

要素相对价格、农机服务与技术进步偏向

——以粮食生产的机械化进程为例

张丽¹,李容^{2*}

(1.重庆工商大学企业管理研究中心/工商管理学院,重庆400067;

2.西南大学经济管理学院,重庆400715)



摘要 诱致技术变迁理论强调了要素相对价格变化对技术进步的导向性作用。鉴于农机服务外包已成为大国小农背景下粮食生产机械化进程的基本方向,因此,在机械对劳动的替代过程中,机械作业服务与劳动的相对价格对技术进步的偏向性将发挥重要的诱导作用。采用超越对数随机前沿分析方法测算了2004—2018年中国26个省份粮食生产的技术进步偏向指数,研究发现:(1)农机具购置与劳动力的相对价格,对技术进步偏向机械的直接诱导作用并不显著,农机服务与劳动力的相对价格则产生了明显的诱导作用;(2)农机服务诱导技术进步偏向的叠加效应,是促进小农户与现代农业有机衔接的重要机制。由此提出农机补贴政策应向农机服务主体倾斜,逐步完善农机服务市场的价格形成机制。基于诱致技术变迁分析框架探索农机对劳动的替代,与农机服务对劳动的替代之间的区别,以期为我国农业技术进步的政策设计提供操作思路。

关键词 农机服务外包; 技术进步偏向; 诱致技术变迁; 农机购置; 相对价格

中图分类号:F323.3 **文献标识码**:A **文章编号**:1008-3456(2022)04-0038-15

DOI编码:10.13300/j.cnki.hnwkxb.2022.04.004

诱致技术变迁理论认为要素相对价格的变化对技术进步产生诱导作用^[1];然而,要素使用方式也会通过要素相对价格的变化改变资源稀缺状态或者要素投入结构,从而对技术进步的偏向性产生影响。例如,家庭小规模经营制约了小农户对规模偏向技术(机械技术)的采用,但除了购置农机具之外农户还可以采用购买农机作业服务的方式使用机械技术^[2],基层内生型机械服务市场是土地小规模经营农户实现机械化的有效途径^[3]。因此在中国特殊农情以及农地流转交易不畅的约束下,通过服务外包的方式同样可以满足机械化技术装备对土地规模的技术经济要求^[4]。那么,在超小土地经营规模的条件下,诱导农户用机械替代劳动的相对价格是什么?文献表明,农机作业服务改变了农机的稀缺状态,使农机成为比劳动力更为富裕的要素^[5]。由此产生的问题就是:机械与劳动的相对价格和机械作业服务与劳动的相对价格对技术进步偏向的诱导有何差异和联系?基于诱致技术变迁分析框架的探索可以为不同土地资源禀赋条件下促进丰裕要素替代稀缺要素的技术进步政策设计提供学理借鉴。在小规模家庭经营的国情下,如果服务相对价格的诱导作用更加显著,那么对农机作业服务主体进行补贴可能就是比农机购置补贴更有效的政策设计。

一、文献回顾

由于劳动力成本上升和农业生产外包服务的发展,我国粮食生产呈现出明显的劳动节约型技术进步和“资本深化”迹象^[6-8],要素相对价格的变化对粮食生产技术的诱导作用也日益凸显^[9-10]。中

收稿日期:2021-03-31

基金项目:教育部人文社会科学基地重大项目“长江上游地区环境审计协同机制研究”(19JZD01786);重庆市教委人文社会科学规划项目“科技创新促进经济高质量发展的路径研究——基于重庆市的经验证据”(20SKGH346)。

*为通讯作者。

国农业机械与劳动力的相对价格诱导劳动节约技术进步的作用具体表现在两个方面。一是机械要素与劳动的相对价格诱导农户采用机械技术,从而实现机械技术进步^[11-13];二是农机作业服务市场的出现改变了中国小农户面临的要素禀赋格局,农业机械通过服务外包的方式进入农户的小规模生产过程,农机作业服务与劳动力相对价格的改变推动了农业机械对劳动力的替代^[14]。

现有文献报道了大量关于农机服务市场影响我国农户采用机械技术的相关研究。诱致性技术变迁和农民理性选择是产生机械技术需求的经济原因,对农业机械技术的有效需求是农机服务市场出现的前提条件。农机服务市场促进了农户农机投资和使用的分离,小农户通过购买农机作业服务的方式,可绕过农地规模阈值的约束采用机械技术^[15]。吴丽丽等的调查发现大多数农户是通过直接购买农机服务而不是购置农机来采纳劳动节约型技术^[16]。与此同时,农机服务外包还有助于突破小规模经营的限制,提高技术扩散速度^[17]。农机购置补贴的政策激励使得农机户真正成为推动农户采用先进农业技术的重要途径^[18]。此外,与购买农业机械相比,购买农机作业服务通过“迂回”方式使农业机械的供给扩大了很多倍,还节省了大笔购买农机的开支和日常维护费用。因此,农机作业服务体系通过社会化分工的方式化解了大生产与小农户的矛盾,适应了先进农业生产力的发展要求^[14]。

文献表明,美国、欧洲、日本等发达国家以及中国改革开放以来的技术进步均表现出偏向于资本的特征^[19]。我国农业技术进步的资本偏向也非常明显^[20],总体上偏向于节约劳动要素^[21]。例如中国水稻技术进步的潜能主要来自偏向性技术进步,未来会偏向加强使用机械型技术^[22]。中国粮食生产的投入要素偏向型技术进步主要受到要素相对价格变化的诱导^[23]。经典文献的研究表明,技术进步的方向反映了要素相对价格的变化趋势^[24],而要素禀赋差异则决定了相对价格在丰裕要素替代稀缺要素的技术路径选择上的差异^[25]。例如,诱致技术变迁理论就认为技术进步的路径是借助要素相对价格的变化实现廉价的丰裕要素对昂贵的稀缺要素的替代^[26],因而农业生产要素相对禀赋和积累状态的变化会改变要素的相对价格,从而对农业技术进步的偏向产生诱致^[1,25,27]。

尽管目前对我国农业技术进步偏向的研究已有一些成果,亦有研究指出农业技术进步存在明显的诱致性偏向^[7],但却未能对这种诱致性偏向的形成机制加以深入阐述,尤其是在小规模经营条件下,农机作业服务对要素相对价格诱致规模偏向型机械技术进步的过程未能得到明确揭示。今后农机作业服务是我国粮食生产实现机械化的重要方向,虽然大部分学者基于资本和劳动两要素研究了技术进步偏向的问题,但均是基于要素相对价格的变化所做的讨论,没有考虑农机作业服务对于要素相对价格诱致作用的影响,因而不能全面、准确反映出农业技术进步的实现路径和偏向性特征。本研究试图从三个方面展开探索:(1)基于诱致性技术变迁分析框架探讨农机对劳动的替代与农机服务对劳动的替代之间的联系和差异;(2)将服务外包的机械要素使用方式和农户家庭投资购买农机具的机械要素投入方式同时纳入数理模型,分析不同土地资源禀赋条件下要素相对价格变化对技术进步偏向的诱导机制;(3)在政策上提出农机购置补贴应主要针对大中型高科技含量的农机具,补贴政策应向农机服务主体倾斜,通过形成农机服务价格优势鼓励小农户通过外包方式采用机械偏向型技术。

二、考虑机械使用方式的要素相对价格对技术进步偏向的诱导机理

在劳动力成本快速上涨的背景下,农机对劳动要素的替代成为缓解劳动力短缺的必然选择。农机与劳动要素相对价格的下降诱导农户增加机械投入,减少劳动投入,从而形成机械投入偏向型技术进步。由于机械技术经济性的规模要求以及作业窗口期的影响,农机服务外包成为我国粮食生产机械化进程的基本方向。在小规模经营和农地市场发育缓慢的国情下,以农机服务外包的方式替代劳动与农户直接购置机械替代劳动相比存在明显差异。主要原因在于:对小农户而言,家庭购置农机具因农机投资成本更高以及使用频率过低,从而实现了既减少资本又节约劳动的技术进步^①。农

① 严格意义上讲属于技术退步,因为小农户在减少农机投资和节约劳动的平衡中选择购买微型型农机具,更倾向于调整种植结构,由此可能导致全要素生产率的下降。

机服务外包的方式在降低农户机械作业成本的同时,还有利于农户迂回使用先进技术,导致节省劳动力并促进规模经济的技术进步。因此,农机服务对劳动的替代与农机对劳动的替代相比,对技术进步偏向机械的诱导机制也存在差异。有必要从购置农机和农机服务外包两种不同的机械使用方式探讨要素相对价格对技术进步偏向的诱导机理。

1. 不同机械使用方式下要素相对价格对技术进步偏向的诱导

为了充分展示农户家庭购置农机和农机服务外包两种方式下的要素相对价格变化对技术进步偏向的影响,本文将模型进行简化处理,暂不考虑农户购买农机的同时也为其他农户提供服务的情形。在土地、劳动、机械三大生产要素的资源禀赋条件下,本文将农户购买农机进行生产视为购置农机的机械使用方式,将农业生产过程中任意环节的外包作业视为服务外包的机械使用方式^①。图1和图2分别展示了不同土地要素市场类型下机械使用方式与劳动相对价格的变化对技术进步偏向机械的诱致过程。图1和图2中三条坐标分别代表农户在生产中三种要素(劳动、土地、机械购置或者农机服务)的投入数量,横坐标以下部分反映在用机械替代劳动的情形下土地与机械的互补关系。

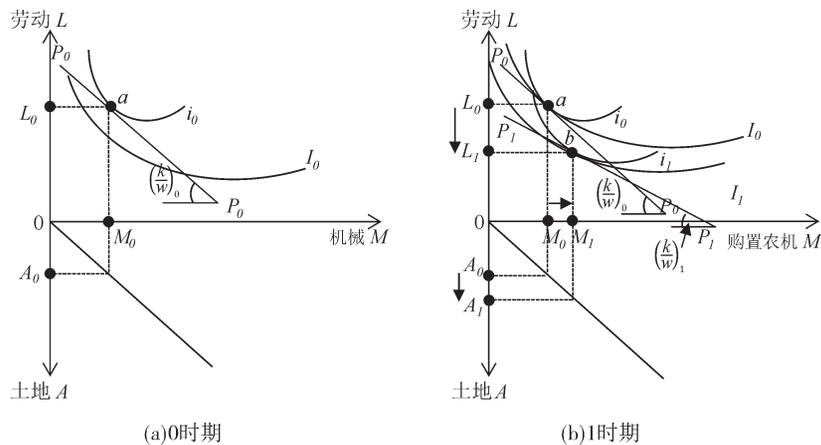


图1 土地市场完备时的诱致技术变迁模型

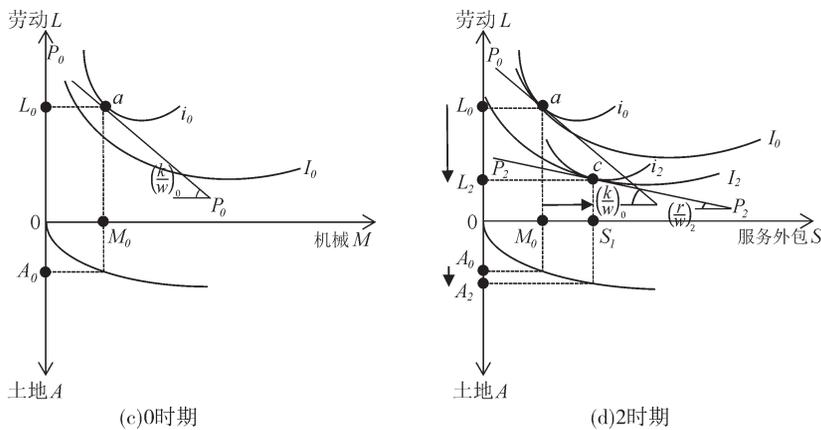


图2 土地市场不完备时的诱致技术变迁模型

上图中, I 曲线表示“创新可能性曲线”,指同一时期内可以利用的所有技术相对应的单位等产量曲线的包络线。随着知识的积累和人的能力的提高,这条曲线会移动,从0时期的 I_0 移动到1时期的 I_1 再到2时期的 I_2 ,表明随着技术的改进,生产同样产量的投入要素更少。 i 曲线表示在特定要素组合下生产成本最小化的技术,随着要素稀缺的变动, i 曲线由0时期的 i_0 移动到1时期的 i_1 再到2时期的

① 受到地形地貌条件、经济发展水平等因素的影响,我国农机服务市场发展不平衡,农户对生产环节农机服务的可获得性存在差异;由于粮食生产机械技术存在瓶颈限制,不同生产环节的农机服务发展也存在差异,耕地、收割等劳动密集型环节服务外包的发展程度明显好于播种育秧、植保等技术密集型环节外包^[11]。农户对生产环节进行农机服务外包的行为存在异质性,本文认为只要农户存在任意生产环节的农机服务外包行为,则说明服务的相对价格对农户采用机械作业会产生影响。

i_2 ,表明技术变迁的方向。技术曲线与创新可能性曲线的交点即为要素组合下最小成本点。

当土地市场完备时土地规模扩张不受限制,机械替代劳动可以通过土地规模的调整实现机械技术对规模经济的要求。此时诱导农户采用机械的相对价格为农户购置农机与劳动力的相对价格。图1显示的是土地要素市场完备时的诱致技术变迁模型。在0时期农户技术选择的最小成本点为 a ,劳动、机械和土地要素投入分别为 L_0 、 M_0 、 A_0 ,此时机械与劳动力的相对价格为 $P_0 = \left(\frac{k}{w}\right)_0$,其中 k 表示购置农机的价格, w 表示劳动力的价格。在1时期劳动力价格上涨,劳动要素变得相对稀缺,购买机械与劳动力之间的相对价格变小, $P_1 = \left(\frac{k}{w}\right)_1 < P_0 = \left(\frac{k}{w}\right)_0$ 。理性农户出于利润最大化做出使用机械替代劳动的技术选择,由于土地市场完善,农户可以低成本扩大土地要素投入至 A_1 ,以满足机械对土地规模的技术经济要求。1时期农户通过购置农机达到最小成本点 b ,机械投入增加至 M_1 ,节约劳动力投入 L_0L_1 。

事实上我国土地要素市场并不完备,土地流转往往受到约束,超小土地规模经营是大多数农户家庭经营的常态。农户通过服务外包的方式使用机械可以规避土地规模对机械技术操作的要求,成为大国小农国情下小农户机械技术选择的路径。此时诱导农户采用机械的相对价格为农机服务外包与劳动力的相对价格。图2显示,在2时期劳动力价格上涨使得劳动要素相对稀缺。由于土地市场不完备,农户难以通过扩大土地经营规模来达到自家购置机械的技术经济性,生产方式和管理水平的改进使得农机服务外包的方式成为小农户采用机械作业的技术选择路径。此外,农户家庭购买机械与服务外包方式之间的盈亏平衡点决定了小规模经营条件下服务外包比机械购置(尤其是高科技含量的大型农机具)更划算。如图2(d)所示,农机服务与劳动力的相对价格从 P_0 进一步下降至 $P_2 = \left(\frac{r}{w}\right)_2$, r 表示购买农机服务的价格。创新可能性曲线朝着原点方向由 I_0 移动到 I_2 ,均衡点由 a 到 c 。此时技术由 i_0 非平行移动至 i_2 ,技术进步进一步向机械偏向型方向发展。农户扩大土地规模受到限制(如图2(d)所示 A_0A_2 极小),在服务外包的相对价格诱导下达到最小成本点 c ,机械作业服务投入增加至 S_1 ,节约劳动力投入 L_0L_2 。

综合以上分析,在我国土地市场不完善和超小土地经营规模的国情下,机械替代劳动受到机械使用经济性或盈亏平衡点的制约,机械相对价格的下降可能不足以产生诱致作用,机械服务相对价格的下降可能才是农户用机械替代劳动的主要诱致因素。从粮食生产的机械化进程来看,农机服务相对价格的下降对小农户采用节约劳动技术的诱致可能比机械要素相对价格下降对节约劳动技术的诱致作用更明显。

2. 不同机械使用方式下要素相对价格诱导技术进步偏向的数理模型

农户扩大农地经营规模是机械化耕种的前提条件,然而我国当前农地市场发育还不完善,农户扩大经营规模受到制约,因此农业生产的机械投入决策不仅受到劳动力价格上涨的影响,还与机械作业的单位成本密切相关。农户不仅要考虑预期收益或者成本减少,还要考虑选择不同机械要素投入方式之间的盈亏平衡问题。为了简化分析过程,暂不考虑购置农机具的农户将农机租赁出去的收入。根据盈亏平衡分析可知,当且仅当农地经营面积为 $A^* = \frac{k(1-a\%)}{Nbr}$ ^①时,农户购置农机具与采用农机服务外包的机械使用成本无差异, A^* 即为两种机械要素实现方式的农地经营规模盈亏平衡点。

① 令农户家庭购置一台农机具的价格为 k ,可以正常使用 N 年,每年重复利用率为 b ,净残值率为 $a\%$,则农户在农业生产中分摊的农机具购置成本为 $\frac{k(1-a\%)}{Nb}$ 。若农户采用农机服务外包的价格为 r 元/亩,农户的土地经营面积为 A 亩。盈亏平衡点的实现条件则为:农户服务外包的费用与购置农机具的分摊成本相等,即 $rA^* = \frac{k(1-a\%)}{Nb}$ 。

当农地经营面积 $A < A^*$ 时,农户经营 A 亩粮食的总收入始终大于总成本,但农机服务情形下总成本更低,理性农户会选择采用农机服务外包的方式。当农地经营面积 A 足够大,直到超过 A^* 时,农户购置农机具的总成本更低,此时理性农户才会选择直接购置农机具。当农地流转受限无法继续扩大经营规模时,利用农机服务外包的方式使用机械具有成本优势。

下面分析农户生产决策中机械要素使用方式的相对价格变动对技术进步偏向的影响机制。假设农户以利润最大化为目标,为简化分析过程,假定农户生产中考虑劳动、土地与机械要素的投入。农户生产粮食作物的生产函数为 $Q = f_d(L, A, BM/S)$, 其中 $d=0$ 或 1 , L, A 分别为劳动和土地要素的投入份额, M/S 表示不同方式下的机械要素投入份额, M 为购置农机具, S 为农机服务外包; B 表示机械投入偏向型技术进步率,是指由技术进步带来的机械要素相对边际产出的比率^[28]。 f_d 表示农户采用不同机械使用方式下的生产函数,当 $d=0$ 时,农户直接购置农机具投入机械要素,机械要素投入份额表示为 BM ; 当 $d=1$ 时,农户采用农机服务外包的方式实现机械化作业,机械作业投入份额表示为 BS 。农户家庭劳动时间禀赋为 \bar{L} , 土地禀赋为 \bar{A} , 机械投入禀赋为 \bar{M} 。假定农业劳动力的价格为 w , 农机服务外包的价格为 r , 农机购置的价格为 k , 粮食价格为 P 。由于土地经营规模是制约农户机械使用方式选择的重要因素,农户的利润最大化问题转化为关于土地投入 A 的分段函数,如式(1)所示:

$$\text{Max}\pi = \begin{cases} Pf_1(L_1, A, BS) - L_1w - rS & (A \leq A^*) \\ Pf_0(L_0, A, BM) - L_0w - \frac{k(1-a\%)}{Nb}M & (A > A^*) \end{cases} \quad (1)$$

$$s.t. 0 \leq L_1 \leq L_0 \leq \bar{L}$$

$$S \leq \bar{M}, M \leq \bar{M}$$

机械要素使用方式的选择条件为:

(1) 当农地经营规模小于等于两种机械使用方式的盈亏平衡点时,农户采用服务外包方式的成本收益大于直接购置农机具的成本收益。

$$Pf_1(L_1, A, BS) - wL_1 - rS > Pf_0(L_0, A, BM) - wL_0 - kM \quad (A \leq A^*) \quad (2)$$

(2) 当农地经营规模大于两种机械使用方式的盈亏平衡点时,农户直接购置农机具的成本收益大于采用服务外包方式的成本收益。

$$Pf_0(L_0, A, BM) - wL_0 - kM > Pf_1(L_1, A, BS) - wL_1 - rS \quad (A > A^*) \quad (3)$$

将 π 分别对 M, S, L_1, L_0 求一阶偏导并令四个一阶偏导分别为零,得到农户利润最大化的条件为:

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi}{\partial M} = PBf'_{0M}(L_0, A, BM) - \frac{k(1-a\%)}{Nb} = 0 & (A > A^*) \\ \frac{\partial \pi}{\partial S} = PBf'_{1S}(L_1, A, BS) - r = 0 & (A \leq A^*) \\ \frac{\partial \pi}{\partial L_1} = Pf'_{1L_1}(L_1, A, S) - w = 0 & (A \leq A^*) \\ \frac{\partial \pi}{\partial L_0} = Pf'_{0L_0}(L_0, A, M) - w = 0 & (A > A^*) \end{cases} \quad (4)$$

由式(4)整理可得:

$$\begin{cases} B = \frac{k}{w} \times \frac{1-a\%}{Nb} \times \frac{f'_{0L_0}(L_0, A, BM)}{f'_{0M}(L_0, A, BM)} & (A > A^*) \\ B = \frac{r}{w} \times \frac{f'_{1L_1}(L_1, A, BS)}{f'_{1S}(L_1, A, BS)} & (A \leq A^*) \end{cases} \quad (5)$$

由式(5)可以看出技术进步偏向指数 B 是关于要素相对价格的函数。式(5)中 $\frac{k}{w}$ 为购置农机具与劳动力的相对价格, $f'_{0L_0}(L_0, A, BM)$ 为购置农机具情形下的劳动要素边际产出率, $f'_{0M}(L_0, A, BM)$ 为购置农机具的边际产出率;式(5)中 $\frac{r}{w}$ 为农机服务与劳动力的相对价格, $f'_{1L_1}(L_1, A, BS)$ 为服务外包方式下的劳动要素边际产出率, $f'_{1S}(L_1, A, BS)$ 为农机服务的边际产出率。本文依据“要素相对价格变化→要素投入结构变化→要素边际产出率变化/要素相对边际产出率变化→技术进步偏向形成”的影响机制展开分析。根据式(5)分别将 B 对 $\frac{k}{w}$ 和 $\frac{r}{w}$ 求偏导,则要素相对价格变化对技术进步偏向的影响机制可以用公式表达为:

$$\begin{cases} \frac{\partial B}{\partial\left(\frac{k}{w}\right)} = \frac{1-a\%}{Nb} \times \frac{f'_{0L_0}(L_0, A, BM)}{f'_{0M}(L_0, A, BM)} & (A > A^*) \\ \frac{\partial B}{\partial\left(\frac{r}{w}\right)} = \frac{f'_{1L_1}(L_1, A, BS)}{f'_{1S}(L_1, A, BS)} & (A \leq A^*) \end{cases} \quad (6)$$

当劳动力价格上涨时,机械与劳动要素的相对价格下降。劳动要素的投入成本增加,增加农业劳动投入不利于提高边际产出率, $f'_{1L_1}(L_1, A, BS) < 0$, $f'_{0L_0}(L_0, A, BM) < 0$ 。若土地投入超过盈亏平衡点的经营规模($A > A^*$),农户直接购置农机具更符合经济原则,增加购置农机具的投入可以提高机械要素的边际产出率, $f'_{0M}(L_0, A, BM) > 0$,形成机械投入偏向型技术进步。若土地投入小于盈亏平衡点的经营规模($A \leq A^*$),农户采用服务外包的方式进行机械作业更经济,增加农机服务的投入可以提高服务要素的边际产出率, $f'_{1S}(L_1, A, BS) > 0$,形成机械投入偏向型技术进步。由于购置农机具的分摊成本比率 $\frac{1-a\%}{Nb} > 0$,将以上分析式子全部带入式(6)可得: $\frac{\partial B}{\partial\left(\frac{k}{w}\right)} < 0$, $\frac{\partial B}{\partial\left(\frac{r}{w}\right)} < 0$,要素相对

价格 $\frac{k}{w}$ 、 $\frac{r}{w}$ 的变化与对技术进步偏向 B 呈反比例关系。

同时考虑不同机械要素投入方式的价格对技术进步偏向的作用,还需要对比两种机械要素投入方式形成的相对价格带来的影响。由式(5)变换可得:

$$\frac{r}{w} = \frac{1-a\%}{Nb} \times \frac{f'_{1S}(L_1, A, BS)}{f'_{0M}(L_0, A, BM)} \times \frac{f'_{0L_0}(L_0, A, BM)}{f'_{1L_1}(L_1, A, BS)} \quad (7)$$

由于 $B \times M = \frac{k(1-a\%)}{Nb}$,带入式(7)得: $B = \frac{r}{k} \times \frac{k}{M} \times \frac{f'_{0M}(L_0, A, BM)}{f'_{1S}(L_1, A, BS)} \times \frac{f'_{1L_1}(L_1, A, BS)}{f'_{0L_0}(L_0, A, BM)}$,将 B

对 $\frac{r}{k}$ 求偏导可得:

$$\frac{\partial B}{\partial\left(\frac{r}{k}\right)} = \frac{k}{M} \times \frac{f'_{0M}(L_0, A, BM)}{f'_{1S}(L_1, A, BS)} \times \frac{f'_{1L_1}(L_1, A, BS)}{f'_{0L_0}(L_0, A, BM)} \quad (8)$$

当劳动力价格上涨时, $f'_{1L_1}(L_1, A, BS) < 0$, $f'_{0L_0}(L_0, A, BM) < 0$ 。若 $A \leq A^*$,农机服务外包比农户直接购置农机具的成本更低,农机服务与农机购置的相对价格下降,增加农机服务作业量相比较于

增加购置的农机具而言更加有利于提升机械要素的边际产出率,此时 $\left| \frac{f'_{0M}(L_0, A, BM)}{f'_{1S}(L_1, A, BS)} \right| < 1$ 。理性农户会增加农机作业服务量,削减农机具购置的投入,因此 $f'_{1S}(L_1, A, BS) > 0, f'_{0M}(L_0, A, BM) < 0$ 。将其带入式(8)可得: $\frac{\partial B}{\partial \left(\frac{r}{k} \right)} < 0$ 。若 $A > A^*$,农机服务与农机购置的相对价格上升,增加购置的农机具

相比较于增加农机服务作业量而言更加有利于提升机械要素的边际产出率,此时 $\left| \frac{f'_{0M}(L_0, A, BM)}{f'_{1S}(L_1, A, BS)} \right| > 1$ 。理性农户会直接增加购置农机具的支出,减少农机服务作业量,因此 $f'_{0M}(L_0, A, BM) > 0, f'_{1S}(L_1, A, BS) < 0$ 。将其带入式(8)得到: $\frac{\partial B}{\partial \left(\frac{r}{k} \right)} < 0$,农机服务与农机购置相对价

格 $\frac{r}{k}$ 的变化与技术进步偏向 B 呈反比例关系。由此,同时考虑两种不同的机械使用方式,若农机服务与购置农机具的相对价格变化与技术进步偏向之间表现出反比例关系,则说明农机服务与农机购置的相对价格对技术进步偏向机械产生诱导作用,并且购置农机具通过农机服务外包的方式对机械偏向型技术进步产生叠加的诱导效应。由上述分析提出如下研究假说:

H₁:若购置农机具与劳动力的相对价格变化与机械偏向型技术进步之间表现出反比例关系,则说明购置农机与劳动的要素相对价格对技术进步偏向产生诱导作用;若农机服务外包与劳动力的相对价格变化与机械偏向型技术进步之间表现出反比例关系,则说明农机服务与劳动的要素相对价格对技术进步偏向产生诱导作用。

H₂:同时考虑两种不同的机械使用方式,若农机服务与购置农机具的相对价格变化与技术进步偏向之间表现出反比例关系,则说明农机服务与农机购置的相对价格对技术进步偏向产生诱导作用,并且购置农机具通过农机服务外包的方式对机械偏向型技术进步产生叠加的诱导效应。

三、模型设定、变量选取与描述性统计

1. 技术进步偏向指数的测算模型

Hicks最早提出有偏技术进步的概念,认为要素的相对价格变化会促使企业家研发新的技术以节约较为昂贵生产要素的使用。如果技术进步有助于提高某种要素的相对边际产出,则这种技术进步是偏向于该生产要素的^[28]。Robinson认为当技术进步能使得不同投入要素包括资本、劳动或中间投入等的产出弹性发生不同程度的变化时,则此时技术进步是具有偏向性的^[29]。Acemoglu将技术进步偏向性定义为当技术进步可以提高某种要素的相对边际产出,就认为技术进步是偏向于这种要素的^[30]。本文采用超越对数生产函数的随机前沿估计方法来测算粮食生产的技术进步偏向指数。以劳动、土地、化肥和机械动力作为粮食生产的四种投入要素构建超越对数生产函数,模型如下:

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln L_{it} + \alpha_2 \ln A_{it} + \alpha_3 \ln F_{it} + \alpha_4 \ln K_{it} + \alpha_5 T_t + \frac{1}{2} \alpha_6 (\ln L_{it})^2 + \frac{1}{2} \alpha_7 (\ln A_{it})^2 + \\ & \frac{1}{2} \alpha_8 (\ln F_{it})^2 + \frac{1}{2} \alpha_9 (\ln K_{it})^2 + \frac{1}{2} \alpha_{10} T_t^2 + \alpha_{11} \ln L_{it} \ln A_{it} + \alpha_{12} \ln L_{it} \ln F_{it} + \alpha_{13} \ln L_{it} \ln K_{it} + \\ & \alpha_{14} \ln A_{it} \ln F_{it} + \alpha_{15} \ln A_{it} \ln K_{it} + \alpha_{16} \ln F_{it} \ln K_{it} + \alpha_{17} \ln L_{it} T_t + \alpha_{18} \ln A_{it} T_t + \alpha_{19} \ln F_{it} T_t + \alpha_{20} \ln K_{it} T_t + \\ & \nu_{it} - \mu_{it} \end{aligned} \quad (9)$$

式(9)中 Y_{it} 为 i 省份第 t 年的粮食产量; L_{it} 为 i 省份第 t 年粮食生产的劳动投入要素, 根据第一产业从业人员中粮食播种面积占比与农业总产值占比调整后计算得出。 A_{it} 为 i 省份第 t 年粮食生产的土地投入要素, 采用2004—2018年中国26个省份的粮食播种面积来表示。 F_{it} 为 i 省份第 t 年粮食生产的化肥折纯投入量。 K_{it} 为 i 省份第 t 年粮食生产的机械投入要素, 以粮食生产的机械动力作为指标, 以农用机械总动力根据粮食播种面积与农作物播种面积的比例调整后计算得出。 T_t 为时间趋势变量; ν_{it} 为随机误差项, 服从正态分布; μ_{it} 为技术非效率项, 服从截尾正态分布。

根据 Acemoglu 关于技术进步偏向性的定义, 当技术进步可以提高某种要素的相对边际产出时, 就认为技术进步是偏向于这种要素的^[30]。用 $IBias_{ij}$ 表示要素 i 和 j 之间的技术进步偏向指数, 如果 $IBias_{ij} > 0$, 由技术进步引致的 i 要素的边际产出率大于 j 要素的边际产出率, 技术进步偏向于要素 i ; 如果 $IBias_{ij} < 0$, 则由技术进步引致的 j 要素的边际产出率更大, 技术进步偏向于要素 j , 如果 $IBias_{ij} = 0$, 则说明技术进步中性。2018年我国主要粮食作物生产机械化稳步推进, 小麦、水稻、玉米耕种收综合机械化率分别达 95.10%、80.18%、85.55%^[31]。在劳动力成本上涨的背景下, 粮食生产更倾向于使用机械代替劳动力, 从而形成机械投入偏向型技术进步^①, 即 $IBias_{KL_{it}} > 0$ 。根据 Khanna 的技术进步偏向指数公式, 通过机械和劳动的产出弹性求出边际产出率, 求出机械与劳动要素之间的技术进步偏向性指数^[33]。式(10)中当 $IBias_{KL_{it}} > 0$, 表示 i 省份 t 年粮食生产在机械与劳动要素之间偏向机械要素的程度, $MP_{K_{it}}$ 为 i 省份 t 年机械要素的边际产出率, $MP_{L_{it}}$ 为 i 省份 t 年劳动要素的边际产出率, $\epsilon_{K_{it}}$ 为 i 省份 t 年机械要素的产出弹性, $\epsilon_{L_{it}}$ 为 i 省份 t 年劳动要素的产出弹性, 其余变量与式(9)一致。

$$IBias_{KL_{it}} = \frac{\partial \ln(MP_{K_{it}}/MP_{L_{it}})}{\partial T_t} = \frac{\partial MP_{K_{it}}/\partial T}{MP_{K_{it}}} - \frac{\partial MP_{L_{it}}/\partial T}{MP_{L_{it}}} = \frac{\alpha_{20}}{\epsilon_{K_{it}}} - \frac{\alpha_{17}}{\epsilon_{L_{it}}} \quad (10)$$

2. 不同机械使用方式下要素相对价格诱导技术进步偏向的计量模型

本文从农机购置和农机服务两种方式刻画的机械要素投入来验证要素相对价格变化对粮食生产技术进步偏向的诱导作用。首先以农机购置与劳动力的相对价格作为核心解释变量, 通过构建面板数据模型(11)考察要素相对价格对粮食技术进步偏向的影响。然后以农机服务与劳动力的相对价格作为核心解释变量, 通过构建面板数据模型(12)考察要素相对价格对粮食技术进步偏向的影响。最后以农机服务要素相对价格与农机购置要素相对价格的比值作为核心解释变量, 通过构建面板数据模型(13)考察不同机械要素使用方式形成的相对价格变化对技术进步偏向的影响。

$$\ln IBias_{KL_{it}} = \beta_0 + \beta_1 \ln price_{it1} + \chi \ln Z_{it} + \delta_t + t_i + \mu_{it} \quad (11)$$

$$\ln IBias_{KL_{it}} = \beta_0 + \beta_1 \ln price_{it2} + \chi \ln Z_{it} + \delta_t + t_i + \mu_{it} \quad (12)$$

$$\ln IBias_{KL_{it}} = \beta_0 + \beta_1 \ln price_{it3} + \chi \ln Z_{it} + \delta_t + t_i + \mu_{it} \quad (13)$$

计量模型(11)、(12)和(13)中的被解释变量 $IBias_{KL_{it}}$ 为26个省份 i 在 t 年(2004—2018)粮食生产的机械偏向型技术进步指数^②。核心解释变量 $price_{itj}$ 为要素相对价格, 模型(11)的核心解释变量 $price_{it1}$ 为购置农机具与劳动力之间的要素相对价格, 模型(12)的核心解释变量 $price_{it2}$ 为农机服务与劳动力之间的要素相对价格, 模型(13)的核心解释变量 $price_{it3}$ 为农机服务要素相对价格与农机购置要素相对价格的比值。 Z_{it} 为控制变量, β_0 、 β_1 和 β_2 为待估计系数, χ 为控制变量的待估计系数向量, δ_t 为省际效应, t_i 为时间效应, μ_{it} 为随机误差; 这些变量均取自然对数。

3. 变量说明、来源及描述性统计

(1)被解释变量:机械偏向型技术进步指数。本文以粮食生产的机械化进程为例, 采用粮食生产机械偏向型技术进步指数来衡量, 根据超越对数随机前沿生产函数的估计结果测算得到。

(2)解释变量:要素相对价格。根据诱致技术变迁理论, 要素相对价格的变化对技术进步偏向产

① 中国农户粮食生产存在化肥施用过量的问题^[32], 故暂不考虑生物技术进步的影响。

② 本文主要研究要素相对价格对机械偏向型技术进步的影响, 被解释变量根据 Khanna 的技术进步偏向指数公式^[33]计算得出, 选取技术进步偏向指数大于0的省份作为样本。

生诱导作用。在中国的实际国情中,农户生产中投入的机械要素实际包括机械购置和机械服务外包两种方式,因此要素相对价格的变化需要同时考虑不同机械要素使用方式的影响。本文的要素相对价格包括以下三种形式:① $price_{i1} = \frac{machpri_{it}}{labor_{it}}$ 表示农机购置与劳动力的相对价格;② $price_{i2} = \frac{serpri_{it}}{labor_{it}}$

表示农机服务与劳动力的相对价格;③ $price_{i3} = \frac{price_{i2}}{price_{i1}}$ 表示同时考虑农机服务和农机购置情景下与

劳动力形成的相对价格。以上三个相对价格中, $machpri_{it}$ 为省份*i*在*t*年购置农机的价格,采用农业生产资料机械化农具价格指数作为衡量指标; $serpri_{it}$ 为省份*i*在*t*年农机作业服务的价格,采用农业生产服务价格指数作为衡量指标;机械化农具价格指数、农业生产服务价格指数均以2004年为基期进行价格指数平减。 $labor_{it}$ 为省份*i*在*t*年的劳动力价格,为了反映劳动力市场对价格的影响,本文采用雇佣劳动日工价作为劳动力价格的替代指标,以2004年为基期根据农村居民消费价格指数进行平减。

(3)控制变量。本文选取了一系列影响技术进步偏向的因素作为控制变量,具体包括:①地区经济发展水平,选取农村居民人均纯收入实际数衡量各省农村地区经济发展水平的差异。②粮食种植结构,本文参考Gong的研究^[34],采用各省份稻谷、小麦、玉米产量分别在各省三种粮食作物产量之和的比重来衡量粮食种植结构。③生产设备投入,采用农村住户固定资产投资中生产设备的投资金额作为衡量指标。④人力资本水平,选取乡村人均人力资本存量数据衡量各省农村人力资本水平的差异^①。⑤农业科研投入水平,以农业科技存量占农业总产值的比重作为衡量指标;借鉴李强等的方法^[35],选取农业科研投入经费积累形成的存量累加成农业科技存量。⑥人均农机化作业面积,用各省份历年机耕、机播、机电灌溉、机械植保和机收面积之和除以乡村人口作为替代指标。⑦人均耕地面积,用各省份耕地面积除以乡村人口计算得出。⑧粮食生产地位,参考郑旭媛等的研究,选取各省份历年粮食人均占有量作为替代指标^[11]。⑨固定资产投资,选取各省份历年农村居民人均固定资产投资向农业的金额作为替代指标。⑩粮食生产的比较效益,采用历年各省份经济作物与粮食作物的成本利润率之差作为代理变量。

本文选取2004—2018年中国26省份粮食生产相关指标建立面板数据^②,数据来源主要有以下统计年鉴:《中国农村统计年鉴》《中国农业机械工业年鉴》《全国农产品成本收益资料汇编》等。具体指标及描述性统计见表1。

四、模型估计结果与分析

1. 粮食生产技术进步偏向指数的测算

本文采用广义似然率统计量*LR*对超越对数随机前沿生产函数进行模型设定合理性检验(如表2)。 γ 值为0.961且在1%的水平上显著,说明技术无效率情况明显存在,有必要采用随机前沿分析方法。在生产函数形式选择上,超越对数生产函数比C-D生产函数更能表达生产函数意义。极大似然估计值和*LR*检验值表明超越对数生产函数模型的解释力更为理想。总体方差 σ^2 值为0.059,表明误差项和无效率项虽然存在一定的波动幅度,但并不大。因此,选用超越对数随机前沿模型可以很好地刻画粮食生产的特征与变化。

表3列出了2004—2018年粮食生产机械偏向型技术进步偏向指数与要素相对价格的结果。测

① 数据来源于中央财经大学中国人力资本与劳动经济研究中心人力资本指数项目《人力资本报告2019》,其中2018年数据根据前三年年均增长率推算。

② 26个省份具体包括:河北、山西、内蒙古、吉林、辽宁、黑龙江、江苏、浙江、安徽、福建、广东、广西、海南、江西、山东、河南、湖北、湖南、重庆、四川、贵州、云南、陕西、甘肃、宁夏、新疆。考虑到粮食生产的特性以及相关数据的可获得性,因此未将北京、天津、上海、青海、西藏、港澳台地区纳入研究。有17个样本的技术进步偏向指数测算结果小于0,本研究机械偏向型技术进步偏向指数大于0的情况,故剔除这17个样本后得到373个样本量。

表1 变量说明与描述性统计

变量类型	变量名称	样本量	均值	方差	最小值	最大值
产出变量						
	粮食产量/万吨	390	2166.467	1500.996	88.470	7506.800
投入变量						
	劳动/万	390	385.708	238.748	23.168	1204.023
	土地/千公顷	390	4187.131	2674.351	244.700	14214.540
	化肥/万吨	390	140.236	98.966	3.412	554.298
	机械/万千瓦	390	2356.971	2030.301	168.617	9072.852
被解释变量						
	机械偏向型技术进步指数	373	0.096	0.206	0.020	3.209
解释变量						
	机械购置与劳动的相对价格	373	2.758	1.596	0.889	8.656
	农机服务与劳动的相对价格	373	4.079	3.198	0.889	18.849
	农机服务与机械购置的相对价格	373	1.364	0.443	0.809	3.053
控制变量						
	地区经济发展水平/(元/人)	373	7.572	4.314	1.722	27.302
	生产设备投入/亿元	373	63.631	94.483	0	849.000
	稻谷产量占比	373	0.465	0.365	0	1.000
	粮食种植结构 小麦产量占比	373	0.180	0.194	0	0.638
	玉米产量占比	373	0.354	0.270	0.003	0.914
	人力资本水平/千元	373	100.267	44.398	34.400	260.230
	农业科研投入水平	373	49.712	62.884	0.565	428.091
	人均农机化作业面积/(公顷/人)	373	11837.19	10337.09	311.82	53478.00
	粮食生产地位/(千克/人)	373	433.440	227.721	103.200	1565.800
	人均耕地面积/(公顷/人)	373	0.223	0.159	0.051	0.981
	固定资产投入/(元/人)	373	1052.029	1538.183	24.600	9810.370
	粮食生产比较效益/%	373	10.323	25.079	-52.128	124.700

注:粮食种植结构分别采用各省稻谷、小麦、玉米产量占各省份三种粮食作物产量之和的比重来衡量。

表2 超越对数生产函数随机前沿参数估计结果

变量	系数	t值	变量	系数	t值
截距项	4.4846**(1.4831)	3.0239	lnL×lnA	0.1100(0.0993)	1.1080
lnL	-0.5713(0.4268)	-1.3388	lnL×lnF	-0.4934*** (0.0794)	-6.2177
lnA	1.2221** (0.4366)	2.7989	lnL×lnK	0.0931* (0.0513)	1.8152
lnF	-0.3007(0.5725)	-0.5253	lnA×lnF	0.3959*** (0.1136)	3.4851
lnK	-0.5891(0.4083)	-1.4427	lnA×lnK	0.0101(0.0933)	0.1081
T	-0.0967*** (0.0217)	-4.4655	lnF×lnK	0.0596(0.0824)	0.7235
1/2lnL ²	0.2612** (0.0917)	2.8483	lnL×T	-0.0068* (0.0038)	-1.7927
1/2lnA ²	-0.4206*** (0.1236)	-3.4022	lnA×T	0.0224*** (0.0051)	4.4114
1/2lnF ²	-0.0399(0.1420)	-0.2807	lnF×T	-0.0114*** (0.0043)	-2.6556
1/2lnK ²	-0.0433(0.0809)	-0.5350	lnK×T	0.0005(0.0036)	0.1484
1/2T ²	0.0008(0.0005)	1.6229	time	0.0277*** (0.0050)	5.4993
σ ²	0.0594** (0.0221)	2.6922	γ	0.9610*** (0.0159)	60.2717
μ	0.1937* (0.1026)	1.8886	对数似然函数值 556.8794		
LR 检验值 597.8					

注:***、**和*分别表示1%、5%、10%的水平上显著,括号内为标准误差;后表同。

算结果均取关键指标的年均值进行呈现,具体包括2004—2018年粮食生产技术效率,劳动和机械投入要素的产出弹性、边际产出率,机械偏向型技术进步指数,机械购置与劳动的相对价格、农机服务与劳动的相对价格、农机服务与机械购置的相对价格。测算结果显示,2004—2018年粮食生产的技术效率逐年提升,由2004年的0.611逐渐提高到2018年的0.721。劳动要素的产出弹性逐年下降,由2004年的0.281逐渐下降至2018年的0.086;与此同时,劳动要素的边际产出率也在逐年下降,从2004年的1.206逐渐下降至0.289。机械要素的产出弹性呈逐年上升的趋势,由2004年的-0.024逐渐上升至0.039;机械要素的边际产出率从2004年的-0.056逐渐上升至0.026。这说明增加劳动要素投入很难带来产出增长,增加机械要素投入有利于产出增加。劳动与机械要素在产出弹性与边际产出率的变化趋势上呈现出反向变动,说明劳动与机械要素投入之间存在明显替代关系,与现有大量研究结论一致。表中所列三种形式的要素相对价格均以平减后的价格指数测算出比值,要素相对价格均呈现逐年递增趋势,与2004—2018年粮食生产的机械偏向型技术进步指数递增趋势一致。值得注意的是,农机服务与劳动的相对价格变化幅度更为明显。

表3 2004—2018年粮食生产技术进步偏向指数

年份	技术效率	劳动要素 产出弹性	机械要素 产出弹性	机械偏向型 技术进步指数	机械购置与劳 动的相对价格	农机服务与劳 动的相对价格	农机服务与机械 购置的相对价格
2004	0.611	0.281	-0.024	0.037	1.325	1.325	1.000
2005	0.620	0.259	-0.012	0.041	1.386	1.433	1.031
2006	0.628	0.247	-0.007	0.043	1.456	1.576	1.079
2007	0.637	0.233	0.003	0.047	1.475	1.723	1.167
2008	0.645	0.208	0.014	0.057	1.644	1.677	1.022
2009	0.653	0.195	0.021	0.067	1.746	2.231	1.275
2010	0.661	0.185	0.026	0.161	1.921	2.536	1.317
2011	0.669	0.163	0.034	0.061	2.338	3.209	1.363
2012	0.677	0.152	0.039	0.065	2.704	3.915	1.445
2013	0.685	0.141	0.040	0.152	3.068	4.712	1.529
2014	0.692	0.127	0.045	0.052	3.394	5.372	1.589
2015	0.700	0.115	0.049	0.096	4.029	6.562	1.644
2016	0.707	0.108	0.037	0.052	4.585	7.590	1.679
2017	0.714	0.098	0.040	0.108	5.369	8.909	1.685
2018	0.721	0.086	0.039	0.071	5.956	9.974	1.698

2. 不同机械使用方式下要素相对价格对粮食生产技术进步偏向的诱导

表4为计量模型(11)、(12)和(13)的参数估计结果。由于分析数据为大 N 小 T 的短面板,因此不需要进行面板单位根检验^[36-37]。首先对面板数据模型进行Hausman检验,结果分别为30.31、34.5、80.36,均在1%显著性水平上拒绝原假设,认为计量模型(11)、(12)和(13)均应该使用固定效应模型。考虑到模型可能存在潜在的内生性,比如控制变量中地区经济发展水平、人力资本水平、固定资产投资、粮食生产地位等因素与技术进步偏向之间互为因果。为了避免内生性问题导致的估计结果偏误,本文通过以下策略来处理内生性问题:①采用Bai的面板交互固定效应模型来缓解可能存在的内生性问题^[38],在固定效应模型中不仅控制地区效应和时间效应,同时还通过控制地区和时间的交互项来避免地区和时间的交叉影响。②模型中的解释变量采用滞后一期的前定变量,滞后变量有助于在一定程度上缓解内生性。

表4的估计结果显示方程(1)中机械购置与劳动力的相对价格 $price_1$ 的系数为负,但是在统计上并不显著,说明在2004—2018年之间,购置农机的价格与劳动力的要素相对价格对技术进步偏向的形成未产生明显的直接诱导作用。农业生产的周期性和季节性决定了要素市场价格波动往往会滞后,不能及时反映市场供求状况。我国农村劳动力市场深受城镇化进程的影响,劳动要素市场相对机械购置的市场而言价格变化更加灵敏,机械与劳动的要素相对价格在诱导技术进步偏向的机制中

表4 要素相对价格诱导粮食生产技术进步偏向的估计结果

粮食生产机械偏向型技术进步指数	(1)	(2)	(3)
机械购置价格 / 雇佣劳动日工价	-0.0104 (0.0304)		
农机服务价格 / 雇佣劳动日工价		-0.0354** (0.0166)	
农机服务价格 / 机械购置价格			-0.4552*** (0.1550)
地区经济发展水平	0.3727*** (0.1341)	0.3509** (0.1415)	0.2055 (0.1399)
小麦产量占比	-0.0893 (0.1654)	-0.0463 (0.1696)	-0.1305 (0.1593)
玉米产量占比	0.8899*** (0.1419)	0.9122*** (0.1433)	0.7639*** (0.1435)
人力资本水平	0.1842* (0.1037)	0.2386** (0.1104)	0.2888*** (0.1062)
农业科研投入水平	-0.1426*** (0.0294)	-0.1541*** (0.0305)	-0.1398*** (0.0283)
人均机械化作业面积	0.0719 (0.0457)	0.0505 (0.0463)	0.0720 (0.0443)
农村人均固定资产投资向农业金额	0.0627*** (0.0218)	0.0790*** (0.0229)	0.0658*** (0.0200)
人均粮食占有量	0.1068 (0.0889)	0.0609 (0.0928)	0.0874 (0.0859)
粮食生产的比较效益	0.0382 (0.0232)	0.0364 (0.0231)	0.0418* (0.0228)
人均耕地面积	-2.5556*** (0.4088)	-2.4647*** (0.4157)	-2.2824*** (0.4130)
生产设备投入	-0.0231* (0.0126)	-0.0232* (0.0130)	-0.0179 (0.0124)
地区效应	YES	YES	YES
时间效应	YES	YES	YES
地区×时间效应	YES	YES	YES
常数项	-7.8696*** (1.0203)	-7.7078*** (1.0652)	-6.4759*** (1.1042)
F 检验统计量	1167.14***	883.22***	1322.74***

只考虑购置农机具的价格是不够的。方程(2)的结果显示农机服务与劳动要素的相对价格对技术进步偏向产生显著负向影响,说明农机服务与劳动力之间的相对价格变化对技术进步偏向的形成产生了显著的诱导作用。方程(3)的结果显示农机服务与机械购置的要素相对价格之比 $price_3$ 的系数在1%的显著性水平上为负,说明同时将购置农机具和农机服务的价格考虑进来以后,要素相对价格对粮食生产机械偏向型技术进步产生显著的诱导作用。诱导效应为-0.4552%,在绝对值上比农机服务的诱导效应-0.0354%更大,系数的显著性水平也更高,说明农机服务外包的要素相对价格对诱导技术进步偏向的形成具有明显的叠加效应。由此可见,购置农机具的要素相对价格对技术进步偏向的直接诱导作用并不明显,而服务外包方式的要素相对价格对技术进步偏向的形成产生明显诱导作用。我国粮食生产机械投入偏向型的技术进步主要通过农机服务外包的方式发挥诱导作用。

从方程(1)、(2)和(3)的结果对比中可以发现,中国2004年以来26个省份粮食生产技术进步偏向的形成机制基本符合诱致技术变迁理论的描述,但也呈现出一些新的结论。结合中国实际,将机械要素投入方式划分为购置农机具和农机服务外包两个方面以后,发现购置农机具的价格与劳动要素的相对价格对技术进步偏向的直接诱导作用并不显著,而农机服务与劳动要素的相对价格则对技术进步偏向产生明显的诱导作用。同时,本文还发现农机服务外包与农机具购置之间形成的“机械要素使用方式的相对价格”进一步促进机械偏向型技术进步的形成。表明我国农机服务相对价格直接诱致了粮食生产机械偏向型技术进步,农业机械购置价格则通过服务外包的路径对技术进步偏向产生间接影响。这是因为在小规模经营的国情下,农机服务和劳动要素的相对价格,比购置农机具和劳动要素的相对价格具有更加明显的价格优势和使用上的经济合理性,农机服务对技术进步偏向产生了叠加的诱导作用。上述研究结果的理论价值在于从两个方面验证了诱致技术变迁理论的内涵。一方面,要素相对价格对技术进步偏向的诱导不仅受到(机械)要素自身相对价格的作用,要素使用方式(农机服务外包)也会通过相对价格对技术进步偏向产生诱导作用;另一方面,要素禀赋条

件的不同决定了诱致性技术进步的实现方式有所不同,在超小土地经营规模条件下外包服务可能是诱导机械偏向型技术进步的主要方式。

3. 稳健性检验

本文采用替换指标的方法进行稳健性检验,将劳动力价格的衡量指标替换为农户家庭劳动日工价,采用农村居民消费价格指数进行平减,对要素相对价格诱导技术进步偏向的作用机制进行稳健性检验。采用系统GMM方法对计量模型(11)、(12)和(13)进行参数估计,表5的结果显示机械购置与劳动日工价的相对价格对技术进步偏向不产生直接诱导作用,农机服务与劳动日工价的要素相对价格对技术进步偏向产生明显的诱导作用,农机服务与农机购置的相对价格对技术进步偏向的诱导具有叠加效应,从而验证上述研究结论具有一定稳健性。

表5 农机服务视角下要素相对价格诱导粮食生产机械偏向型技术进步的稳健性检验

粮食生产机械偏向型技术进步指数	(1)	(2)	(3)
机械购置价格/家庭劳动日工价	-0.0114 (0.0257)		
农机服务价格/家庭劳动日工价		-0.0589** (0.0259)	
农机服务价格/机械购置价格			-0.1308*** (0.0432)
控制变量	控制	控制	控制
常数项	1.4467 (1.2150)	1.1113 (1.2523)	1.1893 (1.3526)
观测值	390	390	390
Wald检验P值	0.000	0.000	0.000
AR(1)检验P值	0.003	0.003	0.003
AR(2)检验P值	0.250	0.210	0.199
Hansen检验 χ^2 值	12.92	14.15	14.87
Hansen检验P值	1.000	1.000	1.000

五、结论与启示

本文以大国小农背景下的粮食生产机械化进程为例,基于诱致技术变迁分析框架探索农机对劳动的替代,与农机服务对劳动的替代在诱导技术进步偏向形成中存在的差异。文章采用超越对数随机前沿分析方法测算出2004—2018年26个省份粮食生产机械投入偏向型技术进步指数。选取农业生产服务价格指数、机械化农具价格指数、雇佣劳动日工价作为农机服务、农机购置、劳动要素价格的替代指标,验证了两种不同机械使用方式下要素相对价格对技术进步偏向的诱导作用。研究的主要结论是:(1)2004—2018年我国粮食生产的机械偏向型技术进步主要是由农机服务外包的生产方式带动。主要原因是与购置农机相比,小农户通过农机服务外包不仅节约劳动力,还能促进规模经济的技术进步。(2)购置农机具与劳动力的相对价格,对技术进步偏向的直接诱导作用并不明显,农机服务与劳动力的相对价格则产生显著的诱导作用。(3)同时考虑两种机械使用方式发现,农机服务外包与购置农机具的相对价格对技术进步偏向的诱导作用显著提升,农机服务外包对技术进步偏向的形成产生叠加效应。

在小农户长期存在的国情下,服务规模经营是中国农业走向现代化的发展方向之一^[39],农机服务外包对诱导技术进步偏向的叠加效应是促进小农户与现代农业有机衔接的重要机制。基于研究结论本文得出如下启示:(1)加快培育农机服务要素市场,全面推进粮食生产全环节服务外包;做好农机服务市场的整体规划和统筹安排,实现农机服务要素市场协调发展。(2)规范农机服务市场价格,大力发挥要素价格调节需求的经济杠杆作用;进一步完善农机服务市场的价格形成机制,促使农机服务始终保持低成本价格优势,进而引导农户的技术采纳决策。(3)在农机补贴政策上向大中型农机具和农机服务主体倾斜,鼓励小农户通过农机服务外包的方式迂回使用机械技术。(4)统一规划和安

排粮食作物生产,形成连片化种植,规范机械操作流程和种植标准,降低农机服务作业的考核和监督成本。

参 考 文 献

- [1] 速水佑次郎,弗农·拉坦.农业发展的国际分析[M].郭熙保,张进铭,译.北京:中国社会科学出版社,2000.
- [2] LU L, REARDON T, ZILBERMAN D. Supply chain design and adoption of indivisible technology[J]. *American journal of agricultural economics*, 2016, 98(5): 1419-1431.
- [3] 仇叶. 小规模土地农业机械化的道路选择与实现机制——对基层内生机械服务市场的分析[J]. *农业经济问题*, 2017, 38(2): 55-64.
- [4] 胡新艳, 杨晓莹, 吕佳, 等. 服务外包与我国南方地区农业机械化发展——理论逻辑与经验分析[J]. *中国农业资源与区划*, 2016, 37(3): 162-168.
- [5] 芦千文, 吕之望, 李军. 为什么中国农户更愿意购买农机作业服务——基于对中日两国农户农机使用方式变迁的考察[J]. *农业经济问题*, 2019(1): 113-124.
- [6] 胡瑞法, 黄季焜. 农业生产投入要素结构变化与农业技术发展方向[J]. *中国农村观察*, 2001(6): 9-16.
- [7] 吴丽丽, 李谷成, 周晓时. 要素禀赋变化与中国农业增长路径选择[J]. *中国人口·资源与环境*, 2015, 25(8): 144-152.
- [8] 尹朝静, 付明辉, 李谷成. 技术进步偏向、要素配置偏向与农业全要素生产率增长[J]. *华中科技大学学报(社会科学版)*, 2018, 32(5): 50-59.
- [9] 陈书章, 宋春晓, 宋宁, 等. 中国小麦生产技术进步及要素需求与替代行为[J]. *中国农村经济*, 2013(9): 18-30.
- [10] 杨福霞, 徐江川, 青平. 中国小麦生产的技术进步诱因: 投资驱动抑或价格诱导[J]. *农业技术经济*, 2018(9): 100-111.
- [11] 郑旭媛, 徐志刚. 资源禀赋约束、要素替代与诱致性技术变迁——以中国粮食生产的机械化为例[J]. *经济学(季刊)*, 2017, 16(1): 45-66.
- [12] WANG X, YAMAUCHI F, HUANG J. Rising wages, mechanization, and the substitution between capital and labor: evidence from small scale farm system in China[J]. *Agricultural economics*, 2016, 47(3): 309-317.
- [13] ZHANG X, YANG J, THOMAS R. Mechanization outsourcing clusters and division of labor in Chinese agriculture[J]. *China economic review*, 2017, 43: 184-195.
- [14] 芦千文, 吕之望. 中国农机作业服务体系的形成、演变与影响研究[J]. *中国经济史研究*, 2019(2): 124-135.
- [15] 纪月清, 钟甫宁. 非农就业与农户农机服务利用[J]. *南京农业大学学报(社会科学版)*, 2013, 13(5): 47-52.
- [16] 吴丽丽, 李谷成, 周晓时. 家庭禀赋对农户劳动节约型技术需求的影响——基于湖北省490份农户调查数据的分析[J]. *湖南农业大学学报(社会科学版)*, 2017, 18(4): 1-7.
- [17] 蔡键, 唐忠. 华北平原农业机械化发展及其服务市场形成[J]. *改革*, 2016(10): 65-72.
- [18] 毛慧, 曹光乔. 作业补贴与农户绿色生态农业技术采用行为研究[J]. *中国人口·资源与环境*, 2020, 30(1): 49-56.
- [19] 戴天仕, 徐现祥. 中国的技术进步方向[J]. *世界经济*, 2010, 33(11): 54-70.
- [20] 刘岳平, 钟世川. 技术进步方向、资本-劳动替代弹性对中国农业经济增长的影响[J]. *财经论丛*, 2016(9): 3-9.
- [21] 付明辉, 祁春节. 要素禀赋、技术进步偏向与农业全要素生产率增长——基于28个国家的比较分析[J]. *中国农村经济*, 2016(12): 76-90.
- [22] 罗慧, 赵芝俊. 偏向性技术进步视角下中国粳稻技术进步方向及其时空演进规律[J]. *农业技术经济*, 2020(3): 42-55.
- [23] 陈苏, 胡浩, 傅顺. 要素价格变化对农业技术进步及要素替代的影响——以玉米生产为例[J]. *湖南农业大学学报(社会科学版)*, 2018, 19(3): 24-31.
- [24] FARRELL M J. The measurement of productive efficiency[J]. *Journal of the royal statistical society*, 1957, 120(3): 253-290.
- [25] BINSWANGER H P. The measurement of technical change biases with many factors of production[J]. *American economic review*, 1974, 64(6): 964-976.
- [26] 速水佑次郎. 发展经济学——从贫困到富裕[M]. 李周, 译. 北京: 社会科学文化出版社, 2003.
- [27] 林毅夫. 制度、技术与中国农业发展[M]. 上海: 上海人民出版社, 2005.
- [28] HICKS J R. The theory of wages[M]. London: Springer, 1963.
- [29] ROBINSON J. The classification of inventions[J]. *Review of economic studies*, 1938, 5(2): 139-142.
- [30] ACEMOGLU D. Equilibrium bias of technology[J]. *Econometrica*, 2007, 75(5): 1371-1409.
- [31] 中国机械工业年鉴编辑委员会, 中国农业机械工业协会. 中国农业机械工业年鉴[M]. 北京: 机械工业出版社, 2019.
- [32] 张云华, 彭超, 张琛. 氮元素施用与农户粮食生产效率: 来自全国农村固定观察点数据的证据[J]. *管理世界*, 2019, 35(4): 109-119.

- [33] KHANNA N. Analyzing the economic cost of the Kyoto Protocol[J]. *Ecological economics*, 2001, 38(1):59-69.
- [34] GONG B. Agricultural reforms and production in China: changes in provincial production function and productivity in 1978—2015 [J]. *Journal of development economics*, 2018, 132:18-31.
- [35] 李强, 刘冬梅. 我国农业科研投入对农业增长的贡献研究——基于1995—2007年省级面板数据的实证分析[J]. *中国软科学*, 2011(7):47-54, 86.
- [36] ANDERSON T W, CHENG H. Formulation and estimation of dynamic models using panel data[J]. *Journal of econometrics*, 1982, 18(1):47-82.
- [37] BAI J. Estimating cross-section common stochastic trends in nonstationary panel data[J]. *Journal of econometrics*, 2004, 122(1):137-183.
- [38] BAI J. Panel data models with interactive fixed effects[J]. *Econometrica*, 2009, 77(4):1229-1279.
- [39] 罗必良. 小农经营、功能转换与策略选择——兼论小农户与现代农业融合发展的“第三条道路”[J]. *农业经济问题*, 2020(1):29-47.

Relative Prices of Factors, Agricultural Machinery Service and Biased Technological Progress

——An Example of the Mechanization of Grain Production

ZHANG Li, LI Rong

Abstract The theory of induced technological change emphasizes the guiding effect of relative price changes of factors on technological progress. In view of the fact that agricultural machinery service outsourcing has become the basic direction of grain production mechanization in big countries with small farmers. Therefore, the relative price of mechanical service and labor will play an important role in inducing the skewed technological progress in the process of replacing labor with machinery. This paper calculated the technological progress bias index of grain production in 26 provinces from 2004 to 2018 by using the method of trans-log stochastic frontier analysis. Research findings are as follows: 1) the direct induction effect of relative price of purchasing agricultural machinery and labor on the mechanical technological progress is not significant, while the relative price of agricultural machinery service and labor had an obvious induced effect; 2) the superposition effect of agricultural machinery service outsourcing production on inducing technological progress bias is an important mechanism to promote the organic connection between small farmers and modern agriculture. This paper argues that the policy of agricultural machinery subsidy should be tilted towards the main body of agricultural machinery service and the price formation mechanism of agricultural machinery service market should be gradually improved. In addition, exploring the difference between the substitution of agricultural machinery for labor and the substitution of agricultural machinery service for labor based on the analysis framework of induced technological change can provide feasible operation for the policy design of agricultural technological progress in China.

Key words agricultural machinery service; biased technology progress; induced technological change; agricultural machinery purchase; relative price

(责任编辑:陈万红)