

中国主要农产品生产的机械劳动力 替代弹性分析^{*}

——基于不同弹性估计方法的比较研究

闵 师 (北京大学现代农学院中国农业政策研究中心 北京 100871)

项 诚 (中国农业科学院农业经济与发展研究所 北京 100081)

赵启然 (中国农业大学经济管理学院 北京 100083)

王晓兵 (北京大学现代农学院中国农业政策研究中心 北京 100871)

内容提要: 本文利用 1984—2012 年省级面板数据,估计了小麦、玉米、粳稻、大豆、棉花和油菜籽 6 种主要农产品的生产函数与效率方程,并着重比较分析了不同农产品的机械劳动力替代弹性。研究表明,直接替代弹性与 Allen 替代弹性方法低估了农产品生产的机械劳动力替代弹性,而 Morishima 替代弹性可以较好地反映机械劳动力替代弹性。在 6 种主要农产品生产中,机械对劳动力都有显著的替代性;其中,小麦生产作业中机械最大程度地替代了劳动力投入,而其他农产品尤其是棉花与粳稻生产的机械化有较大发展潜力。本文的研究结果不仅对未来相关研究提供了重要的理论与实证参考,而且对进一步推动我国农业机械化的政策制定提供了实证依据。

关键词: 农产品生产; 机械化; 劳动力; 替代弹性

DOI:10.13246/j.cnki.jae.2018.04.001

一、引 言

农村劳动力转移就业显著提高了农民收入,同时对我国以小农经营为主的农业发展带了挑战与机遇(陈素琼等,2012;王晓兵等,2016)。近年来,随着我国劳动力工资不断上涨,农村青壮年劳动力陆续脱离农业,开始兼业或逐渐全职从事非农劳动(de Brauw等,2002;Wang等,2016)。根据技术变迁假说(Binswanger等,1978;Hayami等,1985;Hicks,1932),生产要素的相对价格变动决定技术变革的方向。农业劳动力机会成本的上升会诱导农民采用劳动力节约型技术或扩大经营规模实现规模效率,例如,土地集约化、规模化、农业专业化与机械化(Huang等,2009;Lin,1991;Wang等,2017;Wang等,2016;Yang等,2013;盖庆恩等,2014;李宾等,2014;苏卫良等,2016;王晓兵等,2016;应瑞瑶等,2013;郑旭媛等,2017)。2000年以来,我国农业生产机械化水平迅速提高,2015年全国机耕、机播、机收面积占农作物总播种面积的比例分别达72%、52%和53%,比2000年(40%、26%和17%)增加了26个百分点以上(农业部,2001和2016)。

要素替代弹性是投入要素比例的变化与要素边际替代率变化关系的衡量,反映了要素配置对要

^{*} 项目来源:国家自然科学基金项目(编号:71673008、71303228和71373255),中央级公益性科研院所基本科研业务费项目(编号:1610052016010)。项诚系本文通讯作者

素相对价格变化反应的敏感性(胡瑞法等 2006; 张明海 2002), 而由于资源禀赋不同催生的要素替代弹性的差异是农业生产经营方式演变差异的重要原因之一(应瑞瑶等 2013)。不同国家资源禀赋的差异也导致了不同的技术变迁路径, 如美国以机械化生产替代劳动力, 而日本则采用农化技术替代稀缺的土地资源(Hayami, 1969)。准确地计算机械劳动力替代弹性不仅能够了解机械化对农业劳动力的替代强度, 而且有助于决策者根据要素价格变化而改善资源配置。应瑞瑶等(2013)研究表明, 江浙两省机械对劳动力替代弹性的差异是影响粮食经营方式的重要原因。郑旭媛等(2017)进一步阐释了农户面对劳动力成本上升而用机械替代劳动的机制与约束条件, 论证了地形地貌决定的机械劳动替代难度对农户利用机械替代劳动和农业机械化进程的影响与机制。因此, 分析农产品生产中的机械对劳动力的替代效应, 对判断未来农业生产成本变化、转型升级路径和相关政策制定都具有重要的现实意义(王晓兵等 2016)。

有关中国农业生产中机械化对劳动力投入的替代效应已经得到学者的广泛关注(Wang 等, 2016; 林善浪等 2017; 王晓兵等 2016; 周振等 2016)。例如, 马凯等(2011)利用全国 1978—2008 年的统计数据, 实证分析了粮食生产中农业机械总动力与劳动力投入之间的关系。郝枫(2015)利用 1982—2000 年我国农业产出与各类投入的统计数据, 计算并比较分析了各类投入要素之间的直接替代弹性、Allen 替代弹性、Morishima 替代弹性和影子替代弹性。然而, 这两项研究仅分析了农业或粮食总体生产过程中机械劳动的替代弹性, 并未区分不同农产品生产中机械劳动力替代弹性的差异。不同农产品的农艺性状差异, 决定其生产中机械劳动力替代弹性上的差异, 故有效地测度各类农产品机械劳动力之间的替代能力, 对合理制定相关物质资本与人力资本投资政策更具有指导价值(郝枫, 2015)。

部分学者也尝试考察了不同农产品生产中机械对劳动力的替代效应。运用 1979—2012 年我国油菜生产数据, 李谷成等(2015)研究表明, 油菜生产中机械对劳动力的替代主要发生在 20 世纪 90 年代以后, 而在此前替代效应并不明显。王晓兵等(2016)通过计算玉米生产中机械劳动力的 Allen 替代弹性, 发现 1984—2012 年玉米生产中机械对劳动力的平均替代较强, 这表明随着农业劳动力资源越来越稀缺, 玉米种植户倾向于采用机械化生产替代稀缺的劳动力资源, 以确保玉米产量。Wang 等(2016)基于前沿生产函数分别计算了小麦、玉米、粳稻、黄豆、棉花和油菜籽等农产品生产中机械与劳动力的 Morishima 替代弹性, 结果表明, 尽管不同农产品生产的机械劳动力替代弹性存在异质性, 所关注农产品的机械化对劳动力的替代效应都普遍较强。

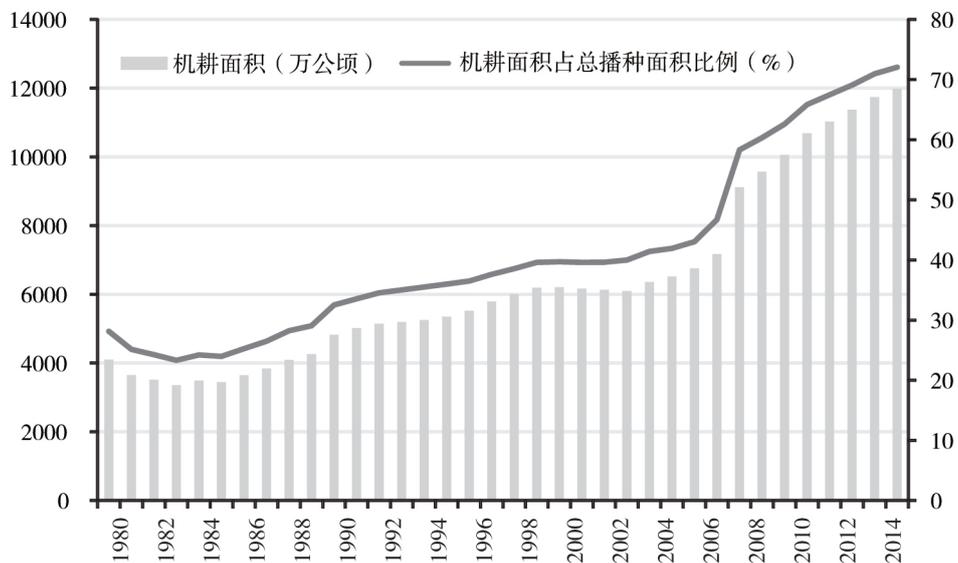
现有研究对理解我国劳动力工资上涨背景下农业劳动力与机械等要素配置及农业机械化有重要启示, 但仍存在局限性。首先, 大部分研究的对象比较单一, 仅考虑一种作物或农业部门整体的机械劳动力替代弹性(郝枫 2015; 李谷成等 2015; 林善浪等 2017; 马凯等 2011; 王晓兵等 2016; 应瑞瑶等 2013; 郑旭媛等 2017)。其次, 机械劳动力替代弹性估算存在多种方法, 其中部分计算方法会引起替代弹性估计偏误, 导致各相关研究结果缺乏可比性。尽管 Wang 等(2016)的研究比较分析了不同农产品生产中机械与劳动力替代弹性, 但仅估算了 Morishima 替代弹性, 缺乏如郝枫(2015)研究中对各个替代弹性估算结果的比较。

本文试图基于不同的要素替代弹性估计方法, 比较分析中国主要农产品生产中机械对劳动力的替代效应, 为判断未来农业生产成本变化、转型升级路径及相关政策制定提供实证依据。

二、我国农业生产机械化发展

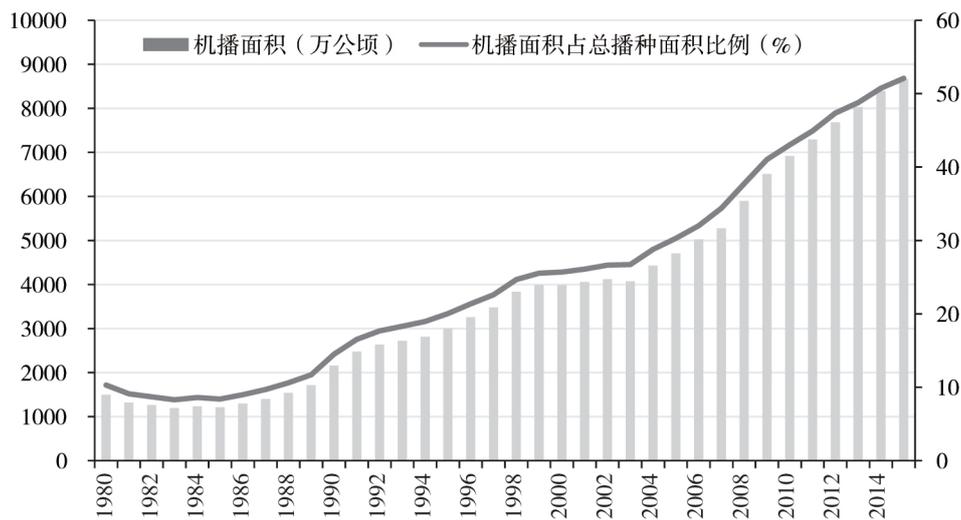
近年来, 受劳动力工资快速上涨、农村劳动力相对短缺的制约, 我国农业机械化生产已逐步彰显其优势。在家庭联产承包责任制执行初期, 剩余劳动力的存在以及土地细碎化使我国农业生产的机

械化水平显著下降,并停滞了长达10年之久(Wang等,2016)。然而,随着非农部门就业机会的增多,过去15年我国农业机械化发展水平不断攀升。图1~3表明,1990—2015年我国农作物机耕、机播和机收面积的年均增长率分别达3.8%、5.8%和8.7%(农业部,2016;中国农业年鉴编辑委员会,1981—2015)。截至2015年,全国农作物机耕面积达1.2亿公顷,机播和机收面积也都上升至8700万公顷左右,分别占作物总播种面积的72%、52%和53%。



数据来源 《中国农业年鉴》(中国农业年鉴编辑委员会,1981—2015)和《中国农业统计资料》(农业部,2016)

图1 1980—2015年全国农作物生产机耕面积



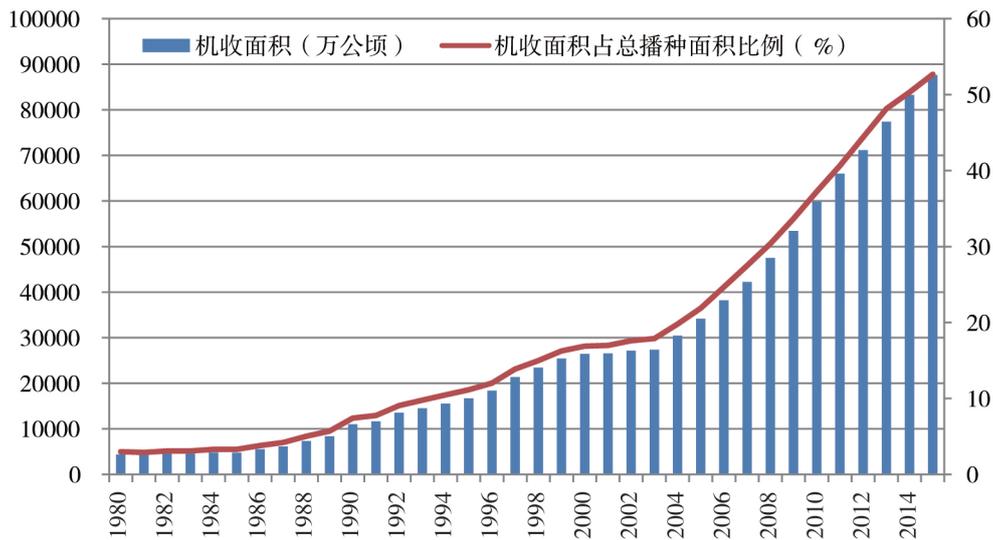
数据来源 《中国农业年鉴》(中国农业年鉴编辑委员会,1981—2015)和《中国农业统计资料》(农业部,2016)

图2 1980—2015年全国农作物生产机播面积

三、生产要素替代弹性估算方法

(一) 农产品生产函数及要素生产弹性

遵循 Battese 等(1995)、Kumbhakar 等(2000)和王晓兵等(2016)的研究方法,在非中性技术变革



数据来源 《中国农业年鉴》(中国农业年鉴编辑委员会,1981—2015) 和《中国农业统计资料》(农业部,2016)

图3 1980—2015年全国农作物生产机收面积

假设条件下,第*i*省在第*t*年某种农产品产量 Q_{it} 的随机前沿生产函数模型可以表达为:

$$Q_{it} = f(X_{it}, T; \beta) + v_{it} - u_{it} \quad (1)$$

$$\mu_{it} = \gamma_0 + \gamma_1 \ln(S_{it}) + \varepsilon_{it} \quad (2)$$

其中,方程(1)中 X_{it} 代表各投入要素的向量,包括劳动力(X_1)、机械(X_2)和化肥(X_3)等; T 是时间趋势变量; β 是待估计参数;方程 $f(X_{it}, T; \beta)$ 在这里采用超越对数生产函数的形式。 v_{it} 是满足 $N(0, \sigma_v)$ 分布的随机误差项; u_{it} 表示技术效率损失项, $\mu_{it} \sim N^+(\mu_{it}, \sigma_u)$ 。

方程(2)假设技术效率是经营耕地面积 S_{it} 的函数,其中 γ_0 与 γ_1 是效率方程的待估计参数, ε_{it} 为误差项。

此外,考虑到在本研究中方程(1)是超越对数生产函数,各变量均采用对数形式,因此待估计的斜率系数 β 即测度了 Q_{it} 对 X_{it} 的弹性,也就是给定 X_{it} 变化的百分数引起 Q_{it} 变化的百分数(Gujarati and Porter, 2005)。

(二) 机械劳动力替代弹性

要素替代弹性是生产理论中一个非常重要的概念,最初由Hicks(1932)提出,几乎同时Robinson(1933)利用数学公式对要素替代弹性进行了定义。从实质上来看,Hicks(1932)与Robinson(1933)对要素替代弹性的定义基本上是等价的,即给定产出不变,边际技术替代率的变动引起的投入要素比率的相对变动。

鉴于方程(1)中采用超越对数生产函数,并包含了至少3种投入要素,通过梳理已有文献(Allen, 1938; Blackorby等,1989; Chambers,1988; del Valle等,2000; Hoff,2004; Koizumi,1976; Kuga等,1972; McFadden,1963; Sajadifar等,2010; Sato等,1973; Wang等,2016; 郝枫,2015; 鲁成军等,2008; 王晓兵等,2016),本文简单介绍以下几种不同的机械劳动力替代弹性计算方法。

1. 直接替代弹性(DES)。

多种投入要素情形下的直接要素替代弹性(DES)可以通过自然扩展Hicks的两种投入要素的替代弹性而获得。这样,机械投入 x_i 对劳动力投入 x_j 的直接替代弹性可以写为:

$$\sigma_{ij}^{DES} = \frac{x_i f_i + x_j f_j}{x_i x_j} * \frac{f_i f_j}{2f_{ij} f_i f_j - f_{ii} f_j^2 - f_{jj} f_i^2} \quad (i \neq j) \tag{3}$$

其中 $f_i = \frac{\partial \ln Q}{\partial \ln x_i} \times \frac{Q}{x_i}$ $f_{ii} = \frac{\partial f_i}{\partial x_i}$ $f_{ij} = \frac{\partial f_i}{\partial x_j}$ 。该 DES 测度了当给定产出、其他要素投入数量及边际产品价格不变时,要素的替代弹性(Blackorby and Russell,1989);然而,长期来看 DES 的前提很难满足,因此实际上该 DES 应该解释为短期替代弹性(Chambers,1988)。

2. Allen 替代弹性(AES)。

跟据 Allen(1938)对多要素生产函数中要素替代弹性的计算公式,生产函数(1)的机械劳动力的 Allen 替代弹性(AES)可以表达为:

$$\sigma_{ij}^{AES} = \frac{\sum_{k=1}^n x_k f_k}{x_i x_j} * \frac{H_{ij}}{|H|} \quad (i \neq j) \tag{4}$$

$$H = \begin{bmatrix} 0 & f_1 & \cdots & f_n \\ f_1 & f_{11} & \cdots & f_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_n & f_{n1} & \cdots & f_{nn} \end{bmatrix} \tag{5}$$

其中 n 表示 n 种投入要素,其取值 $k=(1, \dots, n)$ 表示第 k 种投入要素; H 是加边黑塞矩阵(Hessian Matrix),可以表达为式(5)。那么, $|H|$ 是 H 的绝对值,而 H_{ij} 是 H 的 (i, j) 余子式。如果只考虑两种投入要素,DES 应与 AES 计算结果相同;但当投入要素大于两种时,DES 将小于 AES。Blackorby and Russell(1989)认为尽管 Allen 替代弹性努力尝试去弥补直接替代弹性 DES 的缺点,但是由于其偏离了 Hicks 对替代弹性的原始定义,无法通过边际替代率来解释,因此在一定程度上 AES 并不是十分准确。

3. Morishima 替代弹性(MES)。

Morishima 替代弹性模型最早由 Morishima(1967)提出,主要用于估计两种投入要素比例变化对价格变化的反应程度。由于 MES 的多种优良性质并且更接近于传统意义上的 Hicks 的要素替代弹性(Blackorby 等,1981 and 1989; Koetse 等 2008),其主要被应用于估测要素替代弹性的研究中(Sharma 2002; Wang 等 2016; 石建勋等 2016; 张帅 2015)。

根据已有文献中 MES 的计算方法(Kuga 等,1972),本文所关注的机械劳动力的 MES 替代弹性计算公式可以写为:

$$\sigma_{ij}^{MES} = \frac{f_j}{x_i} * \frac{H_{ij}}{|H|} - \frac{f_j}{x_j} * \frac{H_{jj}}{|H|} \quad (i \neq j) \tag{6}$$

其中 H 仍是加边黑塞矩阵(Hessian Matrix), H_{ij} 是 H 的 (i, j) 余子式。

总的来说,直接替代弹性(DES)、Allen 替代弹性(AES)与 Morishima 替代弹性(MES)的方法被广泛地运用于替代弹性的计算。理论上 DES、AES 和 MES 都可以通过成本函数计算,但由于价格信息无法获取的限制,这三种弹性往往难以估算。因此,本文所介绍的 DES、AES 和 MES 都是利用生产函数估计结果进行测算,而不需要重新考虑要素成本函数等相关信息。然而,这几种方法在使用过程中的优劣势也有所不同,例如, MES 计算结果的准确性显著优越于 AES 和 DES(Blackorby 等,1981 and 1989; 郝枫 2015)。虽然也存在其他要素替代弹性的计算方法,例如:Shadow 替代弹性(McFadden, 1963),但其他方法都无法摆脱对成本函数的依赖,在计算过程中比起 AES 和 DES 要更加复杂。因此,本文着重关注各主要农产品生产中机械劳动力的 DES、AES 和 MES,而未涉及其他替代弹性的计

算方法。

四、实证分析

(一) 数据来源

本文数据主要来自《全国农产品成本收益资料汇编》(国家发改委,1985—2013)。本研究主要关注小麦、玉米、粳稻、棉花、大豆和油菜籽6种农作物,这些作物在2012年的种植面积和占当年全国农作物总播种面积的60%以上。在此基础上,本文构建了1982—2012年小麦、玉米、粳稻、大豆、棉花和油菜籽等作物的单产以及劳动力、机械、化肥等要素投入的省级面板数据。此外,本研究也从《中国农村住户调查年鉴》(国家统计局,1985—2013)搜集了各省农村居民人均经营耕地面积和农村家庭户均常住人口数据,以获取各省户均经营耕地面积数据。文中涉及的所有价值数据均以2000年为基准的不变价格计算。数据的统计性描述分析见表1。

表1 实证模型中关键变量的统计性描述分析

项目	单位	小麦	玉米	粳稻	大豆	棉花	油菜籽
单产	公斤/亩	256.92 ^a	374.45	463.66	115.64	68.97	109.56
		(78.68) ^b	(95.38)	(76.24)	(34.40)	(17.55)	(30.95)
劳动力	天/亩	11.06	13.34	16.04	9.30	35.63	14.18
		(5.58)	(7.36)	(7.81)	(4.69)	(13.77)	(6.78)
机械	元/亩	36.16	24.73	50.68	17.38	27.58	14.45
		(29.26)	(21.79)	(36.05)	(18.44)	(28.18)	(13.08)
化肥	公斤/亩	19.41	19.36	24.28	6.03	26.45	14.61
		(7.58)	(6.89)	(9.21)	(4.14)	(11.06)	(7.41)
耕地面积	亩/户	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40	10.40
		(8.45)	(8.45)	(8.45)	(8.45)	(8.45)	(8.45)
涉及省份		27	22	17	20	17	20

数据来源:农产品单产、劳动力、机械、化肥等投入要素来自《全国农产品成本收益资料汇编》(1985—2013),经营耕地面积来自《中国农村住户调查年鉴》(1985—2013年)。^a所列数据为平均值,^b括号所列数值为标准差

(二) 实证结果与讨论

利用1984—2012年全国各省主要农产品生产投入与产出数据,基于省级固定效应模型,本文估计了随机前沿生产函数(1)与效率方程(2)。表2汇报了小麦、玉米、粳稻、大豆、棉花和油菜籽6种农产品的生产函数与效率方程的估计结果。生产函数中主要包括了劳动力、机械与化肥3种投入要素与时间变量,同时为了更好地理解各要素对农产品产量的影响,也包括了各变量的二次方及交叉项。效率函数则包括了经营耕地面积及时间变量。

鉴于本文主要目标是比较分析基于不同替代弹性方法计算的不同农产品生产的机械劳动力替代弹性,而采用的数据与模型与Wang等(2016)一致,在此不再对表2中的估计结果作进一步解释。详细阐述请参考(Wang等2016)的模型估计结果。另外,利用表2模型估计结果,根据3.2部分介绍的替代弹性计算方法,我们进一步估算了6种主要农产品生产中各要素的产出弹性及3种机械劳动力替代弹性(见表3)。

表2 六种主要农产品的随机前沿生产函数与效率方程估计结果

项目	小麦	玉米	粳稻	大豆	棉花	油菜籽
劳动力	0.42*** (18.22)	0.68*** (22.82)	0.58*** (19.17)	0.52*** (10.39)	0.49*** (18.72)	0.51*** (7.91)
机械	0.40*** (17.04)	0.15*** (8.79)	0.19*** (7.55)	0.29*** (7.86)	0.24*** (8.52)	0.17*** (3.97)
化肥	0.19*** (7.15)	0.14*** (4.67)	0.23*** (8.32)	0.22*** (6.04)	0.24*** (12.52)	0.30*** (5.92)
时间	-0.002 (0.88)	0.02*** (10.00)	0.01*** (3.89)	0.01 (1.61)	0.03*** (4.27)	0.02*** (4.42)
劳动力 ²	0.07 (1.41)	-0.40*** (6.25)	-0.07 (0.44)	0.23* (1.75)	-0.57*** (3.49)	0.04 (0.36)
机械 ²	0.17*** (3.70)	-0.11*** (3.43)	0.07* (1.73)	0.07*** (4.74)	0.03 (0.90)	0.04* (1.68)
化肥 ²	0.04 (0.85)	0.02 (0.52)	0.03** (2.29)	0.06* (1.77)	0.20*** (5.88)	0.32*** (2.61)
时间 ²	0.001** (2.26)	0.002*** (6.15)	-0.002*** (3.17)	0.002*** (3.25)	-0.002*** (3.94)	-0.00001 (0.00)
劳动力×机械	0.03 (0.30)	-0.56*** (7.22)	0.65*** (5.30)	0.08 (0.61)	0.39*** (2.69)	-0.03 (0.29)
劳动力×化肥	-0.24** (2.15)	-0.21** (2.02)	0.37** (2.21)	0.02 (0.18)	0.23** (2.47)	-0.002 (0.01)
机械×化肥	0.09 (0.83)	-0.03 (0.36)	0.12 (1.29)	0.13** (2.31)	0.13 (1.52)	0.20** (2.46)
劳动力×时间	-0.02*** (4.81)	0.01 (1.59)	-0.05*** (7.08)	0.003 (0.26)	-0.05*** (8.54)	-0.01 (0.94)
机械×时间	-0.02*** (5.61)	-0.005** (2.31)	-0.003 (0.87)	-0.02*** (5.04)	-0.01*** (4.45)	-0.01*** (2.78)
化肥×时间	0.002 (0.50)	0.01* (1.68)	0.01 (1.19)	0.007*** (2.73)	0.02*** (5.73)	0.01 (0.33)
常数项	-4.89*** (39.35)	-5.73*** (18.90)	-5.61*** (28.04)	-3.78*** (19.56)	-0.13** (2.20)	-3.34*** (22.69)
效率方程						
耕地面积	-0.52 (0.82)	-1.54** (2.50)	-2.60*** (3.09)	-0.48 (0.13)	-0.83 (0.18)	-0.83 (0.18)
时间	-0.03 (1.30)	-0.03** (2.00)	-0.19*** (5.91)	0.04 (0.41)	-0.28 (1.04)	-0.28 (1.04)
常数项	-1.86** (2.03)	-0.56 (0.67)	1.04 (0.89)	-2.88 (0.36)	-9.50 (0.74)	-1.64 (0.44)
省虚拟变量	控制	控制	控制	控制	控制	控制
Wald chi ² (13)	4.55e+06	3.90e+06	6.09e+06	1.16e+06	9.93e+06	1.24e+06
Log likelihood	376.97	319.37	354.080	91.055	102.7383	47.065
样本数	625	596	439	406	430	456

注: 括号内是 t 统计量绝对值; *、**、*** 分别表示 p<0.10、p<0.05、p<0.01。该表汇报结果理论上应与 Wang 等(2016) 的模型回归结果一致,个别差异主要来源于自然数位数取值不同

表 3 六种农产品生产的要素产出弹性与机械劳动力替代弹性 (1984—2012 年)

品种	要素产出弹性			机械劳动力替代弹性		
	劳动力	机械	化肥	DES	AES	MES
小麦	0.360	0.400	0.191	3.049	3.816	10.00
玉米	0.444	0.103	0.155	1.092	1.317	2.94
粳稻	0.414	0.175	0.243	0.335	0.475	1.02
大豆	0.521	0.203	0.242	1.203	1.536	2.86
棉花	0.316	0.193	0.323	0.499	0.547	1.56
油菜籽	0.489	0.145	0.318	1.477	1.757	3.03

估算结果显示 6 种农产品的 3 种要素产出弹性之间存在一定的异质性。首先,所有要素产出弹性都介于(0,1),这说明产出增加的幅度小于投入要素增加的幅度,也就是说尽管进一步增加各要素投入可以提高总产出,但边际产出是降低的。其次,除了小麦以外,玉米等其他农产品生产时增加一单位的劳动力要素投入而增加的产出要明显高于机械与化肥要素的边际产出。

机械劳动力替代弹性的估算结果表明,1984—2012 年我国主要农产品生产过程中机械要素投入对劳动力投入的替代性较强。尽管基于不同的替代弹性估算方法,表 3 汇报的大部分机械对劳动力的替代弹性均大于 1,这表明在过去 30 年,我国农产品生产中机械对劳动力存在明显的替代效应,通过采用机械化有效地减少了劳动力投入,并确保农产品的产量。

同时,不同农产品间机械劳动力替代弹性的差异,反映了各农产品生产中机械对劳动力替代强度的差异以及进一步采用机械化的发展潜力。如表 3 所示,在本文所关注的 6 种农产品中,小麦生产的机械劳动力替代弹性最大,其次是油菜籽、玉米和大豆,棉花和粳稻的最小。这表明,在小麦生产中机械最大强度地替代了劳动力,而在棉花与粳稻生产过程中机械对劳动力的替代性较弱。这也从另外一个角度反映了在当前我国农业劳动力资源变得越来越相对稀缺的背景下,除小麦之外的其他农产品生产,特别是棉花与粳稻,具有较大的机械化发展潜力,在未来农业生产中需要加强对这些农产品的农业机械化推广。

此外,机械劳动力的直接替代弹性(DES)、Allen 替代弹性(AES)与 Morishima 替代弹性(MES)存在明显差异,但在不同农产品机械劳动力替代弹性的大小排序方面比较一致。在 3 种弹性估算结果中,DES 和 AES 数值均较 MES 小。正如前文所述,当投入要素大于等于 3 种时,DES 将小于 AES。由于文中计算的是 1984—2012 年一个较长时间范围内全国主要农产品的平均机械劳动力替代弹性,无法满足 DES 前提条件,故其计算结果不准确;尽管 AES 对 DES 进行了一定修正,但因其偏离了替代弹性的定义,其准确性也受到普遍质疑。Morishima 替代弹性不仅从理论上较好地诠释了要素替代弹性,而且从计算结果上看也更为明显地反映出了不同农产品生产中机械劳动力替代弹性的异质性。而且,与 MES 的计算结果相比,DES 与 AES 的计算结果明显低估了中国主要农产品生产的机械劳动力替代弹性。

五、结 论

基于 1984—2012 年省级面板数据,本文估计了中国主要农产品的生产函数与效率方程,并着重比较分析了不同农产品的机械劳动力替代弹性。结果表明,直接替代弹性(DES)与 Allen 替代弹性(AES)方法低估了农产品生产的机械劳动力替代弹性,而 Morishima 替代弹性(MES)从理论与实证上都可以较好地反映机械劳动力替代弹性。计算的小麦、玉米、粳稻、大豆、棉花和油菜籽 6 种农产品

的机械劳动力替代弹性大部分都大于1,说明近年来中国农业劳动力成本呈现持续上升的趋势,农户可以通过产品结构调整和要素投入结构调整实现作业机械化以缓解劳动成本上升的冲击(郑旭媛等,2017)。此外,研究也表明,当前小麦生产作业中机械要素投入已较大程度地替代了劳动力投入,而其他农产品尤其是棉花与粳稻生产在采用机械化方面仍有较大发展潜力。

本文的研究结论具有重要启示意义。

首先,笔者计算并比较分析了6种主要农产品的机械劳动力替代弹性,为进一步推动我国各农产品生产机械化发展的政策制定提供实证依据。本研究计算的六种农产品的机械劳动力替代弹性大部分大于1,充分反映了当前机械替代劳动力的发展趋势,其中小麦生产中机械已较大程度地替代了劳动力,而棉花与粳稻生产具有较大的进一步发展机械化的潜力。

其次,比较分析了几种常用的要素替代弹性计算方法(DES、AES和MES)在我国主要农产品生产的机械劳动力替代弹性计算中的应用,为未来相关研究提供了重要的理论与实证参考。当前分析农产品生产各投入要素间替代弹性的大部分研究对象比较单一,并且估算方法不太一致,导致各相关研究结果缺乏可比性。本文比较并计算了不同的要素替代弹性,为相关研究提供新的实证依据。

最后,随着非农就业工资(或农业生产机会成本)持续增长和土地流转市场不断发展,我国以农户家庭经营为主的土地经营规模呈增长趋势,机械投入有效地替代劳动投入仍是未来农业生产的重要发展方向。农村资本市场的开放和各地迅速发展起来的有偿社会化服务、机械服务体系不仅缓解农业生产中的劳动力约束,同时克服了许多农户因耕地经营规模扩大而受到的机械投资约束,改善农户对资本和劳动的配置,使其能够有效的提高最优生产经营规模和确保粮食生产。

参 考 文 献

1. Allen R. G. D. *Mathematical Analysis for Economists*. London: Macmillan press ltd. ,1938
2. Battese G. E. ,T. J. Coelli. A Model for Technical Inefficiency Effects in a Stochastic Frontier Production Function for Panel Data. *Empirical Economics* ,1995 ,20(2) : 325~332
3. Binswanger H. P. ,V. W. Ruttan. *Induced Innovation: Technology ,Institutions ,and Development*. Baltimore: Johns Hopkins University Press ,1978
4. Blackorby C. ,R. R. Russell. The Morishima Elasticity of Substitution; Symmetry ,Constancy ,Separability ,and its Relationship to the Hicks and Allen Elasticities. *Review of Economic Studies* ,1981 ,48(1) : 147~158
5. Blackorby C. ,R. R. Russell. Will the Real Elasticity of Substitution Please Stand Up? (A Comparison of the Allen/Uzawa and Morishima Elasticities) . *The American Economic Review* ,1989 ,79(4) : 882~888
6. Chambers R. G. *Applied Production Analysis: A Dual Approach*. Cambridge: Cambridge University Press ,1988
7. de Brauw A. ,J. Huang S. Rozelle J. Zhang Y. Zhang. The Evolution of China's Rural Labor Markets During the Reforms. *Journal of Comparative Economics* ,2002 ,30(2) : 329~353
8. del Valle J. J. Astorkiza K. Astorkiza. Estimating the Elasticity of Substitution among Inputs Making up Fishing Effort: An Application to the VIII Division European Anchovy Fishery. 10th International Institute of Fisheries Economics and Trade(IIFET) Conference ,Corvallis ,Oregon ,U. S. A ,2000
9. Gujarati D. N. ,D. C. Porter. *Basic Econometrics*. New York: McGraw-Hill/Irwin ,2005.
10. Hayami Y. Sources of Agricultural Productivity Gap Among Selected Countries. *American Journal of Agricultural Economics* ,1969 ,51(3) : 564~575
11. Hayami Y. ,V. W. Ruttan. *Agricultural Development: An International Perspective*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press ,1985
12. Hicks J. R. *The Theory of Wages*. London: Macmillan press ltd. ,1932
13. Hoff A. The Linear Approximation of the CES Function with n Input Variables. *Marine Resource Economics* ,2004 ,19(3) : 295~306
14. Huang J. ,Y. Wu S. Rozelle. Moving off the Farm and Intensifying Agricultural Production in Shandong: A Case Study of Rural Labor Market Linkages in China. *Agricultural Economics* ,2009 ,40(2) : 203~218

15. Koetse M. J. ,H. L. F. de Groot ,R. J. G. M. Florax. Capital-energy Substitution and Shifts in Factor Demand: A Meta-analysis. *Energy Economics* 2008 30(5) : 2236~2251
16. Koizumi T. A Further Note on Definition of Elasticity of Substitution in Many Input Case. *Metroeconomica* ,1976 28(1-2-3) : 152~155
17. Kuga K. ,T. Murota. A Note on Definitions of Elasticity of Substitution in Many Input Case. *Metroeconomica* ,1972 24(3) : 285~290
18. Kumbhakar S. C. ,M. Denny ,M. Fuss. Estimation and Decomposition of Productivity Change When Production is not Efficient: A Paneldata Approach. *Econometric Reviews* 2000 19(4) : 312~320
19. Lin J. Y. Prohibition of Factor Market Exchanges and Technological Choice in Chinese Agriculture. *The Journal of Development Studies* ,1991 27(4) : 1~15
20. McFadden D. Constant Elasticity of Substitution Production Functions. *The Review of Economic Studies* ,1963 30(2) : 73~83
21. Morishima M. A Few Suggestions on the Theory of Elasticity. *Economic Review* ,1967 16: 144~150
22. Robinson J. V. *The Economics of Imperfect Competition*. London: Macmillan ,1933
23. Sajadifar S. ,A. Arakelyan ,N. khiabani. The Linear Approximation of the CES Function to Parameter Estimation in CGE Modeling. *International Conference on Business and Economics Research(ICBER)* ,Kuala Lumpur ,Malaysia 2010
24. Sato R. ,T. Koizumi. On the Elasticities of Substitution and Complementarity. *Oxford Economic Papers* ,1973 25(1) : 44~56
25. Sharma S. C. The Morishima Elasticity of Substitution for the Variable Profit Function and the Demand for Imports in the United States. *International Economic Review* 2002 43(1) : 115~135
26. Wang X. ,J. Huang ,S. Rozelle. Off-farm Employment and Agricultural Specialization in China. *China Economic Review* ,2017 42: 155~165
27. Wang X. ,F. Yamauchi J. Huang. Rising Wages ,Mechanization and the Substitution between Capital and Labor: Evidence from Small Scale Farm System in China. *Agricultural Economics* 2016 47(3) : 309~317
28. Yang J. Z. Huang X. Zhang T. Reardon. The Rapid Rise of Cross-Regional Agricultural Mechanization Services in China. *American Journal of Agricultural Economics* 2013 95(5) : 1245~1251
29. 陈素琼 ,张广胜. 农村劳动力转移对水稻生产技术效率的影响: 存在代际差异吗——基于辽宁省的调查. *农业技术经济* ,2012(12) : 31~38
30. 盖庆恩 ,朱 喜 ,史清华. 劳动力转移对中国农业生产的影响. *经济学(季刊)* 2014(3) : 1147~1170
31. 郝枫. 超越对数函数要素替代弹性公式修正与估计方法比较. *数量经济技术经济研究* 2015(4) : 88~105 ,122
32. 胡瑞法 ,冷 燕. 中国主要粮食作物的投入与产出研究. *农业技术经济* 2006(3) : 2~8
33. 李 宾 ,马九杰. 劳动力转移、农业生产经营组织创新与城乡收入变化影响研究. *中国软科学* 2014(7) : 60~76
34. 李谷成 ,梁 玲 ,尹朝静 ,冯中朝. 劳动力转移损害了油菜生产吗——基于要素产出弹性和替代弹性的实证. *华中农业大学学报(社会科学版)* 2015(1) : 7~13
35. 林善浪 ,叶炜 ,张丽华. 农村劳动力转移有利于农业机械化发展吗——基于改进的超越对数成本函数的分析. *农业技术经济* ,2017(7) : 4~17
36. 鲁成军 ,周端明. 中国工业部门的能源替代研究——基于对 ALLEN 替代弹性模型的修正. *数量经济技术经济研究* ,2008(5) : 30~42
37. 马 凯 ,史常亮 ,王忠平. 粮食生产中农业机械与劳动力的替代弹性分析. *农机化研究* 2011(8) : 6~9
38. 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. *农业经济问题* 2017(2) : 55~64
39. 石建勋 ,金 政. 基于 Morishima 替代弹性的人民币货币替代经验研究. *财经问题研究* 2016(1) : 56~63
40. 苏卫良 ,刘承芳 ,张林秀. 非农就业对农户家庭农业机械化服务影响研究. *农业技术经济* 2016(10) : 4~11
41. 王晓兵 ,许 迪 ,侯玲玲 ,杨 军. 玉米生产的机械化及机械劳动力替代效应研究——基于省级面板数据的分析. *农业技术经济* 2016(6) : 4~12
42. 应瑞瑶 ,郑旭媛. 资源禀赋、要素替代与农业生产经营方式转型——以苏、浙粮食生产为例. *农业经济问题* 2013(12) : 15~24 ,110
43. 张明海. 中国经济的增长和要素配置的市场化: 1978—1999. *世界经济文汇* 2002(3) : 20~29
44. 张帅. 住户部门资产替代及其政策效应研究. *统计研究* 2015(7) : 64~73
45. 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. *经济学(季刊)* 2017(1) :

Elasticity of Substitution between Machines and Labor in China's Agricultural Production

—A Comparison Based on Various Elasticity Estimations

MIN Shi ,XIANG Cheng ,WANG Xiaobing

Abstract: It's important for decision makers to study the elasticity of substitution between machines and labor ,not only for understanding the intensity of machine-labor substitution ,but also for improving the resource allocation based on the price changes of factors of production.This article used commodity-wise province-level panel data from 1984 to 2012 to investigate the substitution between machines and labor through estimating frontier production functions.The results showed that both the direct elasticity of substitution and Allen elasticity of substitution underestimated machine-labor substitution ,and that the Morishima elasticity of substitution could better reflect the substitution elasticity.The analysis also demonstrated that the substitution elasticity of machine-labor was statistically significant in the production of the six major crops ,of which wheat faced the fastest substitution of labor by machines; cotton and japonica rice had large development potential for mechanization.The results could provide theoretical implications for the related research ,and empirical basis for policymakers to further promote the agricultural mechanization.

Keywords: Agricultural products; Mechanization; Labor; Elasticity of substitution

责任编辑 吕新业