

中国农业机械化发展 对粮食播种面积的影响*

杨进¹ 吴比² 金松青³ 陈志钢⁴

摘要:本文利用农村固定观察点的农户调查数据,研究了中国农业机械化发展对农户粮食播种面积的影响。研究结果表明:农户在粮食生产过程中是否使用农业机械化服务,对粮食播种面积都不会有显著影响;但是,不断上涨的每亩农业机械作业费用会降低农户粮食作物播种面积及其在农作物总播种面积中的占比;如果农户地处平原地区,每亩农业机械作业费用上涨对该类农户粮食播种面积及其占比的负向影响将会被削弱。

关键词:农业机械化 粮食生产 播种面积

中图分类号:F301 F304 **文献标识码:**A

一、引言

2016年中央“一号文件”着重突出要“推进农业供给侧结构性改革”,重要目标之一就是从农业供给角度调整播种结构和提升产品质量以满足市场需求。如何在供给侧结构性改革的背景下调整和发展粮食生产,是一个亟待研究的大问题。

近些年来,随着大量农业劳动力不断向城市转移,农村社会出现了一个重要的现象,即农村内部农业机械化服务市场广泛形成。在供给层面,江苏、山东和安徽等地的专业农民通过自发购买大型农业机械(如水稻插秧机、联合收割机)在全国范围内进行跨区作业,为各地农民提供农业机械化服务;在需求层面,由于劳动力价格不断上涨,各地农户也逐渐开始广泛使用本地或跨区的农业机械化服务进行粮食生产,以缓解其面临的劳动力约束(曹阳、胡继亮,2010;陈超等,2012,Ji et al.,2017)。农业机械对劳动力的替代实际上打破了中国以劳动投入为主的传统粮食生产方式,它是否会对粮食生产造成影响?这需要进行深入和细致的理论和实证分析。本文将从农户粮食播种面积调整的视角进行研究,以期为中国当前推动农业机械化发展和农业供给侧结构性改革提供政策依据。

*本文研究受到国家自然科学基金青年项目“农业供应链金融实证研究:机理、影响与政策选择”(项目编号:71603141)、国家自然科学基金青年项目“创业榜样对农村创业意愿的影响机制研究”(项目编号:71403198)、教育部人文社会科学重点研究基地项目“劳动力结构变迁对中国农业生产与农民收入的影响与对策”(项目编号:15JJD790033)的资助。

学术界目前对粮食播种面积变化的研究文献较少，对粮食播种面积变化的分析主要放在粮食种植结构的框架下进行研究。如伍山林（2000）研究了中国粮食播种面积的区域特征和成因，陆文聪、梅燕（2007）利用空间计量经济学模型研究了中国粮食生产区域格局变化的成因，他们的研究大致得出中国各省粮食播种面积变化已呈现动态变化趋势的结论，尤其是各地非农就业劳动力数量较大程度地影响了其粮食种植结构。杨进等（2016）研究了劳动力价格上涨和农业劳动力老龄化对粮食种植结构的影响，认为劳动力价格上涨对粮食种植结构有显著影响，而劳动力老龄化的影响不显著。

目前还没有文献研究中国农业机械化发展对粮食播种面积变化的影响，究其原因，主要是因为中国农业机械化研究目前还处于比较薄弱的状态，农业机械化带来的系列影响刚进入学者们的视野，大多数研究主要讨论农业机械化发展的现状和理论机制（例如曹阳、胡继亮，2010；周晶等，2013；Wang et al., 2014）。另外，数据也是一个主要问题。农业机械化相关数据在以往的统计年鉴中尚未有系统性的收集，尽管《中国农业机械化年鉴》公布了部分农业机械化发展指标，但是主要是全国数据，缺乏省级、市级、县级和农户层面的微观数据，全国层面的数据只能进行描述性统计，无法用于实证研究，而大规模搜集农户数据又较为困难，尤其研究中国整体的粮食播种面积变化情况，更需要分布在不同省份的大样本农户调查数据。

研究农业机械化发展对粮食播种面积的影响，需要先定义农业机械化。曹阳、胡继亮（2010）提出：“农业机械化从本质上讲，既不是农业机械的简单堆积，也不是农业劳动力的多寡，而是农民在农业生产各环节能享受到的农机服务率。”Yang et al. (2013) 和 Zhang et al. (2017) 的研究也表明，目前中国农户在粮食生产环节中所使用的机械作业大多数不是通过自己购买农业机械，而是使用农村地区广泛出现的农业机械化服务。他们的研究表明，对于中国农业机械化的发展，尤其是粮食作物生产农业机械化的发展，选取农户是否使用了农业机械化服务这个指标来表征比较合适。本文也将采取这一思路，选取农户是否使用农业机械化服务来表征农业机械化发展。

本文将农业机械化发展对粮食播种面积变化的影响分解成两个问题：其一，随着劳动力成本提高，农户可以用农业机械替代劳动力进行粮食生产。那么，农业机械对劳动力的替代是促使农户维持还是增加粮食播种面积比例？即农户使用农业机械替代劳动力是否会影响粮食播种面积？其二，中国农业依然实行土地细碎化的经营模式，在粮食生产过程中绝大多数小农户仍是通过市场获得农业机械化服务。由于农业机械化服务市场波动以及农户在粮食生产中越来越多地使用农业机械化服务，粮食生产的每亩农业机械作业费用会不断变化，那么，单位面积的农业机械作业成本变化是否会影响农户粮食播种面积？

为了回答这两个问题，本文将分别使用两套微观农户数据进行分析：其一，研究农户是否使用农业机械化服务对其粮食播种面积的影响，本文使用 2013 年农村固定观察点的农业机械化专项调查数据。该调查涉及江苏、浙江、江西、湖北、四川、甘肃、黑龙江、山东 8 个省份，共计 5495 个有效样本。因这套专项调查问卷设置了独立指标来表征农户是否使用了农业机械化服务，恰好适用于本文研究农户使用农业机械化服务对粮食播种面积的影响。其二，研究每亩农业机械作业费用变

化对农户粮食播种面积的影响，本文使用农村固定观察点 2009~2014 年的农户调查大样本面板数据。该数据库是 1984 年经中共中央书记处批准设立，于 1986 年正式建立并运行至今，采用分层抽样的方式，按照经济发展水平在各个省平均选取 10 个县，每个县选取 10 个村庄，然后每个村庄再分层抽样大约 500 个农户样本（不同地区之间样本数量存在一定差异）。该数据库详细记录了农户的农业生产和消费的各方面经济情况，每年调查农户数量约 23000 户。

本文主要研究农户使用农业机械化服务对水稻、小麦和玉米三种主粮作物播种面积的影响。下文内容安排如下：第二部分从宏观层面阐述中国粮食播种面积变化和农业机械化发展；第三部分是微观农户基本情况描述；第四部分分析农户使用农业机械化服务对其粮食播种面积的影响；第五部分分析农户使用农业机械化服务的单位成本变化对其粮食播种面积的影响；第六部分是本文的结论。

二、中国粮食播种面积变化和农业机械化发展

（一）中国粮食播种面积变迁

表 1 描述了中国粮食播种面积变化。中国粮食播种面积从 1990 年的 113466 千公顷下降到 2005 年的 104278 千公顷，其后开始呈现上升趋势，上升到 2014 年的 112723 千公顷。稻谷播种面积从 1985 年的 32070 千公顷下降到 2014 年的 30310 千公顷。其中，1985~2005 年期间下降趋势较为严重，2005 年后开始呈现上涨趋势，到 2014 年稻谷播种面积达到 30310 千公顷。小麦播种面积处于一直下降的趋势，从 1985 年的 29218 千公顷下降到 2014 年的 24069 千公顷；玉米播种面积呈现上升的过程，从 1985 年的 17694 千公顷增加到 2014 年的 37123 千公顷。

表 1 中国粮食播种面积变化 单位：千公顷

| 年份 | 粮食作物 | 稻谷 | 小麦 | 玉米 |
|------|--------|-------|-------|-------|
| 1985 | 108845 | 32070 | 29218 | 17694 |
| 1990 | 113466 | 33064 | 30753 | 21401 |
| 1995 | 110060 | 30744 | 28860 | 22776 |
| 2000 | 108463 | 29962 | 26653 | 23056 |
| 2005 | 104278 | 28847 | 22793 | 26358 |
| 2006 | 104958 | 28938 | 23613 | 28463 |
| 2007 | 105638 | 28919 | 23721 | 29478 |
| 2008 | 106793 | 29241 | 23617 | 29864 |
| 2009 | 108986 | 29627 | 24291 | 31183 |
| 2010 | 109876 | 29873 | 24257 | 32500 |
| 2011 | 110573 | 30057 | 24270 | 33542 |
| 2012 | 111205 | 30137 | 24268 | 35030 |
| 2013 | 111956 | 30312 | 24117 | 36318 |
| 2014 | 112723 | 30310 | 24069 | 37123 |

数据来源：国家统计局，2015：《中国统计年鉴 2015》，北京：中国统计出版社。

(二) 中国农业机械化发展

1978年，全国农业机械总动力为11750万千瓦，到2014年增加为108056万千瓦，可见农业机械化发展之迅速。除了机械动力外，农用拖拉机数量也常常被视为农业机械化发展较为重要的指标。

图1中，实线反映了1978~2014年农用拖拉机的数量变化，小型拖拉机台数的增长趋势较为平滑，从1978年的137.3万台增加至2014年的1729.77万台。图1中的虚线反映了大中型拖拉机台数的变化，大中型拖拉机台数从2004年开始出现快速上涨的趋势，从2004年的111.83万台增加至2014年的567.95万台。根据蔡昉(2007)、Cai and Wang(2010)、Zhang et al.(2011)和Yang et al.(2013)的研究，中国劳动力工资在2004年开始急剧上涨，同时中国农业机械化也出现快速发展的趋势。

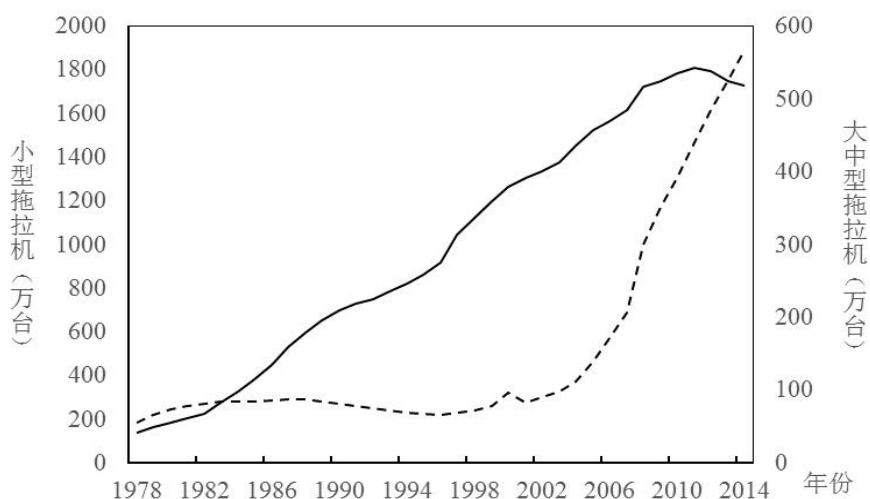


图1 1978~2014年农用拖拉机数量变化

数据来源：国家统计局，2015：《中国统计年鉴2015》，北京：中国统计出版社。

表2反映了水稻、小麦和玉米每亩农业机械作业费用的变化情况。2007~2015年，水稻每亩农业机械作业费用从61.88元增加至175.68元，上涨了2.83倍；小麦每亩农业机械作业费用从67.11元增加至131.13元，上涨了1.95倍；玉米每亩农业机械作业费用从34.34元增加至111.98元，上涨了3.26倍。从每亩农业机械作业费用在每亩物资与服务费用中的占比来看，2007~2015年，水稻从0.23上涨到0.38，小麦从0.28上涨到0.32，玉米从0.18上涨到0.31。

表2 全国水稻、小麦和玉米每亩农业机械作业费用变化

| 年份 | 每亩农业机械作业费用(元) | | | 每亩农业机械作业费用占比 | | |
|------|---------------|--------|-------|--------------|------|------|
| | 水稻 | 小麦 | 玉米 | 水稻 | 小麦 | 玉米 |
| 2007 | 61.88 | 67.11 | 34.34 | 0.23 | 0.28 | 0.18 |
| 2008 | 81.79 | 82.00 | 43.13 | 0.25 | 0.30 | 0.18 |
| 2009 | 87.71 | 82.77 | 47.31 | 0.27 | 0.27 | 0.20 |
| 2010 | 104.87 | 91.83 | 58.12 | 0.30 | 0.29 | 0.23 |
| 2011 | 125.04 | 100.41 | 70.15 | 0.32 | 0.29 | 0.23 |

(续表 2)

| | | | | | | |
|------|--------|--------|--------|------|------|------|
| 2012 | 147.14 | 112.07 | 84.23 | 0.34 | 0.29 | 0.25 |
| 2013 | 159.83 | 119.62 | 95.31 | 0.36 | 0.29 | 0.27 |
| 2014 | 170.54 | 126.60 | 105.11 | 0.38 | 0.31 | 0.30 |
| 2015 | 175.68 | 131.13 | 111.98 | 0.38 | 0.32 | 0.31 |

数据来源：国家发展和改革委员会价格司，2008~2016:《全国农产品成本收益资料汇编》，北京：中国统计出版社。

表 3 从农户需求层面反映了小麦、水稻和玉米生产过程中使用农业机械化服务的农户比例。从机耕水平来看，小麦和水稻机耕的农户比例都超过 90%，玉米机耕的农户比例接近 70%；从机播水平来看，小麦和玉米机播的农户比例都达到了 80%，水稻机播的农户比例接近 40%；从机收水平来看，小麦机收的农户比例在 2014 年达到 93%，水稻机收的农户比例达到 83%，玉米机收的农户比例为 56%。

表 3 小麦、水稻和玉米生产过程中使用农业机械化服务的农户比例

| | | 2011 年 | 2012 年 | 2013 年 | 2014 年 |
|----|----|--------|--------|--------|--------|
| 机耕 | 小麦 | 0.90 | 0.91 | 0.89 | 0.90 |
| | 水稻 | 0.90 | 0.94 | 0.96 | 0.97 |
| | 玉米 | 0.65 | 0.69 | 0.69 | 0.69 |
| 机播 | 小麦 | 0.86 | 0.86 | 0.87 | 0.87 |
| | 水稻 | 0.26 | 0.32 | 0.36 | 0.39 |
| | 玉米 | 0.80 | 0.82 | 0.84 | 0.84 |
| 机收 | 小麦 | 0.91 | 0.91 | 0.92 | 0.93 |
| | 水稻 | 0.69 | 0.74 | 0.79 | 0.83 |
| | 玉米 | 0.34 | 0.42 | 0.50 | 0.56 |

数据来源：农业部南京农业机械化研究所，2011~2014:《中国农业机械化年鉴》，北京：中国农业科学技术出版社。

综合来看，无论是从全国农业机械总动力，还是从每亩农业机械作业费用和使用农业机械化服务的农户比例角度来看，目前中国农业机械化发展已经达到很高水平，而且使用农业机械化服务的单位成本也日益提高。

三、微观农户基本情况描述

(一) 样本农户粮食播种面积变化

表 4 反映了 2009~2014 年样本农户水稻、小麦和玉米三种主粮作物播种面积的变化情况，播种面积的标准差在 4.5 左右，播种面积占比的标准差在 0.35 左右。从纵向来看，户均粮食播种面积从 2009 年的 3.58 亩下降到 2014 年的 2.86 亩；户均粮食播种面积占比变化较小，从 2009 年的 0.723 下降到 2014 年的 0.716。

表 4

农户粮食播种面积变化情况

| | 年份 | 均值 | 最小值 | 最大值 | 样本数 | 标准差 |
|-------------|------|------|------|-------|-------|------|
| 播种面积 (亩) | 2009 | 3.58 | 0.00 | 35.00 | 21168 | 4.62 |
| | 2010 | 3.62 | 0.00 | 34.00 | 20568 | 4.71 |
| | 2011 | 3.39 | 0.00 | 33.00 | 19926 | 4.58 |
| | 2012 | 3.42 | 0.00 | 31.00 | 20010 | 4.58 |
| | 2013 | 3.16 | 0.00 | 32.00 | 20425 | 4.47 |
| | 2014 | 2.86 | 0.00 | 31.50 | 20640 | 4.33 |
| 播种面积 占比 | 2009 | 0.72 | 0.00 | 1.00 | 14634 | 0.35 |
| | 2010 | 0.74 | 0.00 | 1.00 | 13998 | 0.35 |
| | 2011 | 0.72 | 0.00 | 1.00 | 13365 | 0.37 |
| | 2012 | 0.73 | 0.00 | 1.00 | 13130 | 0.36 |
| | 2013 | 0.72 | 0.00 | 1.00 | 12828 | 0.37 |
| | 2014 | 0.72 | 0.00 | 1.00 | 12049 | 0.37 |

注：表 4 反映了样本农户 2009~2014 年水稻、小麦和玉米播种面积的下降趋势，与表 1 所反映的全国变化趋势有一定差异，主要是因为农村固定观察点数据包含了大量小规模农户样本，而没有涉及近几年因土地流转而形成的大农户、大农场样本。

数据来源：2009~2014 年农村固定观察点数据。

（二）样本农户使用农业机械化服务情况

表 5 反映了 2013 年农户在耕地和收割两个粮食生产环节中使用农业机械化服务的基本情况。在耕地环节，有 28% 的农户使用了农业机械化服务；在收割环节，有 27% 的农户使用了农业机械化服务；在耕地或收割环节，共有 33% 的农户使用了农业机械化服务，即农户要么在耕地环节，要么在收割环节中使用了农业机械化服务。

表 5

使用农业机械化服务的农户比例

| | 均值 | 最小值 | 最大值 | 样本数 | 标准差 |
|------|------|------|------|------|------|
| 耕地环节 | 0.28 | 0.00 | 1.00 | 5495 | 0.45 |
| 收割环节 | 0.27 | 0.00 | 1.00 | 5495 | 0.44 |
| 综合 | 0.33 | 0.00 | 1.00 | 5495 | 0.47 |

注：①表 5 反映了使用农业机械化服务的农户比例，低于表 3 所反映的全国平均水平，这主要是因为农村固定观察点数据所包含的大多是小规模农户样本，这些农户较少使用农业机械化服务；②由于农村固定观察点农业机械化专项调查只涵盖了小麦和水稻，故表 5 只反映了小麦和水稻生产中使用农业机械化服务的农户比例，下同。

数据来源：2013 年农村固定观察点农业机械化专项调查数据。

表 6 反映了 2009~2014 年样本农户粮食生产中每亩农业机械作业费用^①的变化情况，每亩农业机械作业费用从 2009 年的 55.46 元/亩上涨到 2014 年的 79.89 元/亩。可见，随着时间变化，粮食生产中使用农业机械化服务的成本越来越高。

表 6 农业机械作业费用的变化情况 单位：元/亩

| 年份 | 均值 | 最小值 | 最大值 | 样本数 | 标准差 |
|------|-------|------|--------|-------|-------|
| 2009 | 55.46 | 0.00 | 290.00 | 12486 | 40.14 |
| 2010 | 58.42 | 0.00 | 252.67 | 12007 | 41.14 |
| 2011 | 59.96 | 0.00 | 228.15 | 11180 | 37.60 |
| 2012 | 66.20 | 0.00 | 416.49 | 11069 | 45.84 |
| 2013 | 72.08 | 0.00 | 453.38 | 10571 | 49.64 |
| 2014 | 79.89 | 0.00 | 329.13 | 9913 | 52.96 |

数据来源：2009~2014 年农村固定观察点数据。

四、农户使用农业机械化服务对粮食播种面积的影响分析

本部分使用倾向得分匹配法（PSM）分析农户使用农业机械化服务对粮食播种面积的影响。首先，利用离散回归模型估计每个农户使用农业机械化服务的倾向得分；然后根据每个农户的倾向得分情况，再利用就近匹配原则^②，将农户分成实验组和对照组；最后，在实验组和对照组之间对比分析农户粮食播种面积差异，进行 t 检验。离散回归方程的表达式如下：

$$\text{Prob}(T=1|X) = e^{\alpha x} / (1 + e^{\alpha x}) \quad (1)$$

(1) 式中， $T=1$ ，表示农户使用农业机械化服务， $T=0$ ，表示农户不使用农业机械化服务； X 表示影响农户使用农业机械化服务的相关因素； $e^{\alpha x} / (1 + e^{\alpha x})$ 为积累分布函数。

平均处理效应（ATT）可表示为：

$$ATT = E(Y_1 - Y_0 | T = 1) = E(Y_1 | T = 1) - E(Y_0 | T = 1) \quad (2)$$

^①本文选取了水稻、小麦和玉米三种主要粮食作物，先计算户级层面每种粮食作物的每亩农业机械作业费用，然后取三者的平均以表征总体粮食作物的每亩农业机械作业费用，最后再取样本村中所有样本农户的中值。这样处理可以消除单个农户在支付农业机械作业费用时可能发生的讨价还价等行为，通过反映村庄内每亩农业机械作业费用的中值水平，以克服内生性问题。

^②计算不同农户的倾向得分后，有多种匹配方法，包括邻近匹配、半径匹配和核匹配等。基于篇幅，下文主要展示邻近匹配的结果，其他匹配结果大致相同。

(2) 式中, Y_1 和 Y_0 分别表示农户使用和不使用农业机械化服务的粮食播种面积^①。

在粮食生产中, 耕地和收割是劳动较为繁重的两个环节。为了使估计结果更为稳健, 本文根据这两个生产环节的农业机械化服务使用情况, 将实验组的样本分成 4 种情形: ①在耕地环节使用、在收割环节不使用农业机械化服务的农户样本; ②在收割环节使用、在耕地环节不使用农业机械化服务的农户样本; ③在耕地环节或收割环节使用农业机械化服务的农户样本; ④在耕地环节和收割环节同时使用农业机械化服务的农户样本。本文以耕地环节和收割环节中都不使用农业机械化服务的农户样本为对照组。

表 7 反映了农户在小麦生产过程中使用农业机械化服务在 4 种情形下播种面积的平均处理效应 (ATT)。从结果来看, 在 4 种情形下 ATT 值都不显著 (绝对值大于 1.65 时在 10% 的统计水平上显著), 说明农户使用农业机械化服务并不影响小麦播种面积。

表 7 小麦生产过程中农户选择使用农业机械化服务对播种面积的平均处理效应

| | 实验组 | 对照组 | 差异 | 标准差 | ATT 值 |
|-----------|------|------|-------|------|-------|
| 耕地环节 | 2.86 | 2.97 | -0.11 | 0.45 | -0.25 |
| 收割环节 | 2.37 | 2.51 | -0.14 | 0.54 | 0.75 |
| 耕地环节和收割环节 | 2.73 | 2.38 | 0.36 | 0.31 | 1.15 |
| 耕地环节或收割环节 | 2.62 | 2.24 | 0.38 | 0.44 | 0.40 |

表 8 反映了农户在水稻生产过程中使用农业机械化服务在 4 种情形下播种面积的平均处理效应 (ATT)。从结果来看, 在 4 种情形下 ATT 值都不显著 (绝对值大于 1.65 时在 10% 的统计水平上显著), 说明农户选择使用农业机械化服务并不影响水稻播种面积^②。

表 8 水稻生产过程中选择农户使用农业机械化服务对播种面积的平均处理效应

| | 实验组 | 对照组 | 差异 | 标准差 | ATT 值 |
|-----------|------|------|-------|------|-------|
| 耕地环节 | 2.30 | 2.08 | 0.23 | 0.40 | 0.58 |
| 收割环节 | 2.75 | 2.78 | -0.03 | 0.62 | 0.82 |
| 耕地环节和收割环节 | 2.63 | 2.69 | -0.06 | 0.57 | 0.92 |
| 耕地环节或收割环节 | 2.53 | 2.45 | 0.08 | 0.82 | 0.68 |

表 9 反映了农户在小麦生产过程中使用农业机械化服务在 4 种情形下播种面积占比的平均处理效应 (ATT)。从结果来看, 在 4 种情形下 ATT 值都不显著 (绝对值大于 1.65 时在 10% 的统计水平上显著), 说明农户使用农业机械化服务并不影响小麦播种面积占比。

^①由于本部分使用 2013 年农村固定观察点农业机械化专项调查数据进行分析, 该专项调查没有包括玉米生产中的农业机械化服务使用情况, 因此, 下文分析也将只针对小麦和水稻生产过程中的农业机械化服务使用情况。

^②由于篇幅所限, 本文略去了匹配前后农户使用农业机械化服务与否的倾向得分对比图。该图显示, 在 4 种情形下, 匹配前实验组和对照组使用农业机械化服务的倾向得分差异较大, 而匹配后实验组和对照组的倾向得分则非常接近。有兴趣的读者可向笔者索取。

表9 小麦生产过程中农户选择使用农业机械化服务对播种面积占比的平均处理效应

| | 实验组 | 对照组 | 差异 | 标准差 | ATT 值 |
|-----------|------|------|-------|------|-------|
| 耕地环节 | 0.52 | 0.55 | -0.03 | 0.06 | -0.60 |
| 收割环节 | 0.55 | 0.54 | 0.01 | 0.04 | 0.27 |
| 耕地环节和收割环节 | 0.57 | 0.65 | -0.08 | 0.11 | -0.72 |
| 耕地环节或收割环节 | 0.53 | 0.56 | -0.03 | 0.04 | -0.67 |

表10反映了农户在水稻生产过程中使用农业机械化服务在4种情形下播种面积占比的平均处理效应(ATT)。从结果来看,在4种情形下ATT值都不显著(绝对值大于1.65时在10%的统计水平上显著),说明农户选择使用农业机械化服务并不影响水稻播种面积占比。

表10 水稻生产过程中选择农户使用农业机械化服务对播种面积占比的平均处理效应

| | 实验组 | 对照组 | 差异 | 标准差 | ATT 值 |
|-----------|------|------|-------|------|-------|
| 耕地环节 | 0.72 | 0.74 | -0.01 | 0.07 | -0.23 |
| 收割环节 | 0.79 | 0.79 | 0.00 | 0.05 | 0.00 |
| 耕地环节和收割环节 | 0.76 | 0.72 | 0.04 | 0.05 | 0.87 |
| 耕地环节或收割环节 | 0.74 | 0.75 | -0.01 | 0.05 | -0.12 |

综上,以小麦和水稻生产中的耕地环节和收割环节为例,使用倾向得分匹配法的估计结果表明,农户使用农业机械化服务与否对其粮食播种面积没有显著影响。

五、农户使用农业机械化服务成本变化对粮食播种面积的影响分析

(一) 理论模型和研究假说

农户使用农业机械化服务的单位成本主要体现在每亩机械作业费用的变化上,本文用一个简单的理论模型来探讨使用农业机械化服务成本的变化引起的播种面积变化,如图4所示。

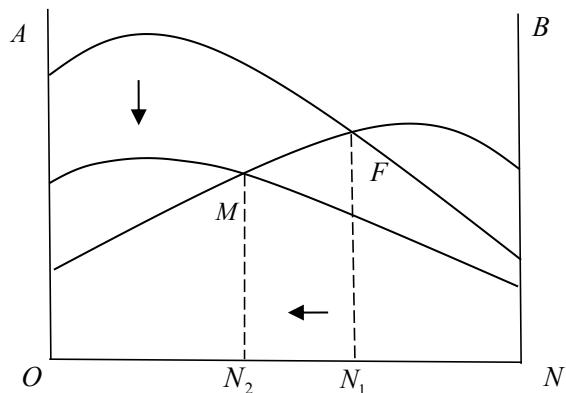


图4 每亩农业机械作业费用上涨的理论分析

假设左纵坐标反映使用农业机械化生产的粮食作物A的土地边际收益曲线,右纵坐标反映经济

作物 B 的土地边际收益曲线，土地帕累托最优配置的均衡点位于 N_1 。在其他条件不变的情况下，随着市场竞争的变化，粮食作物在生产过程中每亩农业机械作业费用上涨，这意味着种植粮食的单位面积成本增加，边际收益下降。此时，图 4 中粮食作物 A 的土地收益曲线向下移动，而经济作物 B 的土地边际收益曲线不变，从而形成新的土地帕累托均衡点 N_2 ，粮食播种面积从 ON_1 减少到 ON_2 。于是在农户的种植结构中，相对于经济作物 B 而言，粮食作物 A 的播种面积占比将减少。

因此，本文提出如下假说：在其他条件不变的情况下，粮食生产过程中每亩农业机械作业费用上涨将导致农户减少粮食作物的播种面积占比，而增加经济作物的播种面积占比。

（二）模型构建与变量说明

以下本文将使用 2009~2014 年农村固定观察点的常规农户调查数据来实证分析每亩农业机械作业费用的变化对农户粮食播种面积的影响。回归模型如下：

$$y_{it} = a_0 + a_1 m_{it} + a_2 E_{it} + \varepsilon_{it} \quad (3)$$

(3) 式中， y_{it} 为因变量，表示水稻、小麦和玉米三大主要粮食作物的播种面积（单位：亩）、及其在农作物（粮食作物+经济作物）总播种面积中的占比。 i 代表农户， t 代表年份； m_{it} 代表粮食生产过程中每亩农业机械作业费用（单位：元/亩）。 E_{it} 为控制变量，包括户主年龄（岁）、户主受教育年限（年）、是否村干部（反映农户家庭的基本属性，家庭成员有村干部=1，否=0）、是否党员（反映农户家庭的基本属性，家庭成员有党员=1，否=0）、家庭土地亩数（反映农户家庭的土地经营规模，单位：亩）、家庭劳动力人数、家庭固定资产总金额（单位：元）。 a_0 为常数项， a_1 、 a_2 为各自变量的估计系数； ε_{it} 为残差项。

各变量的描述性统计如表 11 所示。为了在下文体现农业机械作业费用上涨与农户家庭劳动力老龄化的交叉影响，设置“是否属于劳动力老龄化家庭”变量：将农户家庭 60 岁以上劳动力数量占比大于 0.6 的视为属于劳动力老龄化家庭，赋值为 1；反之视为不属于劳动力老龄化家庭，赋值为 0。同时，设置“是否属于劳动力女性化家庭”变量以控制农户家庭的劳动力性别结构：将农户家庭女性劳动力数量占比大于 0.6 的视为属于劳动力女性化家庭，赋值为 1；反之视为不属于劳动力女性化家庭，赋值为 0。

表 11 控制变量基本统计值

| 变量名 | 平均值 | 最小值 | 最大值 | 标准差 | 样本数 |
|--------------|---------|-------|-----------|----------|-------|
| 户主年龄（年） | 54.04 | 18.00 | 80.00 | 10.39 | 54220 |
| 户主受教育年限（年） | 6.92 | 0.00 | 12.00 | 2.45 | 54220 |
| 是否村干部 | 0.04 | 0.00 | 1.00 | 0.20 | 54220 |
| 是否党员 | 0.15 | 0.00 | 1.00 | 0.36 | 54220 |
| 家庭土地亩数（亩） | 6.68 | 0.10 | 505.00 | 6.73 | 54220 |
| 家庭劳动力人数 | 2.81 | 1.00 | 12.00 | 1.13 | 54220 |
| 家庭固定资产总金额（元） | 3569.46 | 0.10 | 500350.00 | 11163.22 | 54220 |
| 是否属于劳动力老龄化家庭 | 0.19 | 0.00 | 1.00 | 0.32 | 54220 |

(续表 11)

| | | | | | |
|--------------|------|------|------|------|-------|
| 是否属于劳动力女性化家庭 | 0.45 | 0.00 | 1.00 | 0.18 | 54220 |
|--------------|------|------|------|------|-------|

数据来源：2009~2014 年农村固定观察点数据。

(三) 估计结果及分析

表 12 中，回归方程（1）和回归方程（2）分析每亩农业机械作业费用对农户粮食播种面积的影响；回归方程（3）和回归方程（4）分析每亩农业机械作业费用对农户粮食播种面积占比的影响。为了考察模型估计结果的稳健性，回归方程（1）和回归方程（3）控制了时间固定效应、村庄固定效应和省级层面的集聚效应（cluster effect）；回归方程（2）和回归方程（4）则控制了时间固定效应和农户固定效应（FE）。回归方程（1）与回归方程（2）呈现递进关系，回归方程（3）和回归方程（4）亦是如此，因为农户固定效应控制了农户层面的相关信息，所以，回归方程（2）和回归方程（4）相对完备。

表 12 反映了每亩农业机械作业费用变化对粮食播种面积变化的影响。在以播种面积为因变量的两个回归方程中，每亩农业机械作业费用分别在 10% 和 1% 的统计水平上显著，且估计系数都为负值，实证结果稳健。这说明，每亩农业机械作业费用增加将会导致农户减少粮食作物播种面积。在以播种面积占比为因变量的两个回归方程中，每亩农业机械作业费用都在 1% 的统计水平上高度显著，且估计系数为负值，实证结果稳健。这说明，每亩农业机械作业费用增加将导致农户减少粮食作物播种面积占比。综上，每亩农业机械作业费用的增加对粮食作物播种面积大小和粮食作物播种面积占比都产生了显著的负向影响。

表 12 每亩农业机械作业费用对农户粮食播种面积的影响

| | 播种面积 | | 播种面积占比 | |
|---------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | (1) | (2) | (3) | (4) |
| 户主年龄（年） | 0.000 (0.00) | 0.006* (0.00) | -0.000** (0.00) | 0.000** (0.00) |
| 户主受教育年限（年） | 0.007 (0.01) | 0.022* (0.01) | 0.000 (0.00) | 0.000 (0.00) |
| 是否村干部 | -0.028 (0.07) | -0.007 (0.08) | -0.005 (0.00) | -0.002 (0.00) |
| 是否党员 | 0.023 (0.05) | 0.003 (0.05) | -0.004* (0.00) | -0.001 (0.00) |
| 家庭土地亩数（对数） | 3.057*** (0.22) | 1.651*** (0.05) | 0.005 (0.01) | 0.005** (0.00) |
| 家庭劳动力人数（对数） | 0.330*** (0.07) | 0.217*** (0.05) | -0.007*** (0.00) | -0.006*** (0.00) |
| 家庭固定资产总金额（对数） | 0.054*** (0.01) | -0.002 (0.01) | -0.001** (0.00) | -0.001*** (0.00) |

(续表 12)

| | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 是否属于劳动力老龄化家庭 | -0.319*** (0.10) | -0.093 (0.07) | -0.007 (0.00) | 0.001 (0.00) |
| 是否属于劳动力女性化家庭 | -0.036 (0.11) | -0.279*** (0.09) | -0.005 (0.01) | 0.004 (0.00) |
| 每亩农业机械作业费用（村中值并取对数） | -0.266* (0.14) | -0.223*** (0.03) | -0.011*** (0.00) | -0.010*** (0.00) |
| 村庄固定效应 | 已控制 | 未控制 | 已控制 | 未控制 |
| 时间固定效应 | 已控制 | 已控制 | 已控制 | 已控制 |
| 省级集聚效应 | 已控制 | 未控制 | 已控制 | 未控制 |
| 农户固定效应 | 未控制 | 已控制 | 未控制 | 已控制 |
| 样本量 | 54211 | 54211 | 54211 | 54211 |
| 调整 R ² | 0.582 | -0.349 | 0.582 | -0.349 |
| AIC | -7.43E+04 | -1.15E+05 | -7.43E+04 | -1.15E+05 |

注：①使用每亩农业机械作业费用的村一级中值来消除单个农户每亩农业机械作业费用所带来的内生性问题（农户与农业机械化服务的供给者之间可能存在讨价还价的情况）；③***、**和*分别表示在 1%、5%、10% 的统计水平上显著。

表 13 反映了每亩农业机械作业费用变化对农户经济作物播种面积变化的影响，分成 5 个回归方程。回归方程（1）的因变量为经济作物（包括棉花、油料、麻类、蔬菜）播种面积之和在农作物总播种面积中的占比，回归方程（2）～（5）的因变量分别为棉花、油料、麻类和蔬菜的播种面积在农作物总播种面积中的占比。5 个回归方程全都控制了时间固定效应和农户固定效应。从估计结果来看，每亩农业机械作业费用的系数在 5 个回归方程中都为正向，但只在经济作物、棉花和蔬菜的回归方程中高度显著。这说明，每亩农业机械作业费用上涨会显著增加经济作物总体以及棉花和蔬菜的播种面积占比。

表 13 每亩农业机械作业费用对农户经济作物播种面积的影响

| | (1) 经济作物 | (2) 棉花 | (3) 油料 | (4) 麻类 | (5) 蔬菜 |
|------------|-------------------|------------------|--------------------|------------------|---------------------|
| 户主年龄（年） | -0.000* 0.00 | 0.002* (0.00) | 0.000 (0.00) | 0.000 (0.00) | 0.000 (0.00) |
| 户主受教育年限（年） | 0.00 (0.00) | 0.002 (0.00) | -0.001 (0.00) | 0.000 (0.00) | 0.000 (0.00) |
| 是否村干部 | 0.002 (0.00) | -0.003 (0.02) | 0.004 (0.01) | 0.001 (0.00) | 0.003 (0.00) |
| 是否党员 | 0.001 (0.00) | 0.018 (0.01) | -0.001 (0.00) | 0.000 (0.00) | 0.003 (0.00) |
| 家庭土地亩数（对数） | -0.005* (0.00) | 0.037* (0.02) | -0.014** (0.01) | -0.002 (0.00) | -0.013*** (0.00) |

(续表 13)

| | | | | | |
|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|-----------------|--------------------|
| 家庭劳动力人数(对数) | 0.006** (0.00) | 0.019 (0.02) | -0.002 (0.01) | 0.000 (0.00) | 0.002 (0.00) |
| 家庭固定资产总金额(对数) | 0.001*** (0.00) | 0.008*** (0.00) | 0.000 (0.00) | 0.000 (0.00) | 0.001*** (0.00) |
| 是否属于劳动力老龄化家庭 | -0.001 (0.00) | 0.040* (0.02) | -0.013* (0.01) | 0.000 (0.00) | 0.003 (0.00) |
| 是否属于劳动力女性化家庭 | -0.004 (0.01) | 0.03 (0.03) | -0.003 (0.01) | 0.000 (0.00) | 0.000 (0.01) |
| 每亩农业机械作业费用(村中值并取对数) | 0.010*** (0.00) | 0.035*** (0.01) | 0.002 (0.00) | 0.000 (0.00) | 0.007*** (0.00) |
| 村庄固定效应 | 未控制 | 未控制 | 未控制 | 未控制 | 未控制 |
| 时间固定效应 | 已控制 | 已控制 | 已控制 | 已控制 | 已控制 |
| 省级集聚效应 | 未控制 | 未控制 | 未控制 | 未控制 | 未控制 |
| 农户固定效应 | 已控制 | 已控制 | 已控制 | 已控制 | 已控制 |
| 样本量 | 54211 | 2988 | 14279 | 611 | 24357 |
| 调整 R ² | 0.009 | 0.154 | 0.012 | 0.272 | 0.008 |
| AIC | -1.15E+05 | -6.74E+03 | -3.64E+04 | -9.35E+03 | -7.34E+04 |

注: ①***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 的统计水平上显著; ②每亩农业机械作业费用、家庭土地亩数、家庭劳动力人数、家庭总固定资产金额均取自然对数。

表 12 和表 13 中的估计结果共同验证了上文提出的假说, 即粮食生产过程中使用农业机械化服务的单位成本上涨, 将导致农户减少粮食作物的播种面积占比, 而增加经济作物的播种面积占比。

表 14 进一步分析了粮食生产过程中每亩农业机械作业费用上涨结合农户劳动力老龄化 (“是否属于劳动力老龄化家庭” 变量) 和地理环境 (定义地理环境虚拟变量, 平原地区=1, 山岭地区=0) 对粮食播种面积占比的交叉影响。因变量均为粮食作物播种面积在农作物总播种面积中的占比, 分成 4 个回归方程: 回归方程 (1) 和回归方程 (2) 观察每亩农业机械作业费用和劳动力老龄化虚拟变量的交叉影响; 回归方程 (3) 和回归方程 (4) 观察每亩农业机械作业费用和地理环境虚拟变量的交叉影响。

表 14 每亩农业机械作业费用与劳动力老龄化、地理环境的交叉影响

| | (1) | (2) | (3) | (4) |
|------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 户主年龄(年) | -0.000** 0.00 | 0.000** 0.00 | -0.000** 0.00 | 0.000* 0.00 |
| 户主受教育年限(年) | 0.00 | 0.00 | 0.001 | 0.00 |
| 是否村干部 | -0.005 (0.00) | -0.002 (0.00) | -0.004 (0.00) | -0.002 (0.00) |

(续表 14)

| | | | | |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 是否党员 | -0.004* | -0.001 | -0.005* | -0.001 |
| | (0.00) | (0.00) | (0.00) | (0.00) |
| 家庭土地亩数(对数) | 0.005 | 0.005** | 0.006 | 0.007*** |
| | (0.01) | (0.00) | (0.01) | (0.00) |
| 家庭劳动力人数(对数) | -0.007*** | -0.006*** | -0.006*** | -0.008*** |
| | (0.00) | (0.00) | (0.00) | (0.00) |
| 家庭固定资产总金额(对数) | -0.001** | -0.001*** | -0.001** | -0.001*** |
| | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 是否属于劳动力女性化家庭 | -0.005 | 0.004 | -0.003 | 0.007* |
| | (0.01) | (0.00) | (0.01) | (0.00) |
| 每亩农业机械作业费用(村中值 并取对数) | -0.011*** | -0.010*** | -0.017*** | -0.016*** |
| | (0.00) | (0.00) | (0.00) | (0.00) |
| 每亩农业机械作业费用×劳动力 老龄化 | 0.001 | 0.00 | — | — |
| | (0.01) | (0.00) | — | — |
| 每亩农业机械作业费用×地理环 境 | — | — | 0.020*** | 0.021*** |
| | — | — | (0.01) | (0.00) |
| 村庄固定效应 | 已控制 | 未控制 | 已控制 | 未控制 |
| 时间固定效应 | 已控制 | 已控制 | 已控制 | 已控制 |
| 省级集聚效应 | 已控制 | 未控制 | 已控制 | 未控制 |
| 农户固定效应 | 未控制 | 已控制 | 未控制 | 已控制 |
| 样本量 | 54211 | 54211 | 50438 | 50438 |
| 调整 R ² | 0.582 | -0.349 | 0.592 | -0.369 |
| AIC | -7.43E+04 | -1.15E+05 | -6.98E+04 | -1.08E+05 |

注: ①***、**和*分别表示在 1%、5% 和 10% 的统计水平上显著; ②每亩农业机械作业费用、家庭土地亩数、家庭劳动力人数、家庭总资产金额均取自然对数。

从估计结果来看, 无论是控制了集聚效应还是控制了农户固定效应, 粮食生产过程中每亩农业机械作业费用与农户劳动力老龄化虚拟变量的交叉项在统计上都不显著。这说明, 每亩农业机械作业费用上涨对粮食作物播种面积占比的影响在劳动力老龄化农户和非劳动力老龄化农户之间不存在显著差异。每亩农业机械作业费用与农户地理环境虚拟变量的交叉项, 在控制了集聚效应或农户固定效应的回归中都显著, 且系数为正。这说明, 与地处山区的农户相比, 每亩农业机械作业费用上涨对平原地区农户粮食播种面积占比带来的负向影响较小。

六、结论

本文研究了中国农业机械化发展如何影响粮食播种面积, 将这个问题分解成两个可具体操作的问题进行分析: 其一, 农户是否使用农业机械化服务对农户粮食播种面积的影响; 其二, 每亩农业

机械作业费用变化对农户粮食播种面积的影响。研究结论如下：

第一，中国农户在粮食生产过程中已经开始广泛使用农业机械替代农业劳动力，且随着粮食生产中不同环节越来越多地使用农业机械化服务，农户粮食生产过程中的每亩农业机械作业费用逐年增加。

第二，实证研究结果表明，农户在粮食生产过程中是否使用农业机械化服务，无论是对其粮食播种面积大小，还是对其粮食播种面积占比，都没有显著影响。但是，粮食生产过程每亩农业机械作业费用的上涨，无论是对农户的粮食播种面积大小，还是对农户的粮食播种面积占比，都产生了显著的负向影响，即粮食生产过程中每亩农业机械作业费用上涨将显著减少农户的粮食播种面积及其占比。

第三，评估农户劳动力老龄化和地理环境与每亩农业机械作业费用的交叉影响，结果表明农户家庭劳动力老龄化强化或者削弱每亩农业机械作业费用的影响，但是如果农户处于平原地区，粮食生产过程中每亩农业机械作业费用上涨对农户粮食播种面积占比的负向影响将会被削弱。

本文的结论只限于小规模农户的情况，而对当前中国有些地区农村因土地流转形成的大规模农户或者大规模农场的情况，尚需斟酌和进一步的仔细研究。

参考文献

- 1.蔡昉, 2007:《中国流动人口问题》, 北京: 社会科学文献出版社。
- 2.曹阳、胡继亮, 2010:《中国土地家庭承包制度下的农业机械化》,《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。
- 4.陆文聪、梅燕, 2007:《中国粮食生产区域格局变化及其成因实证分析——基于空间计量经济学模型》,《中国农业大学学报(社会科学版)》第3期。
- 5.伍山林, 2000:《中国粮食生产区域特征与成因研究——市场化改革以来的实证分析》,《经济研究》第10期。
- 6.杨进、钟甫宁、陈志钢、彭超, 2016:《农村劳动力价格、人口结构变化对粮食种植结构的影响》,《管理世界》第1期。
- 7.周晶、陈玉萍、阮冬艳, 2013:《地形条件对农业机械化发展区域不平衡的影响》,《中国农村经济》第9期。
- 8.Cai, F. and M. Wang, 2010, "Growth and Structural Changes in Employment in Transition China", *Journal of Comparative Economics*, 38(1): 71-81.
- 9.Ji, C., H. Guo, S. Jin, and J. Yang, 2017, "Outsourcing Agricultural Production: Evidence from Rice Farmers in Zhejiang Province", *Plos One.*, 12(1).
- 10.Wang, X., F. Yamauchi, K. Otsuka, and J. Huang, 2014, "Wage Growth, Landholding, and Mechanization in Chinese Agriculture", World Bank Policy Research Working Paper No. 7138, <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2016.05.002>.
- 11.Yang, J., Z. Huang, X. Zhang, and R. Thomas, 2013, "The Rapid Rise of Cross-regional Agricultural Mechanization

- Services in China”, *American Journal of Agricultural Economics*, 95(5): 1245-1251.
- 12.Zhang, X., J. Yang, and S. Wang, 2011, “China Has Reached the Lewis Turning Point”, *China Economic Review*, 22(4): 542-554.
- 13.Zhang, X., J. Yang, and R. Thomas, 2017, “Mechanization Outsourcing Cluster and Division of Labor in Chinese Agriculture”, *China Economic Review*, 43(1):184-195.

(作者单位: ¹华中科技大学经济学院;
²农业部农村经济研究中心固定观察点办公室;
³浙江大学中国农村发展研究院;
⁴国际食物政策研究所)
(责任编辑: 黄慧芬)

The Impact of Agricultural Mechanization on Structure Adjustment of Grain in China

Yang Jin Wu Bi Jin Songqing Chen Zhigang

Abstract: This article examines the impact of the rapid development of agricultural mechanization in China on the sown area of grain. The study focuses on two questions, namely, whether the use of agricultural mechanization services affects the grain production structure, and whether the unit cost of mechanization services affects the grain production structure. It finds that the use of agricultural mechanization services has no significant impact on the grain production structure adjustment, but the rising unit cost of mechanization services has a positive impact on the structure adjustment. In addition, for households located in plain areas, the rising unit cost of mechanization services is found to weaken the negative impact of mechanization on the structure adjustment.

Key Words: Agricultural Mechanization; Grain Production; Structure Adjustment