

# 农机服务对小麦生产技术效率有影响吗？

胡 祎 张正河

**摘要：**本文基于 2000~2015 年中国 15 个小麦主产省的成本收益数据，运用超越对数随机前沿模型测算各省份小麦生产的技术效率，再用 Tobit 模型检验农机服务使用水平对小麦生产技术效率的影响，并解释农机服务提高小麦生产技术效率的原因。研究表明：①2000~2015 年，中国小麦生产技术效率总体递增，但区域间发展不平衡；②在中国当前农业生产环境下，充分利用农机服务能显著提高小麦生产的技术效率，且不同地区的提升效果存在差异；③农机服务提高农业效率的动力来源于科技引入效应与劳动替代效应，前者以外包服务的形式将先进技术引入农业生产环节，后者通过保障农业劳动完成质量避免了当前农村因劳动力不足以及农户“偷工减料”而造成的技术效率损失。

**关键词：**农机服务 技术效率 小麦生产 剩余劳动力

**中图分类号：**F304.7 **文献标识码：**A

## 一、引言

发达国家的历史经验表明，农业机械化是实现农业现代化的重要前提和标志（张桃林，2012）。改革开放以来，中国农业机械化快速发展，极大提高了中国农业的物质装备和科学技术水平，推动了农业现代化的发展（曹阳、胡继亮，2010）。进入 21 世纪，随着中国加入 WTO 等一系列重大举措的实施，中国农业竞争力面临更为严峻的考验。在此环境下，如何通过农机服务解决小农户“买不起、用不好”农业机械的问题，将小农户与现代农业对接，从而提高小农户的生产效率，增强中国农业竞争力，成为中国农业部门关注的重点。

在一系列政策的支持和鼓励下，近年来中国农机服务取得了较大的进步和发展。2015 年，中国小麦机耕、机播、机收的面积比例分别达到 89.78%、86.72%和 93.03%<sup>①</sup>，这些机械作业绝大部分是以外包服务的形式完成的。为满足大批量的农机服务需求，中国目前农机作业服务组织已达到 17.51

<sup>①</sup>数据来源：中国机械工业年鉴编辑委员会、中国农业机械工业协会（编），2016：《中国农业机械工业年鉴 2016》，北京：机械工业出版社。

万个，从业人数达到 189.48 万人<sup>①</sup>。培育新型农业服务主体，构建主体多元、竞争充分、分工协作的新型农业服务供给格局，已经成为与培育新型农业经营主体同样重要的发展目标（杜志雄、刘文霞，2017）。

虽然农机服务在中国农业现代化进程中扮演着重要的角色，但对于农机服务的功能和定位，学界并未形成统一的认识。一部分学者从生产性服务的角度研究了农机服务对农业生产的影响，认为农机服务是一类新的投入品，能对农业劳动力形成有效替代，对中国农业生产具有积极作用（廖西元等，2011；王志刚等，2011；蔡荣、蔡书凯，2014）。根据这一观点，近年中国农民工回流现象应当使农机服务的需求有所下降，但事实却相反，农民工回流并未阻碍农户继续使用农机服务，农机服务依然蓬勃发展。那么，为何农户在劳动力充足的情况下依然选择农机服务？农机服务是否对农业生产技术效率存在影响？

众多学者对中国农户购买农机服务的行为和效应展开了细致的研究，发现农户兼业情况、地形地貌、地区农业生产性服务发展水平是影响农户购买农机服务决策的关键因素，非农就业比例高、土地平整、获取服务成本低的农户更倾向于使用农机服务（纪月清、钟甫宁，2013；宋海英、姜长云，2015；许秀川等，2017）。在农机服务是否能提高农业效率的问题上，学者们基于不同的样本数据，得出了不一致的结论。一部分学者通过对微观农户生产效率的研究发现，农户农机服务使用水平对其技术效率存在显著的正向影响（周宏等，2014；孙顶强等，2016）。原因可归结为两点：一是农户购买农机服务能有效缓解家庭劳动力不足的问题；二是农机服务标准化程度高，易于监管，不易发生“偷工减料”的道德风险。另一部分学者则持不同观点（陈超等，2012；张忠军、易中懿，2015），认为促使生产性服务提高农户技术效率的关键在于技术服务，而非机械服务，农机服务是对人工劳动的替代，但并不能使农户在同样的投入下得到更多产品，技术服务则能做到这一点。还有部分学者从劳动分工的角度考察了农机服务对农业生产的影响，认为农机服务本质上属于雇工劳动，而雇工与家庭自用工是异质性的，雇工的生产率要显著低于家庭自用工，因此，农机服务可能存在效率损失（Coelli and Battese，1996；孙新华，2013）。

现有文献深入研究了农机服务对农业效率的影响，但依然存在两方面的缺陷：一是此类实证研究多是直接构建了农机服务与农业效率的关系，缺少对影响路径和影响机制的分析；二是大多数研究是基于地方性数据，缺少从全国层面的考察，估计结果可能存在偏差。鉴于此，本文将应用 2000~2015 年中国 15 个小麦主产省的成本收益数据，采用超越对数随机前沿模型（Translog-SFA）测算各省份小麦生产的技术效率，并比较区域间差异。在此基础上，本文将采用 Tobit 模型检验农机服务使用水平对小麦生产技术效率的影响，考察影响小麦生产技术效率的科技引入和劳动替代两种效应，并解释农机服务提高农业效率的原因。

本文余下内容安排如下：第二部分从理论角度分析农机服务影响农业效率的机制，提出研究假

<sup>①</sup>数据来源：中国机械工业年鉴编辑委员会、中国农业机械工业协会（编），2016：《中国农业机械工业年鉴 2016》，北京：机械工业出版社。

说；第三部分介绍本文使用的数据来源，以及实证分析所采用的模型与相关变量设定；第四部分讨论估计结果；第五部分概括本文的主要结论。

## 二、理论分析

农机服务的概念有广义和狭义之分。广义的农机服务不仅包括农业产前、产中、产后的作业服务，还包括相关的衍生服务，例如农机维修、供应、技术推广、中介、信息、咨询、培训、租赁等有偿服务。狭义的农机服务则仅指产前、产中、产后的作业服务，主要分为两类：一类是纯粹的农业机械化服务，以农机服务合作社或服务公司为主体，购置农机，为其他农户提供机械化种植服务，连带病虫害的统防统治；另一类是种粮大户或散户购置农机，采用机械化种粮，在满足自身需要的基础上为周边的农户提供服务（许锦英、卢进，2000）。本文研究的是狭义的农机服务，并认为农机服务有助于提高小麦生产的技术效率，其动力来源于两个方面：一是对人工的替代效应，二是对科技的引入效应。

替代人工是农机服务最主要的作用。机械作业质量的一致性，保证了在农业劳动力不足时，农户依然可以保持较高的技术效率。在农村劳动力富余的情况下，每个农户的耕地面积较小，依靠人工精耕细作的作业质量要高于机械作业<sup>①</sup>，此时农机作业并不具有优势。这在一定程度上解释了新中国建国初期在限制人口自由流动的大环境下，农机服务未能快速发展的原因。随着农村劳动力流出，每个农户需要管理的耕地面积不断增大，由于精力有限，人工作业质量必然下降，而机械作业质量始终保持稳定。因此，必然存在某一特定的农村劳动力水平，在这一水平上机械作业质量和人工作业质量是一致的。当农村劳动力不足时，机械作业质量将超过人工作业质量，此时农户通过购买农机服务，可以在劳动力不足的情况下依然保持较高的技术效率。人工与机械的作业质量在不同农村劳动力水平下的变动如图 1 所示。

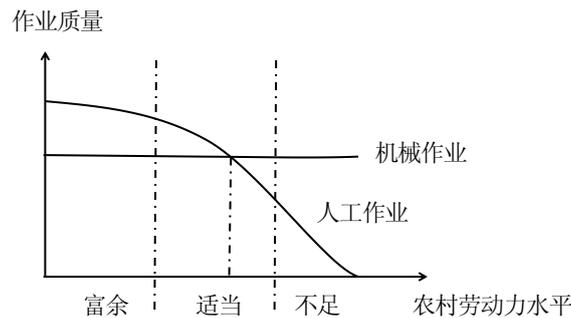


图 1 人工与机械作业质量比较

中国的城镇化吸引了大批农村劳动力进城务工，许多地区只剩下老人和妇女从事农业生产，加

<sup>①</sup>机械作业自身具有一定的缺陷，比如在农田中的不规则区域、田埂周围，机械难以处理，而人工作业则不会有这样的问题。

之农业成本的不断提高，农村普遍存在种“懒庄稼”<sup>①</sup>的现象（董欢、郭晓鸣，2014）。在中国农业劳动力大规模向非农部门转移的情况下，农机服务的劳动替代效应可以保证农业劳动完成质量不过分下降，从而间接实现农业生产技术效率的提高。

将新技术引入农业是农机服务的另一个重要作用。中国绝大多数农户属于小规模经营，小规模农户在农业技术获取上往往是被动的且缺乏积极性的。农机服务通过外包的形式，以为农服务的方式将先进技术输入农业生产过程，避免了直接向农户推广技术的难题。在犁地环节，人工作业与机械作业的效果差别不大；在播种环节，一般来说，机械播种比人工播种更均匀，更有益于作物生长；在病虫害防治环节，农户将打药任务外包给专业服务公司能够显著提高病虫害防治效率<sup>②</sup>；在收割环节，收割机和烘干机的使用能有效避免小麦产量和质量的损失<sup>③</sup>。因此，购买农机服务能显著提高小麦生产的技术水平。农机服务的科技引入效应在各个生产环节发挥的效果如图2所示。

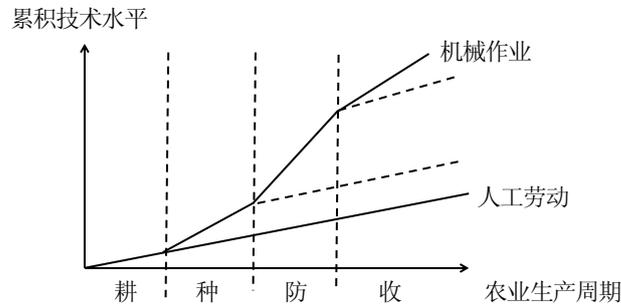


图2 人工作业与机械作业的累积技术水平比较

综合以上分析，可总结出当前阶段农机服务提高中国小麦生产技术效率的机制，如图3所示。在传统生产过程中，农户投入农资和劳动，获得产出，保持稳定的技术效率。随着城镇化的发展，传统生产模式受到冲击，农村人口向城镇迁移使得农村劳动力的数量和质量都出现下降，先进技术也缺少了进入农业的载体，农业生产效率开始下降。而农机服务能够弥补农业劳动力的不足，保证生产效率不会因劳动完成质量的下降而降低，农机服务还能作为载体将先进技术引入生产环节，从而节约成本、提高产量。

农村劳动力进城务工为农机服务的进入提供了契机。在人均种植规模较大、农村劳动力偏少的

<sup>①</sup>所谓种“懒庄稼”，即指农户对农业产量和质量没有过多追求，也不愿意投入较多资本和劳动进行农业生产，仅种植少量耕地，农产品只供自家消费的行为。

<sup>②</sup>农机服务提高病虫害防治效率的原因有三：一是机械喷洒药物比人工喷洒更均匀，效果更好；二是大面积整体喷防避免了害虫在不同地块间来回转移的风险；三是服务公司专业的农技人员可以为农户选择更合适的防治药物和制定更科学的防治计划。

<sup>③</sup>在小麦收割环节，如果没有烘干机，农户一般会将收割时间延后5天，以降低麦粒中的水分含量，便于收储。但过了最佳收割时间后，麦粒中的养分会逐渐向根部流动，麦粒的重量和营养成分日渐降低。农户购买烘干服务则能避免这一阶段的损失。

地区，农业劳动力格外欠缺，农户对农机服务的需求更迫切。农机服务在这一类地区得以优先发展，并提高当地农业生产的技术效率，即使农民工回流弥补了农业劳动力的空缺，农机服务的需求也不会过多下降。本文据此提出两个假说：

假说 1：在当前中国农村环境下，农机服务能够提高小麦生产的技术效率。

假说 2：农机服务提高技术效率的动力来源于科技引入效应和劳动替代效应。

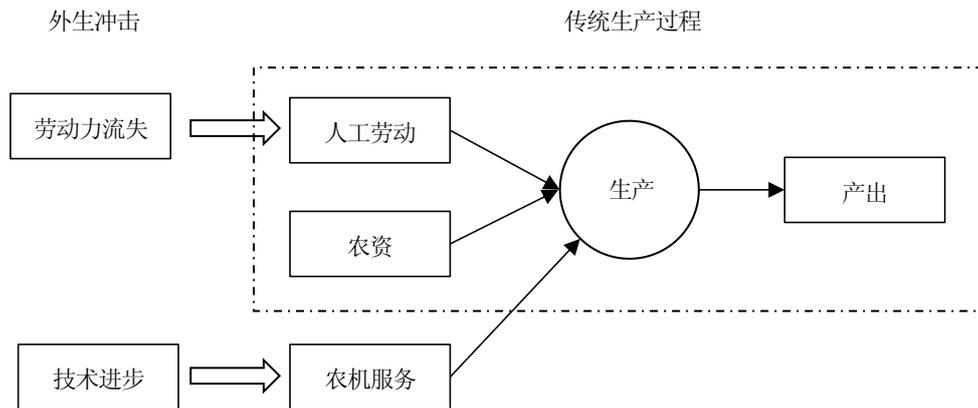


图3 农机服务影响小麦生产技术效率的机制

### 三、数据、模型与变量

#### （一）数据来源

本文选取 2000~2015 年中国 15 个小麦主产省的省级面板数据展开研究。分省份原始数据分别来自历年《中国统计年鉴》<sup>①</sup>、《中国农村统计年鉴》<sup>②</sup>、《全国农产品成本收益资料汇编》<sup>③</sup>、《中国农业机械工业年鉴》<sup>④</sup>及中国经济与社会发展统计数据库<sup>⑤</sup>。

本文选取河北、山西、内蒙古、黑龙江、河南、湖北、山东、江苏、安徽、陕西、甘肃、宁夏、新疆、云南、四川 15 个省份作为中国小麦种植的代表性省份进行考察。对小麦主产省的选择主要基于三方面考虑：一是各省份的小麦播种面积和产量。本文选取的 15 个小麦主产省 2016 年小麦播种总面积为 2347.97 万公顷，占全国总播种面积的 97.08%；小麦总产量为 12629.39 万吨，占全国总产量的 98.02%。二是现有文献的研究惯例。很多研究在测算中国小麦生产技术效率时也选取了与本文

<sup>①</sup>国家统计局（编）：《中国统计年鉴》（2001~2016 年，历年），北京：中国统计出版社。

<sup>②</sup>国家统计局农村社会经济调查司（编）：《中国农村统计年鉴》（2001~2016 年，历年），北京：中国统计出版社。

<sup>③</sup>国家发展和改革委员会价格司（编）：《全国农产品成本收益资料汇编》（2001~2016 年，历年），北京：中国统计出版社。

<sup>④</sup>中国机械工业年鉴编辑委员会、中国农业机械工业协会（编），2016：《中国农业机械工业年鉴 2016》，北京：机械工业出版社。

<sup>⑤</sup>中国经济与社会发展统计数据库：<http://cnki.heinfo.gov.cn/csydkns/navi/NaviSearch.aspx?code=G&type=trade&t=T>。

相同的 15 个省份（参见孙昊，2014；郝晓燕等，2016）。三是数据的可得性。本文主要数据来源《全国农产品成本收益资料汇编》仅对本文选取的 15 个省份的小麦投入产出数据进行了详细统计。15 个小麦主产省的分布如表 1 所示。

表 1 中国小麦主产省分布

地区	省份	地区	省份
东北	黑龙江	华东	安徽、江苏、山东
华北	河北、内蒙古、山西	华中	河南、湖北
西北	甘肃、宁夏、陕西、新疆	西南	四川、云南

本文用于测算各省份小麦生产技术效率和农机服务使用水平的数据，主要来源于《全国农产品成本收益资料汇编》。该年鉴是迄今为止在省级层面上最为详细的农业投入产出资料，详细记录了中国主要农产品生产投入种类、数量以及产量和价格的相关数据，尤其是其中关于农户租赁农机作业费用的记录，是其他资料未涉及的，为研究中国农机服务的发展提供了有力的数据支撑。该年鉴的数据采集方法是在各个省份随机设立超过 1000 个固定观察点，对农户投入产出数据进行收集，再进行平均化处理，得出各省份的投入产出水平。虽然平均处理的方法在一定程度上损失了数据的信息量，但所得平均数依然可以较好地代表各省份的总体水平；且从省级层面来看，该年鉴已是中国当前最权威、最详细的关于农业生产投入产出的记载。

## （二）理论模型

1. 超越对数 SFA 模型。在生产效率研究中，随机前沿生产函数分析方法被普遍应用于对技术效率的测算。该方法通过对前沿生产函数的拟合可以直接估计出生产的技术效率。本文以 Battese（1992）提出的随机前沿模型为基础，选择超越对数生产函数。该函数可作为一般的生产函数的二阶近似，从而避免了柯布—道格拉斯函数关于技术中性与产出弹性的假设，使分析更具有一般性。

模型的表达式为<sup>①</sup>：

$$\ln Q_{it} = \beta_0 + \beta_1 \ln K_{it} + \beta_2 \ln L_{it} + \beta_3 \ln S_{it} + \beta_{12} \ln K_{it} \ln L_{it} + \beta_{13} \ln K_{it} \ln S_{it} + \beta_{23} \ln L_{it} \ln S_{it} + \beta_{11} (\ln K_{it})^2 + \beta_{22} (\ln L_{it})^2 + \beta_{33} (\ln S_{it})^2 + \beta_4 t + \beta_5 t^2 + v_{it} - u_{it} \quad (1)$$

（1）式中， $Q$  为每亩小麦产量（公斤）； $K$  为每亩物资投入（元），包括种子、农药、化肥等，并以各省份历年农业生产资料价格指数剔除价格波动的影响，得出以 2000 年为基期的实际值； $L$  为每亩用工量（工日）； $S$  为每亩购买机械服务费用（元），并以各省份历年农业生产服务价格指数剔除价格波动的影响，得出以 2000 年为基期的实际值； $t$  为时间趋势变量； $i$  为省份代码； $v_{it}$  为随机

<sup>①</sup>在小麦生产函数形式的选择上，很多研究采用了  $Q = Af(K, L)$  的形式，其中， $A$  为技术水平， $K$  为资本投入， $L$  为劳动投入。考虑到现今的小麦生产成本中，购买机械服务的费用已经占到了相当高的比例，而这部分费用既不是直接的物资投入，也难以划归为劳动投入，因此，本文采用了三种要素的生产函数形式，即  $Q = Af(K, L, S)$ ，其中， $K$  为直接物资投入， $S$  为购买机械服务的费用。

误差项，服从正态分布  $N(0, \sigma_v^2)$ ； $u_{it}$  为技术非效率项，服从 0 特征的截尾正态分布  $N(m_{it}, \sigma_u^2)$ 。

依据该模型的原理及形式，各省份小麦生产技术效率值的测算公式为：

$$TE_{it} = \frac{E(Q_{it} | u_{it}, X_{it})}{E(Q_{it} | u_{it} = 0, X_{it})} \quad (2)$$

(2) 式中， $X_{it}$  表示小麦生产的各项投入 ( $K, L, S$ )， $E(Q_{it} | u_{it}, X_{it})$  表示实际产出的期望值， $E(Q_{it} | u_{it} = 0, X_{it})$  表示不存在技术无效情况下前沿面上产出的期望值。 $TE$  表示技术效率，即实际产出占前沿面上产出的比重，取值在 0 到 1 之间。

2. Tobit 模型。小麦生产的技术效率值是一个介于 0 到 1 的受限变量，且是右侧截尾分布，因此本文采用受限因变量的 Tobit 模型检验小麦种植户农机服务使用水平对其技术效率的影响。具体回归模型如下：

$$TE_{it} = \beta_0 + \beta_1 lev_{it} + \beta_2 den_{it} + \beta_3 edu_{it} + \beta_4 sca_{it} + \beta_5 inf_{it} + \beta_6 disa_{it} + d_i + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

(3) 式中， $lev_{it}$  表示农机服务使用水平， $den_{it}$  表示农村剩余劳动力水平， $edu_{it}$  表示劳动力受教育水平， $sca_{it}$  表示土地规模水平， $inf_{it}$  表示基础设施水平， $disa_{it}$  表示农作物受灾面积比例， $d_i$  表示不可预测的地区效应， $\varepsilon_{it}$  为随机干扰项， $i$  代表地区截面， $t$  代表时间。

### (三) 变量描述

1. 农机服务使用水平。变量  $lev$  表示农户购买农机服务的水平，具体计算公式为：

$$lev = \ln \left( \frac{\text{每亩购买机械服务费用 (元)}}{\text{每亩用工量 (工日)}} \right) \quad (4)$$

周宏等 (2014) 在考察水稻种植户的技术效率时，将机械使用程度定义为：机械使用程度 = 机械费 / (畜力费 + 机械费)。参照这一做法，本文将农机服务使用水平定义为：农机服务使用水平 = 购买机械服务费用 / (购买机械服务费用 + 每亩用工量 × 农村劳动力价格)。但由于各省份不同年份农村劳动力价格差异较大，如此定义难以准确表示各省份人工劳动投入水平。因此，本文最终将农机服务使用水平定义为：农机服务使用水平 =  $\ln$  (每亩农机服务费用 / 每亩用工量)<sup>①</sup>，并预期农机服务使用水平对小麦生产的技术效率存在正向影响。

2. 农村剩余劳动力水平。变量  $den$  表示农村剩余劳动力水平，具体计算公式为：

$$den = \frac{\text{农村第一产业从业人数 (人)} - \text{农村最优劳动力数量 (人)}}{\text{耕地面积 (公顷)}} \quad (5)$$

该变量即每公顷耕地上的剩余劳动力数量。对该变量的测算可分解为两步：第一步是计算各省份实际农村剩余劳动力数量，即农村第一产业从业人数与农村最优劳动力数量之差，以反映各省份农村剩余劳动力的绝对量；考虑到中国 15 个小麦主产省的耕地面积存在较大差异，各省份农村剩余

<sup>①</sup> 此处购买机械服务的费用为剔除价格波动后以 2000 年价格为基期的实际值，而非各年投入的名义值。

劳动力总量难以反映农户家庭在农业生产中劳动力的富余程度，因此，第二步是计算各省份单位面积耕地上的劳动力剩余数量，即农村实际剩余劳动力数量与耕地面积之比，以反映各省份农村剩余劳动力的相对量。该变量应比各省份农村剩余劳动力总量更适用于本文的分析。

各省份历年农村最优劳动力数量的测算参考了徐文舸（2015）的研究，他在综合考虑各省份耕地面积、农业机械化水平、经济发展等因素的前提下，测算了中国各省份 2000 年和 2012 年的农村最优劳动力数量。在其研究结论的基础上，本文假设各省份历年农村最优劳动力数量的变化呈线性趋势<sup>①</sup>，从而测算出 2000~2015 年各省份历年农村最优劳动力数量。

本文认为，各省份农村剩余劳动力水平对小麦生产技术效率存在正向影响。一方面，剩余劳动力数量越多，表明该省份农户平均种植规模距其最佳规模的差距越大，即农户在种植当前规模耕地的条件下，还有富余的精力和资本，也就是说农户有能力对当前规模的耕地进行精细化管理，获得较高的技术效率。另一方面，剩余劳动力数量多表明当地农村劳动力市场供给充足，农户可以雇佣到廉价劳动力，从而降低生产成本。被雇佣者在面临竞争时，也会担心“失业”，从而更认真工作，降低了发生“偷工减料”道德风险的概率。

3.劳动力受教育水平。变量 *edu* 代表农村劳动力平均受教育年限（单位为年）。《中国农村统计年鉴》将农村劳动力文化程度分为不识字、小学、初中、高中、中专、大专及以上 6 个层级，并给出每百人中各层级的人数，本文分别赋予各层级 0 年、6 年、9 年、12 年、12 年和 15 年的受教育年限，加权得出农村劳动力平均受教育年限。大量研究表明，农村劳动力受教育水平对其农业生产的技术效率具有积极作用（陈刚、王燕飞，2010；唐建、Jose Vila，2016），因此，本文将农村劳动力平均受教育年限作为控制变量，并预期该变量对小麦生产技术效率有正向影响。

4.土地规模水平。变量 *sca* 表示农户土地规模水平，具体测算公式为<sup>②</sup>：

$$sca = \ln \left( \frac{\text{耕地总面积 (公顷)}}{\text{农村居民总户数 (户)}} \right) \quad (6)$$

本文认为，在当前中国农村劳动力大量流入城市的背景下，单纯扩大农户种植规模并不能提高其技术效率。当农村青壮年劳动力倾向于非农就业，只剩老人、妇女从事农业生产时，种植规模的扩大将成为负担。种植规模扩大后，人均农业收入可能会提高，但这部分收入来源于地租<sup>③</sup>，而非

<sup>①</sup>受数据和相关文献稀缺的限制，本文难以获得精确的各省份历年农村最优劳动力数量，只能进行粗略估算。农村最优劳动力数量与各省份耕地面积、地形、农机发展水平、经济状况等因素有关，这些因素都是短时间内难以改变或朝固定方向缓慢变化的。因此，本文假设历年农村最优劳动力数量呈线性变化，是符合实际情况的。

<sup>②</sup>大部分文献将人均土地规模定义为：人均土地规模=耕地面积/农村居民总数。但笔者认为，在中国家庭承包经营体制下，农业生产多是以家庭为单位进行，家庭成员共同经营家庭所有土地，因此，以农村居民户数代替农村居民人数进入公式更合理。

<sup>③</sup>如果农户需要交纳地租，则难以获得利润。正是因为土地经营权是自己的，农户收入才得以提高。这部分收入更像是地租向农户的转移支付。

来源于更多的农业产品和更高的技术效率。因此本文预期，在 2000~2015 年期间，户均耕地面积扩大将导致小麦生产技术效率降低。

5.基础设施水平。变量 *inf* 表示基础设施水平，具体测算公式为：

$$inf = \frac{\text{二级公路里程 (公里)}}{\text{耕地面积 (千公顷)}} \quad (7)$$

彭代彦、文乐（2016）将基础设施水平定义为：基础设施水平=乡村道路里程（公里）/耕地面积（千公顷），其中，乡村道路里程用等外公路里程表示。然而，2010年后中国等外公路里程逐年递减，二级公路里程逐年递增<sup>①</sup>。这是因为随着中国经济发展水平的提高，部分等外公路被整修成了二级公路。因此，等外公路里程已不能准确代表农村基础设施和交通水平，本文采用二级公路里程来替换。本文认为，良好的农村基础设施可以方便农户购买生产资料、获得先进技术、购买各类服务等，从而实现更高的技术效率，因此，本文预期，基础设施水平对小麦生产技术效率存在正向影响。

6.农作物受灾面积比例。变量 *disa* 表示农作物受灾面积比例。具体测算公式为：

$$disa = \frac{\text{受灾面积 (千公顷)}}{\text{粮食作物播种面积 (千公顷)}} \quad (8)$$

农业生产在很大程度上受自然因素的影响。受灾面积比例变量反映了当年自然灾害造成的农业减产水平。本文认为，该变量对小麦生产技术效率存在负向影响。

对超越对数随机前沿模型和 Tobit 模型的变量说明与描述性统计如表 2 所示。

表 2 变量说明与描述性统计

模型	变量类型	变量名称	变量代码	均值	标准差
Translog-SFA 模型	产出变量	每亩小麦产量（公斤）	<i>Q</i>	320.762	77.102
		每亩物资投入（元）	<i>K</i>	113.130	29.381
	投入变量	每亩用工量（工日）	<i>L</i>	7.021	3.231
		每亩购买机械服务费用（元）	<i>S</i>	47.850	21.391
面板 Tobit 模型	核心解释变量	农机服务使用水平	<i>lev</i>	1.916	1.103
		农村剩余劳动力水平	<i>den</i>	0.411	0.738
	控制变量	平均受教育年限	<i>edu</i>	8.023	0.674
		土地规模水平	<i>sca</i>	2.277	0.766
		基础设施水平	<i>inf</i>	2.184	1.110
	受灾面积比例	<i>disa</i>	0.349	0.167	

## 四、实证检验与结果分析

### （一）超越对数 SFA 技术效率估计结果

<sup>①</sup>参见国家统计局（编）：《中国统计年鉴》（2001~2016 年，历年），北京：中国统计出版社。

本文采用随机前沿分析软件 Frontier 4.1 对生产函数和技术效率损失函数进行估计，结果如表 3 所示。模型总体拟合结果较好，从参数估计结果来看，大部分估计值都通过了 t 检验，说明模型具有较强的解释力。技术无效率项  $\gamma$  在 1% 的显著性水平上通过了 t 检验，且  $\gamma=0.891$ ，表明复合误差主要来源于管理误差  $\sigma_u^2$ ，随机误差  $\sigma_v^2$  只占复合误差的 10.9%。

表 3 参数估计结果

	系数	t 值
常数项	-10.305***	-3.229
$\ln K$	4.811***	3.410
$\ln L$	1.060**	2.185
$\ln S$	1.274**	2.534
$\ln K \times \ln L$	-0.231	-1.487
$\ln K \times \ln S$	-0.354**	-2.367
$\ln L \times \ln S$	-0.023	-0.253
$(\ln K)^2$	-0.295*	-1.670
$(\ln L)^2$	0.082***	4.800
$(\ln S)^2$	0.091**	2.145
$t$	0.032***	4.068
$t^2$	-0.001	-1.457
$\sigma^2$	0.085**	2.431
$\gamma$	0.891***	19.417
对数似然值	202.790	
LR 值	67.056	

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

在随机前沿生产函数的估计结果中， $(\ln L)^2$  在 1%水平上的显著， $\ln K \times \ln S$  和  $(\ln S)^2$  在 5%水平上的显著， $(\ln K)^2$  在 10%水平上显著。二次项和交叉项显著，表明生产函数采用超越对数形式是合理的。

中国各小麦主产省历年小麦生产技术效率的测算结果如表 4 所示。从表 4 可以看到，中国各小麦主产省历年小麦生产技术效率存在较大差异，最低的仅为 0.564（云南 2000 年），最高的达到 0.986（河南 2015 年），总体均值为 0.873。

表 4 小麦主产省历年小麦生产技术效率测算值

省份	2000 年	2005 年	2010 年	2015 年	平均
河南	0.968	0.976	0.981	0.986	0.978
山东	0.963	0.972	0.978	0.983	0.974
河北	0.959	0.968	0.976	0.982	0.971

农机服务对小麦生产技术效率有影响吗？

安徽	0.946	0.959	0.968	0.976	0.963
新疆	0.926	0.943	0.957	0.967	0.949
江苏	0.911	0.931	0.947	0.960	0.938
湖北	0.900	0.923	0.941	0.955	0.930
黑龙江	0.897	0.921	0.939	0.953	0.929
四川	0.800	0.844	0.879	0.907	0.859
内蒙古	0.773	0.823	0.862	0.893	0.840
陕西	0.744	0.798	0.843	0.878	0.818
山西	0.714	0.774	0.824	0.863	0.796
宁夏	0.679	0.746	0.800	0.844	0.769
甘肃	0.593	0.673	0.740	0.796	0.703
云南	0.564	0.647	0.718	0.778	0.679
平均	0.822	0.860	0.890	0.915	0.873

注：①限于篇幅，这里仅报告 2000 年、2005 年、2010 年、2015 年 4 个关键时间节点的数据及均值；②各省份历年技术效率值由 Frontier 4.1 软件直接生成，均值即为简单算术平均值。

从时间上看，随着农业科技进步和农业机械化推广，2000~2015 年，中国 15 个小麦主产省的小麦生产平均技术效率呈现明显的递增趋势，如图 4 所示。从空间上看，各省份技术效率存在较大差异。以 2015 年为例，河南省技术效率值达到 0.986，云南省仅为 0.778。各省份技术效率进步的速度也不一致。2000~2015 年间，技术效率较低的云南省从 0.564 提升到了 0.778，年均提升 2.17%；相比之下，技术效率较高的河南省仅从 0.968 提升到了 0.986，年均提升 0.12%。

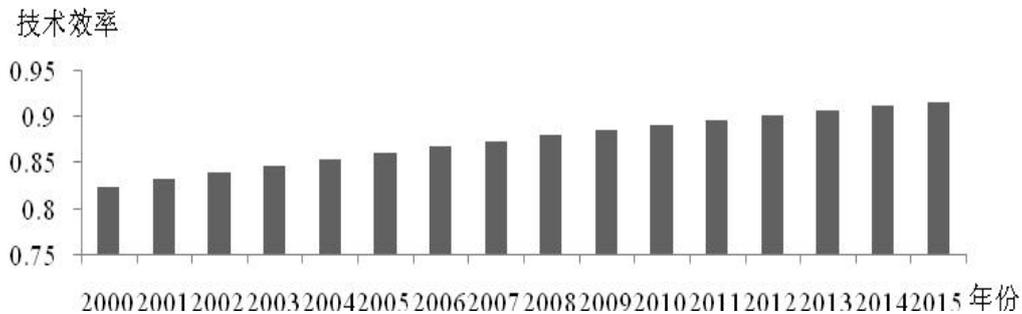


图 4 2000~2015 年小麦生产平均技术效率分布

(二) Tobit 模型回归结果

Tobit 模型估计结果如表 5 所示。

	系数	标准误	z 值
<i>lev</i>	0.0179***	0.0036	5.01
<i>den</i>	0.0085***	0.0022	3.82

农机服务对小麦生产技术效率有影响吗？

<i>edu</i>	0.0467***	0.0080	5.82
<i>sca</i>	-0.0384*	0.2050	-1.87
<i>inf</i>	0.0065*	0.0038	1.71
<i>disa</i>	-0.0007	0.0104	-0.07
常数项	0.5339***	0.0855	6.24
对数似然值		561.503	
Wald chi2		539.750	
Prob > chi2		0.000	

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

农机服务使用水平 (*lev*) 在 1% 的显著性水平上通过了 t 检验，系数为正，表明随着购买农机服务量增加，小麦生产的技术效率逐渐提高，与本文的理论预期一致。农机服务提高农业技术效率的原因有两方面：①农业科技的快速发展和农技推广的停滞不前形成了巨大的“鸿沟”，大量良种良技术未被农户接纳使用，造成了社会资源的巨大浪费。农机服务以外包的形式将新技术包含在服务中，间接提高了农业生产的科技水平和技术效率。②城镇化吸引了大批农村人口进城务工，造成了农业劳动力的匮乏，农村出现了只有老人、妇女种地的情况。这类次级劳动力除种植原本属于自己的耕地外，还要帮家中外出务工的青壮年劳动力完成农业生产。在没有农机服务的情况下，农户平均分配到每块耕地上的劳动时间将减少，致使农业生产效率下降。如果购买农机服务，则可保证每块耕地上的劳动完成质量一致，弥补因劳动力不足造成的效率缺失，从而间接提高农业生产技术效率。

农村剩余劳动力水平 (*den*)、平均受教育年限 (*edu*)、土地规模水平 (*sca*) 与基础设施水平 (*inf*) 分别在 1%、1%、1%和 5%的水平上通过了显著性检验，且影响方向与预期一致，在此不再赘述。受灾面积比例 (*disa*) 不显著，这可能是由信息不完全所致。在统计数据中，只有历年各省份的作物受灾面积，并没有具体说明受灾后果。受灾后的情况既可能是完全绝收，也可能是产量略有下降，却都按统一标准确定为受灾，因而难以准确描述自然灾害对当年产出的影响。

### (三) 农机服务效应分解

根据前文的理论分析，农机服务具有科技引入和劳动替代两种效应，在中国当前农村环境下，两种效应共同发挥作用，提高农业生产的技术效率。

1. 科技引入效应。古典经济增长理论将技术进步看作外生的，根据这一思想，可将农业科技水平看作随时间推移逐步增长的外生变量。考虑到技术的累积效应，本文假设 2000~2015 年间中国农业技术创新的速度逐年提高。但由于农技推广效率低下，农户接受新技术的速度较慢，且有逐年放缓的趋势 (汪小平, 2007)。综合来看，2000~2015 年，中国农业科技与农户技术之间的“鸿沟”应是逐年扩大的。如果农机服务具有将先进技术引入农业生产过程的效应，那么，随着技术“鸿沟”的扩大，农机服务提高农业技术水平的潜力也将增大，对农业生产技术效率的提升效应会越来越明显。因此，本文根据时间跨度将样本时期划分为 2000~2005 年、2006~2010 年和 2011~2015 年 3 个区间，分别进行回归，以考察在不同时期内农机服务提升小麦生产技术效率的效应是否存在差异。分时期回归结果如表 6 所示。

表 6 分时期 Tobit 模型回归结果

	2000~2005 年			2006~2010 年			2011~2015 年		
	系数	标准误	z 值	系数	标准误	z 值	系数	标准误	z 值
<i>lev</i>	0.0016	0.0074	0.22	0.0079*	0.0046	1.71	0.0150**	0.0071	2.12
<i>den</i>	-0.0019	0.0035	-0.53	0.0007	0.0013	0.52	0.0014	0.0015	0.97
<i>edu</i>	0.0482***	0.0129	3.73	0.0590***	0.0126	4.7	0.0403***	0.0099	4.09
<i>sca</i>	-0.0340	0.0339	-1.00	0.0006	0.0229	0.03	-0.0051	0.0194	-0.27
<i>inf</i>	0.0185**	0.0082	2.25	0.0106	0.0065	1.62	0.0029	0.0057	0.51
<i>disa</i>	0.0050	0.0113	0.45	0.0007	0.0069	0.11	-0.0009	0.0088	-0.10
常数项	0.5150***	0.1330	3.87	0.3592***	0.1138	3.16	0.5349***	0.0812	6.58
对数似然值	221.994			222.625			240.772		
Wald chi2	69.550			136.430			151.210		
Prob > chi2	0.000			0.000			0.000		

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

对样本时期进行划分使得每个模型的样本量变小，这造成了参数估计显著性水平下降，但依然可以看出，在不同时期，农机服务对农户技术效率水平的影响存在显著差异。

2000~2005 年，农机服务对小麦生产技术效率的提升效应不显著；2006~2010 年，农机服务在 10%的水平上通过了显著性检验，影响系数为 0.0079；2011~2015 年，农机服务在 5%的水平上通过了显著性检验，影响系数为 0.0150。可见，随着时间推移，农机服务对农户技术效率的提升作用越发显著，提升幅度也越来越大。这表明农机服务确实能够以外包服务的形式引入现代科技，提高农业生产的技术水平，缩小农业科技与农户技术水平之间的“鸿沟”，从而改善农业生产的技术效率。

2.劳动替代效应。能否充分发挥农机服务的劳动替代效应，与当地的劳动力资源禀赋有关，在劳动力缺失严重的地区农机服务提升技术效率的效果更好。为验证农机服务确实可通过劳动替代效应提高小麦生产的技术效率，本文依据各省份农村剩余劳动力水平和土地规模水平做散点图，并通过  $den=1$  和  $sca=2.4$  两条线将散点图分为 4 个象限（见图 5）。

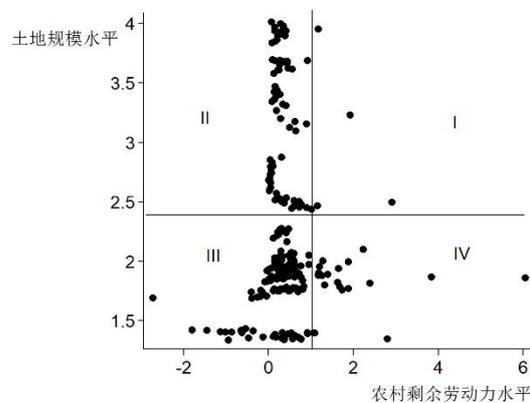


图 5 “规模—剩余劳动力”散点图

本文认为，第二象限中的省份户均规模较大，农村剩余劳动力较少，农户难以按质按量完成农业生产，最适合农机服务发挥劳动替代效应，该区域中的省份为甘肃、黑龙江、内蒙古、宁夏、新疆；第四象限中的省份则相反，户均规模较小，农村剩余劳动力较多，农机服务的效果应该不明显，该区域中的省份包括安徽、河南、四川、云南。对不同地区分别回归的结果如表 7 所示。

表 7 分地区 Tobit 模型回归结果

	第二象限			第四象限		
	系数	标准误	z 值	系数	标准误	z 值
<i>lev</i>	0.0353***	0.0060	5.91	0.0087	0.0086	1.02
<i>den</i>	0.0114	0.0068	0.17	0.0055**	0.0025	2.17
<i>edu</i>	0.0219	0.0143	1.54	0.0094	0.0214	0.44
<i>sca</i>	0.2695***	0.0986	2.73	-0.2769**	0.1353	-2.05
<i>inf</i>	0.0536***	0.0184	2.75	0.0295***	0.0078	3.76
<i>disa</i>	-0.0243	0.0225	-1.07	0.0498***	0.0187	2.66
常数项	-0.3525	0.3277	-1.08	1.2040**	0.3547	3.39
对数似然值	56.417			96.158		
Wald chi2	1206.110			3801.080		
Prob > chi2	0.000			0.000		

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

从回归结果来看，第二象限样本模型中，农机服务使用水平在 1%的水平上通过了显著性检验，影响方向为正，表明随着农机服务使用水平的提高，粮食生产的技术效率也在增长。该模型中农机服务项的系数为 0.0353，明显大于全样本模型中的系数即 0.0154。这表明，在甘肃、黑龙江、内蒙古、宁夏、新疆，农机服务提高小麦生产技术效率的效果要好于全国平均水平。在第四象限样本模型中，农机服务使用水平则不显著。这说明，在安徽、河南、四川、云南，农机服务提升小麦生产技术效率的效应并不明显，与预期一致。

## 五、结论与政策启示

### （一）研究结论

中国小麦生产的技术效率总体呈现逐年递增的趋势。从区域上看，各省份由于自然、经济、人口条件的不同，技术效率水平存在较大差距；从发展的角度来看，起点低的省份技术效率进步的速度要明显快于领先的省份，区域间的不平衡正在缩小。

在中国当前农村环境下，农机服务使用水平对小麦生产技术效率存在显著的正向影响。即农机服务使用水平越高，小麦生产的技术效率也越高。在户均耕地规模大、农业劳动力偏少的地区，该影响尤为显著。

农机服务提高小麦生产技术效率的根源在于其科技引入和劳动替代两种效应。科技引入效应在任何条件下都能稳定发挥作用，劳动替代效应则是在农业劳动力偏少的情况下效果更好。

## （二）政策启示

农业推广部门应当充分利用农机服务，将各种科技要素以外包服务的形式注入农业生产环节。除农机服务外，其他与农业生产相关的外包服务（如育苗、施肥、打药等）都具有应用先进技术的能力。鼓励这类经营性农业外包服务的发展，有利于中国整体农业技术水平的提高。

农机服务在不同地区对农业生产技术效率会产生不同的影响，农业部门应优先在农村劳动力相对匮乏的地区推动农机服务的发展。现阶段中国农机服务的价格已远低于雇用人工劳动的价格，因此，规范农机服务市场、保障农机服务质量是比降低农机服务价格更为重要的政策目标。

鉴于农机服务具有提升整个农业生产技术水平的外部性，农业部门应当对经营农机服务的企业给予一定的政策性补偿，鼓励、支持农机服务企业的发展。

## 参考文献

1. 蔡荣、蔡书凯，2014：《农业生产环节外包实证研究——基于安徽省水稻主产区的调查》，《农业技术经济》第4期。
2. 曹阳、胡继亮，2010：《中国土地家庭承包制度下的农业机械化——基于中国17省（区、市）的调查数据》，《中国农村经济》第10期。
3. 陈超、李寅秋、廖西元，2012：《水稻生产环节外包的生产率效应分析——基于江苏省三县的面板数据》，《中国农村经济》第2期。
4. 陈刚、王燕飞，2010：《农村教育、制度与农业生产率——基于中国省级层面数据的实证研究》，《农业技术经济》第6期。
5. 董欢、郭晓鸣，2014：《生产性服务与传统农业：改造抑或延续——基于四川省501份农户家庭问卷的实证分析》，《经济学家》第6期。
6. 杜志雄、刘文霞，2017：《家庭农场的经营和服务双重主体地位研究：农机服务视角》，《理论探讨》第2期。
7. 郝晓燕、韩一军、李雪、吕向东，2016：《小麦技术效率的地区差异及门槛效应——基于全国15个小麦主产省的面板数据》，《农业技术经济》第10期。
8. 纪月清、钟甫宁，2013：《非农就业与农户农机服务利用》，《南京农业大学学报（社会科学版）》第5期。
9. 廖西元、申红芳、王志刚，2011：《中国特色农业规模经营“三步走”战略——从“生产环节流转”到“经营权流转”再到“承包权流转”》，《农业经济问题》第12期。
10. 彭代彦、文乐，2016：《农村劳动力老龄化、女性化降低了粮食生产效率吗——基于随机前沿的南北方比较分析》，《农业技术经济》第2期。
11. 宋海英、姜长云，2015：《农户对农机社会化服务的选择研究——基于8省份小麦种植户的问卷调查》，《农业技术经济》第9期。
12. 孙顶强、卢宇桐、田旭，2016：《生产性服务对中国水稻生产技术效率的影响——基于吉、浙、湘、川4省微观调查数据的实证分析》，《中国农村经济》第8期。
13. 孙昊，2014：《小麦生产技术效率的随机前沿分析——基于超越对数生产函数》，《农业技术经济》第1期。
14. 孙新华，2013：《农业经营主体：类型比较与路径选择——以全员生产效率为中心》，《经济与管理研究》第12期。

- 15.唐建、Jose Vila, 2016:《粮食生产技术效率及影响因素研究——来自1990~2013年中国31个省份面板数据》,《农业技术经济》第9期。
- 16.汪小平, 2007:《农业专业大户技术进步的实证分析——基于荆州市520户农业专业大户的调查》,《科技进步与对策》第7期。
- 17.王志刚、申红芳、廖西元, 2011:《农业规模经营:从生产环节外包开始——以水稻为例》,《中国农村经济》第9期。
- 18.徐文舸, 2015:《“新常态”下的供给约束——我国农业剩余劳动力究竟还有多少?》,《人口与社会》第4期。
- 19.许锦英、卢进, 2000:《农机服务产业化与我国农业生产方式的变革》,《农业技术经济》第2期。
- 20.许秀川、李容、李国珍, 2017:《小规模经营与农户农机服务需求——一个两阶段决策模型的考察》,《农业技术经济》第9期。
- 21.张桃林, 2012:《以农业机械化支撑和引领农业现代化》,《求是》第14期。
- 22.张忠军、易中懿, 2015:《农业生产性服务外包对水稻生产率的影响研究——基于358个农户的实证分析》,《农业经济问题》第10期。
- 23.周宏、王全忠、张倩, 2014:《农村劳动力老龄化与水稻生产效率缺失——基于社会化服务的视角》,《中国人口科学》第3期。
- 24.Battese, G. E., 1992, “Frontier Production Functions and Technical Efficiency: A Survey of Empirical Applications in Agricultural Economics”, *Agricultural Economics*, 7(3): 185-208.
- 25.Coelli, T. J. and G. E. Battese, 1996, “Identification of Factors Which Influence the Technical Inefficiency of Indian Farmers”, *Australian Journal of Agricultural Economics*, 40(2): 103-128.

(作者单位: 中国农业大学经济管理学院)

(责任编辑: 何欢)

## The Impact of Agricultural Machinery Service on Technical Efficiency of Wheat Production

Hu Yi Zhang Zhenghe

**Abstract:** This article conducts a trans-log stochastic frontier analysis to calculate the technical efficiency of wheat production in 15 provinces, using the cost-benefit data from 2000 to 2015. The study examines the impact of machinery service level on the technical efficiency. The results show that the total technical efficiency of wheat production keeps increasing from 2000 to 2015 with regional difference. The utilization of machinery service can significantly improve the technical efficiency with effects varying from province to province. The power of improvement comes from the introduction of technology and labor substitution.

**Key Words:** Agricultural Machinery Service; Technical Efficiency; Wheat Production; Surplus Labor