作技术的气候适应性优势。

一年一熟制农户采纳保护性耕作技术,不但未能如预期一般增加粮食产出,反而加剧了粮食产出的波动,可能的解释有:从粮食产出方面来看,可能是因为一年一熟相当于间歇性休耕,既保护了耕地资源又保持了土壤可持续发展的肥力,导致保护性耕作技术对一年一熟制农户的单产影响不显著;从

粮食产出风险来看,很可能是因为一年一熟制农户经营规模较大,调研数据显示,一年一熟制农户平均经营规模约为31亩,而一年两熟及以上熟制农户平均经营规模约为15亩,但大规模农户的产出风险较高^[32]。

细分技术组合来看,不同技术组合的增产和稳产效应虽有一定差异,但整体来看,保护性耕作技术存在集成采纳效应,究其原因可能是:单项技术的成功固然可喜,但却仍然不够,因为大多数情况下,单项技术的效果存在不足和限制,而适宜的技术组合可以有效克服单项技术存在的缺陷和不足,发挥出技术之间的协同效应。比如,田间定位试验结果表明,长期或频繁单独深松,导致增产效果减弱,而结合秸秆还田措施,则可以显著提高产量^[36]。相似地,仇焕广等^[7]基于既有研究和实验数据,指出秸秆还田+免耕或深松组合技术的自然灾害抵御效果明显优于单独采纳秸秆还田。虽然保护性耕作技术联合采纳的效果更佳,但是由于多项技术的应用需要不同机械作业或者雇工完成,相较于采纳单项技术,作业成本有所增加,所以农户不愿采纳多项技术^[37]。

6 结论与政策启示

6.1 结论

基于14省2127份粮食种植户的微观调研数据,采用内生转换回归模型,分析保护性耕作技术采纳对粮食产出与产出风险的平均处理效应及其差异性。研究结论如下:

(1)保护性耕作技术采纳在增加粮食产出的同时降低了粮食产出风险,即具有显著的增产和稳产效应。基于反事实假设,采纳保护性耕作技术的农户若未采纳,其亩均产出将下降3.4%,产出风险将增加17.5%。这表明采纳保护性耕作技术有助于提高粮食产出,减少潜在减产损失。

(2)保护性耕作技术采纳的增产和稳产效应存在异质性。东部地区、一年两熟及以上熟制的农户采纳保护性耕作技术能够增加粮食产出,降低粮食产出风险。中西部地区的农户采纳保护性耕作技术,虽然有助于增加粮食产出,但同时加剧了产出风险。而一年一熟制农户采纳保护性耕作技术,不

仅未能增加粮食产出,反而增加了粮食产出风险。

(3)保护性耕作技术存在集成采纳效应。单独采纳秸秆还田技术的增产效应弱于其与免耕直播或深松技术的组合采纳。将深松与秸秆还田或免耕直播技术联合使用有助于缓解其单独采纳对粮食产出的负向影响。3项子技术同时采纳对粮食产出的贡献最大。单独采纳秸秆还田或与其与深松、免耕直播任一技术的组合能够起到增产和稳产的双重效果。

6.2 政策启示

基于以上研究结论,得到以下政策启示:

(1)继续完善保护性耕作技术推广体系,拓展保护性耕作技术的应用范围。采纳保护性耕作技术不仅是耕作方式的变化,还是作物栽培制度和田间管理模式的变化。受传统耕作习惯的影响,农户接受保护性耕作技术需要有一个过程。建立完善高效的推广体系,有助于农户将采纳保护性耕作技术转变为自觉行动。农技推广部门不仅要引导农户采纳保护性耕作技术,更要补齐农户在应用技术过程中的“短板”,从而实现农户对保护性耕作技术“从不采纳到采纳,从单项采纳到多项采纳”。

(2)因地制宜创新保护性耕作模式,增强保护性耕作技术的适用性和稳定性。中国耕地资源类型复杂,粮食品种多样,种植制度差异明显,粮食种植主体多元。因此,各地应立足于当地种植制度和气候条件,差别化地研发与集成保护性耕作技术及配套农机具,增强保护性耕作技术的适用性和稳定性,提高保护性耕作技术的采纳率及转化率。

(3)加强宣传培训,提升农户对保护性耕作的认知水平。综合利用传统媒体和新媒体平台,加强保护性耕作在保障国家粮食安全、实现耕地资源可持续集约化利用、抵御自然灾害风险中的突出地位和重要意义的宣传,引导农户树立“在保护中利用,在利用中保护”的绿色发展理念。着力打造保护性耕作技术的试点与示范基地,以点带面,调动农户采纳保护性耕作技术的积极性和持续性。

参考文献(References):

[1] 陈萌山,秦朗,程广燕. 践行大食物观:中国食物系统转型的挑

战、目标与路径[J]. 农业经济问题, 2023, (5): 4-10. [Chen M S, Qin L, Cheng G Y. Practicing a greater food approach: Challenges, goals and pathways for food system transformation in China[J]. Issues in Agricultural Economy, 2023, (5): 4-10.]

[2] 崔宁波,范月圆,巴雪真. 中国保护性耕作政策变迁进程、逻辑与展望:基于制度变迁理论的视角[J]. 中州学刊, 2021, (10): 33-40. [Cui N B, Fan Y Y, Ba X Z. Progress, logic and prospect of conservation tillage policy change in China: Based on the perspective of institutional change theory[J]. Academic Journal of Zhongzhou, 2021, (10): 33-40.]

[3] 徐欣,王笑影,鲍雪莲,等. 长期免耕不同秸秆覆盖量对玉米产量及其稳定性的影响[J]. 应用生态学报, 2022, 33(3): 671-676. [Xu X, Wang X Y, Bao X L, et al. Effects of long-term no-tillage and stover mulching on maize yield and its stability[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2022, 33(3): 671-676.]

[4] 王嘉男,李玲玲,谢军红,等. 半干旱区保护性耕作对旱作春小麦光合特性和产量形成的影响[J]. 麦类作物学报, 2020, 40(12): 1493-1500. [Wang J N, Li L L, Xie J H, et al. Effects of conservation tillage on photosynthesis and yield formation of rain-fed spring wheat in semi-arid areas[J]. Journal of Triticeae Crops, 2020, 40(12): 1493-1500.]

[5] 梁爱珍,张延,陈学文,等. 东北黑土区保护性耕作的发展现状与成效研究[J]. 地理科学, 2022, 42(8): 1325-1335. [Liang A Z, Zhang Y, Chen X W, et al. Development and effects of conservation tillage in the black soil region of Northeast China[J]. Scientia Geographica Sinica, 2022, 42(8): 1325-1335.]

[6] 蒋发辉,钱泳其,郭自春,等. 基于Meta分析评价东北黑土地保护性耕作与深耕的区域适宜性:以作物产量为例[J]. 土壤学报, 2022, 59(4): 935-952. [Jiang F H, Qian Y Q, Guo Z C, et al. Evaluating the regional suitability of conservation tillage and deep tillage based on crop yield in the black soil of Northeast China: A meta-analysis[J]. Acta Pedologica Sinica, 2022, 59(4): 935-952.]

[7] 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.]

[8] 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 adoption: An analysis based on the data of 2271 plots[J]. Resources Science, 2020, 42(11): 2237-2250.]

[9] 张彤,郎亮明,陆迁. 组织支持激励保护性耕作技术采用效应与路径:基于北方瓜果种植户的实证研究[J]. 农业技术经济, 2023, (3): 124-144. [Zhang T, Lang L M, Lu Q. Effects and paths

2023年10月

- of organizational support to stimulate conservation tillage adoption: An empirical study of fruit farmers[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2023, (3): 124–144.]
- [10] Ding Y, Schoengold K, Tadesse T. The impact of weather extremes on agricultural production methods: Does drought increase adoption of conservation tillage practices?[J]. *Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2009, 34(3): 395–411.
- [11] 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.]
- [12] 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.]
- [13] Si R S, Lu Q, Aziz N. Does the stability of farmland rental contract and conservation tillage adoption improve family welfare? Empirical insights from Zhangye, China[J]. *Land Use Policy*, 2021, DOI: 10.1016/j.landusepol.2021.105486
- [14] Tessema Y M, Asafu-Adjaye J, Shiferaw B. The impact of conservation tillage on maize yield and input demand: The case of smallholder farmers in north-west Ethiopia[J]. *Australian Journal of Agricultural and Resource Economics*, 2018, 62(4): 636–653.
- [15] 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 and Management*, 2021, 20(4): 458–467.]
- [16] 向午燕, 董智, 冯晨, 等. 不同灌水量和秸秆还田量对春玉米产量及水分利用效率的影响[J]. *玉米科学*, 2023, 31(1): 126–134. [Xiang W Y, Dong Z, Feng C, et al. Effects of different irrigation amount and straw returning amount on yield and water use efficiency of spring maize[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2023, 31(1): 126–134.]
- [17] 刘艳, 叶鑫, 包红静, 等. 秸秆还田配施化肥对春玉米耕层土壤理化性质及产量的影响[J]. *土壤*, 2023, 55(2): 254–261. [Liu Y, Ye X, Bao H J, et al. Effects of straw incorporation combined with fertilizer on physiochemical properties of soil and yield of spring maize[J]. *Soils*, 2023, 55(2): 254–261.]
- [18] 高燕, 梁爱珍, 黄丹丹, 等. 长期免耕对黑土氮磷硫循环微生物功能潜力的影响[J]. *应用生态学报*, 2023, 34(4): 913–920. [Gao Y, Liang A Z, Huang D D, et al. Effect of long-term no-tillage on the functional potential of microorganisms involved in nitrogen, phosphorus and sulfur cycles of black soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2023, 34(4): 913–920.]
- [19] 闫秋艳, 董飞, 贾亚琴, 等. 耕作方式对旱地麦田土壤蓄水变化特征及小麦产量的影响[J]. *水土保持学报*, 2021, 35(1): 222–228. [Yan Q Y, Dong F, Jia Y Q, et al. Effects of tillage patterns on soil water storage and wheat yield in dryland wheat field[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2021, 35(1): 222–228]
- [20] 唐利群, 周洁红, 于晓华. 采用保护性耕作对减少水稻产量损失的实证分析: 基于4省1080个稻农的调研数据[J]. *自然资源学报*, 2017, 32(6): 1016–1028. [Tang L Q, Zhou J H, Yu X H. The impact of conservation tillage on reduction in rice yield loss: Evidence from 1080 Chinese rice farmers[J]. *Journal of Natural Resources*, 2017, 32(6): 1016–1028.]
- [21] Michler J D, Baylis K, Arends-Kuenning M, et al. Conservation agriculture and climate resilience[J]. *Journal of Environmental Economics and Management*, 2019, (93): 148–169.
- [22] 陈帅, 徐晋涛, 张海鹏. 气候变化对中国粮食生产的影响: 基于县级面板数据的实证分析[J]. *中国农村经济*, 2016, (5): 2–15. [Chen S, Xu J T, Zhang H P. The impact of climate change on China's crop productions: An empirical study of provincial panel data [J]. *China Rural Economy*, 2016, (5): 2–15.]
- [23] 陈素英, 牛君仿, 张喜英, 等. 秸秆覆盖温度效应对冬小麦农艺和生理性状的影响[J]. *中国生态农业学报(中英文)*, 2022, 30(5): 820–830. [Chen S Y, Niu J F, Zhang X Y, et al. Temperature effects of straw mulching on the agronomic and physiological characteristics of winter wheat[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2022, 30(5): 820–830.]
- [24] 蔡红光, 刘剑钊, 梁尧, 等. 玉米秸秆全量条带覆盖还田耕种技术模式生产实证[J]. *玉米科学*, 2022, 30(1): 115–122. [Cai H G, Liu J Z, Liang Y, et al. Demonstration on integrated cultivation mode of maize straw stripe mulching[J]. *Journal of Maize Sciences*, 2022, 30(1): 115–122.]
- [25] 沈满洪, 强滕滕. 农业生产风险评估及管理研究进展[J]. *浙江大学学报(人文社会科学版)*, 2020, 50(3): 12–28. [Chen M H, Qiang M M. Research progress in assessing and managing agricultural production risks[J]. *Journal of Zhejiang University (Humanities and Social Sciences)*, 2020, 50(3): 12–28.]
- [26] Huang J K, Wang Y J, Wang J X. Farmers' adaptation to extreme weather events through farm management and its impacts on the mean and risk of rice yield in China[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2015, 97(2): 602–617.
- [27] Di Falco S, Veronesi M. Managing environmental risk in presence of climate change: The role of adaptation in the Nile Basin of Ethiopia[J]. *Environmental and Resource Economics*, 2014, 57(4): 553–577.

- [28] 孙顶强, 邢钰杰. 病虫害统防统治服务的产出效应与风险效应研究: 基于江苏省水稻种植户的实证分析[J]. 农业技术经济, 2022, (2): 4–15. [Sun D Q, Xing Y J. The output effect and risk effect of professional pest and disease control service: An empirical study on paddy rice production in Jiangsu Province[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2022, (2): 4–15.]
- [29] 高雪, 李谷成, 尹朝静. 气候变化下的农户适应性行为及其对粮食单产的影响[J]. 中国农业大学学报, 2021, 26(3): 240–248. [Gao X, Li G C, Yin C J. Farmers' adaptation to climate change and its impact on grain yield[J]. Journal of China Agricultural University, 2021, 26(3): 240–248.]
- [30] 郑沃林, 胡新艳. 应对气候变化的农业经济研究前沿与政策实践[J]. 北京理工大学学报(社会科学版), 2021, 23(6): 50–57. [Zheng W L, Hu X Y. Agricultural economic research frontiers and policy practice in response to climate change[J]. Journal of Beijing Institute of Technology (Social Sciences Edition), 2021, 23(6): 50–57.]
- [31] 吕杰, 刘浩, 薛莹, 等. 风险规避、社会网络与农户化肥过量施用行为: 来自东北三省玉米种植农户的调研数据[J]. 农业技术经济, 2021, (7): 4–17. [Lv J, Liu H, Xue Y, et al. Study on risk aversion, social network and farmers' overuse of chemical fertilizer: Based on survey data from maize farmers in three provinces of Northeast China[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2021, (7): 4–17.]
- [32] 冯晓龙, 仇焕广, 刘明月. 不同规模视角下产出风险对农户技术采用的影响: 以苹果种植户测土配方施肥技术为例[J]. 农业技术经济, 2018, (11): 120–131. [Feng X L, Qiu H G, Liu M Y. Technology adoption of farmers in different farm sizes under production risk: A case study of apple farmers' formula fertilization technology by soil testing[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2018, (11): 120–131.]
- [33] 刘远, 王芳, 张正涛, 等. 中国七大地区“气候变化–作物产量–经济影响”综合评价[J]. 气候变化研究进展, 2021, 17(4): 455–465. [Liu Y, Wang F, Zhang Z T, et al. Comprehensive assessment of “climate change–crop yield–economic impact” in seven sub-regions of China[J]. Climate Change Research, 2021, 17(4): 455–465.]
- [34] 费红梅, 刘文明, 姜会明. 保护性耕作技术采纳意愿及群体差异性分析[J]. 农村经济, 2019, (4): 122–129. [Fei H M, Liu W M, Jiang H M. Analysis on adoption willingness and group difference of conservation tillage technology[J]. Rural Economy, 2019, (4): 122–129.]
- [35] 张露. 小农分化、行为差异与农业减量化[J]. 农业经济问题, 2020, (6): 131–142. [Zhang L. Small household differentiation, behavioral differences and agricultural chemical reduction[J]. Issues in Agricultural Economy, 2020, (6): 131–142.]
- [36] 刘平奇, 张梦璇, 王立刚, 等. 深松秸秆还田措施对东北黑土土壤呼吸及有机碳平衡的影响[J]. 农业环境科学学报, 2020, 39(5): 1150–1160. [Liu P Q, Zhang M X, Wang L G, et al. Effects of subsoiling and straw return on soil respiration and soil organic carbon balance in black soil of northeast China[J]. Journal of Agro-Environment Science, 2020, 39(5): 1150–1160.]
- [37] 刘洪彬, 吴梦瑶, 马贤磊, 等. 基于分布式认知理论的农户保护性耕作技术采纳行为及其影响因素研究[J]. 中国土地科学, 2021, 35(10): 75–84. [Liu H B, Wu M Y, Ma X L, et al. Research on influencing factors of farmers' adoption behavior of conservation tillage technology based on distributed cognition theory[J]. China Land Science, 2021, 35(10): 75–84.]

Effect of conservation tillage technology adoption on yield increasing and stabilizing

DENG Yuanyuan^{1,2}, ZHU Junfeng²

(1. School of Economics & Management, Shihezi University, Shihezi 832000, China; 2. College of Economics & Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: [Objective] Conservation tillage is an important way to promote the sustainable and intensive utilization of cultivated land, cope with the impact of climate change, and promote the transformation of grain production mode. Accurately evaluating the impact of conservation tillage technology adoption on grain production not only can provide empirical evidence for increasing the scale and quality of conservation tillage, but also has important practical significance for ensuring food security. [Methods] Based on the survey data of grain growers from 14 provinces in China, the effect of conservation tillage technology adoption on yield increasing and stabilizing, and its heterogeneity in different regions and under different cropping systems and technology combinations were investigated under the counterfactual framework by using the endogenous switching regression (ESR) model. [Results] (1) Adopting conservation tillage technologies reduces the risk of grain yield reduction while increasing the mean of yield, which shows obvious yield-increasing effect and yield-stabilizing effect. Under the counterfactual assumption, if the farmers who adopt conservation tillage technologies did not do so, their grain mean yield would have reduced by 3.4%, and their risk of yield reduction would have increased by 17.5%. (2) The effect of conservation tillage technology adoption on yield increasing and stabilizing are heterogeneous. The adoption of conservation tillage technologies can enhance the grain mean yield of farmers in the eastern region of China more strongly than that in the central and western regions, and can only reduce the risk of grain yield reduction of farmers in the eastern region. Compared with areas with double cropping and above, the adoption of conservation tillage technologies by farmers in areas with one cropping failed to increase grain yield, but increased the risk of grain yield reduction. (3) Conservation tillage technologies have integrated adoption effect, and the yield-increasing effect and yield-stabilizing effect of straw returning + subsoiling or no-tillage direct seeding combination technology are better than that of straw returning alone. [Conclusion] Adopting conservation tillage technologies can alleviate the food security pressure brought about by the constraints of arable land resources, but it requires matching regional factor endowments, institutional environment, and technology ecological environment as support. Therefore, it is necessary to enhance the promotion, service, and research and development capabilities of conservation tillage technology, enhance its applicability and stability, and establish supporting systems and policy systems as soon as possible to fully leverage the role of conservation tillage technology in improving food security.

Key words: conservation tillage; technology adoption; yield-increasing effect; yield-stabilizing effect; climate adaptability; endogenous switching regression model