

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

郑旭媛 徐志刚*

摘 要 本研究阐释了资源禀赋约束条件决定的要素替代难度对农户要素替代的影响机制,利用全国分省1993—2010年的面板数据、耕地坡度卫星遥感数据进行了实证检验。研究表明,劳动力成本上升会促使农户利用机械替代劳动,但地形条件会对这一过程的实现形成显著影响。平原地区耕地坡度低、机械易于替代劳动是其机械化进程快于丘陵山区的重要原因。研究丰富了诱致性技术变迁理论,其结论对促进我国农业机械化进程具有重要政策涵义。

关键词 诱致性技术变迁理论,农业机械化,要素替代难度

DOI: 10.13821/j.cnki.ceq.2016.04.02

一、研究问题与文献述评

速水佑次郎和弗农·拉坦的诱致性技术变迁理论被广泛运用于分析农业发展中的技术变革和应用(Hayami and Ruttan, 1985; 林毅夫和沈明高, 1990¹; 速水佑次郎和拉坦, 1996²; Liu and Shumway, 2006)。他们认为资源稀缺性变化所引起的要素相对价格变化会对技术变革产生诱致性作用,同时,微观生产主体会通过价格信号,借助市场机制实现廉价的相对丰裕要素对昂贵的稀缺要素的替代,并努力应用节约使用相对稀缺要素的技术。但是,上述技术的诱致性变迁和要素替代的实现,可能受到决定要素替代难度的资源禀赋约束条件的制约,但现有理论对这个问题的认识和阐释不够深入,也并不系统。在中国农村劳动力成本不断上升的背景下,农业机械化进程的区

* 郑旭媛,福建农林大学经济学院;徐志刚,南京农业大学经济管理学院。通信作者及地址:徐志刚,江苏省南京市卫岗南京农业大学经济管理学院,210095;电话:13671116568;Email: zgxu@njau.edu.cn。本研究获得国家社会科学基金(13&ZD160和14ZDA038)、国家自然科学基金(71173204、71573133和71603053)、中国农业科学院科技创新工程(ASTIP-IAED-2015-03)、江苏省高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)、南京农业大学“中国粮食安全研究中心”和江苏省高校现代粮食流通与安全协同创新中心的资助。感谢应瑞瑶、钟甫宁、朱晶等教授和纪月清、孙顶强博士的指教与帮助。感谢三位匿名审稿专家的宝贵意见和建议。当然文责自负。

¹ 林毅夫、沈明高,“我国农业技术变迁的一般经验和政策含义”,《经济社会体制比较》,1990年第2期,第10—18页。

² 速水佑次郎、弗农·拉坦,“农业发展的国际分析”,中国社会科学出版社,1996年。

域异质性为深入研究这方面问题提供了极好的经验事实和研究素材。

伴随中国工业化和城市化快速发展,农村劳动力相对土地和机械等要素的稀缺程度和价格呈不断上升趋势,农业生产中机械投入不断上升,机械技术的研发和应用速度大大加快(蔡昉和王美艳,2007³,蔡昉,2008⁴),中国农业的机械化进程正循着诱致性技术变迁理论刻画的路径快速推进。然而,值得注意的是,这种诱致性的技术变迁进程在中国区域间却很不平衡,甚至差异很大。以粮食生产和相应的农业机械化进程为例,自21世纪以来,面对城市化和劳动力价格不断上升对农业劳动力数量供给和成本的冲击,中国农户积极地通过农业机械化替代劳动,调整要素投入结构和生产结构,并影响粮食生产。然而,同处于这一大背景下,中国各省(自治区、直辖市)的粮食生产与相应的农业机械化进程却很不相同,呈现出很大的异质性。比如,同为经济发达地区,浙江、广东、福建等地粮食播种面积都大幅下降,而江苏和山东下降幅度却很小,最近10年甚至还呈现上升的趋势(郑旭媛等,2014⁵)。同为劳务大量输出省份,安徽和河南粮食播种面积稳中有升,湖南和湖北却是大幅下降。与此相联系的粮食生产的机械化水平也呈现类似的特征。1990—2011年,山东、江苏的农业机械化率⁶分别上升了31.7个百分点和55.8个百分点,福建、浙江的农业机械化率只分别上升了18.6个百分点和18.3个百分点,大大落后于山东和江苏。劳务输出大省安徽农业机械化率上升了70%多,而湖南和河南都只上升了40%多。同样面临劳动力与机械相对价格的变化,各区域机械替代劳动程度及与此相关的粮食生产变迁进程却大不一样。解释这一现象需要我们发展和丰富现有“诱致性技术变迁”理论对要素替代及其过程的阐释。

深入理解中国农业机械化进程以及粮食生产的上述区域异质性需要系统分析机械替代劳动的过程与资源禀赋约束条件在机械化过程中的作用。现实中,机械对劳动的替代除了受到要素相对稀缺程度决定的相对价格变化的诱致,还会受到资源禀赋特征的约束。相对于平原地区,丘陵地区和山区地形条件复杂、耕地集中连片程度低,这对粮食和农业生产机械作业构成障碍,影响机械对短缺劳动力的替代。也就是说,现实中生产要素相对价格变化诱致的要素替代的顺利实现需要具备相应的可行性。要素间的替代不仅取决于要素价格的相对关系,而且取决于要素替代的难易程度。当前中国的农业机械化主要表现在粮食生产上,并且区域机械化进程的差异影响到区域粮食生

³ 蔡昉、王美艳,“农村劳动力剩余及其相关事实的重新考察——一个反事实法的应用”,《中国农村经济》,2007年第10期,第4—12页。

⁴ 蔡昉,“刘易斯转折点后的农业发展政策选择”,《中国农村经济》,2008年第8期,第4—15、33页。

⁵ 郑旭媛、徐志刚、应瑞瑶,“城市化与结构调整背景下的中国粮食生产变迁与区域异质性”,《中国软科学》,2014年第11期,第71—86页。

⁶ 按照农业部制定《农业机械化管理统计报表制度》的指标界定,农作物耕种收综合机械化水平=机耕水平 $\times 0.4$ +机播水平 $\times 0.3$ +机收水平 $\times 0.3$ 。

产变迁的差异，因此本研究以粮食生产机械化为分析对象。现实中粮食生产机械化进程较快主要源于技术和需求两方面因素：一是就机械技术应用的可行性和技术供应而言，粮食生产比较容易机械化。就技术本身而言，与果蔬、茶叶和桑蚕茧等劳动投入高度密集的经济作物产品相比，粮食生产过程中的劳动如翻地、播种、收获等作业比较简单，技术供应已比较成熟，而且，粮食生产投入要素的劳动密集度相对较低，耕地投入相对密集并且种植面积一般大面积成片，因此，生产作业比较容易机械化。二是就农业劳动力投入总量而言，虽然单位粮食产品劳动投入密集度相对较低，但由于粮食的重要性，中国耕地和劳动等农业资源用于大田粮食生产占比很高，因此，粮食生产机械化对于农业释放劳动力、缓解劳动力成本对农民收入冲击的影响意义重大。

中国农业机械化发展区域不平衡现象引起不少学者关注，他们试图从自然条件、经济社会特征、农民家庭禀赋与政策扶持等角度对这一现象进行解释，认为农民人均纯收入、土地经营规模、农业剩余劳动力转移程度对农业机械化有积极影响。一些研究认为耕地经营规模是决定机械作业顺利推广的基础，经营规模越大，越容易实现农业机械标准化生产，越能充分发挥农机作业规模效应(杨印生等，2006⁷；林万龙和孙翠清，2007⁸)，但也有研究表示耕地细碎化并不必然阻碍机械发展(侯方安，2008⁹)。在此基础上，研究进一步延伸到分析土地租赁市场发育程度对中国机械化进程的影响(Wang *et al.*，2014)。投资水平是农户提高农业生产农机装备水平的前提，因此农民人均纯收入对农业机械化有积极作用(李卫等，2014¹⁰；刘玉梅和田志宏，2009¹¹；林万龙和孙翠清，2007)，这种投资能力也可以通过地区经济环境反映(张宗毅等，2009¹²)。快速上升的农业劳动力价格促使主要农作物中机械对劳动的替代(Wang *et al.*，2014)，农村剩余劳动力的充分转移，对机械化水平提升有积极作用(李卫等，2014；张宗毅等，2009；杨印生等，2006)，这不仅体现在对农机装备投入上，还体现在农机服务的需求上(纪月清等，2013¹³)。同时，

⁷ 杨印生、刘佩军、李宁，“我国东北地区农业机械化发展的影响因素辨识及系统分析”，《农业技术经济》，2006年第5期，第28—33页。

⁸ 林万龙、孙翠清，“农业机械私人投资的影响因素：基于省级层面数据的探讨”，《中国农村经济》，2007年第9期，第25—32页。

⁹ 侯方安，“农业机械化推进机制的影响因素分析及政策启示——兼论耕地细碎化经营方式对农业机械化的影响”，《中国农村观察》，2008年第5期，第42—48页。

¹⁰ 李卫、薛彩霞、朱瑞祥、郭康权，“中国农机装备水平区域不平衡的测度与分析”，《经济地理》，2014年第7期，第116—122页。

¹¹ 刘玉梅、田志宏，“农户收入水平对农机装备需求的影响分析——以河北省和山东省为例”，《中国农村经济》，2009年第12期，第44—55页。

¹² 张宗毅、周曙东、曹光乔、王家忠，“我国中长期农机购置补贴需求研究”，《农业经济问题》，2009年第12期，第34—41页。

¹³ 纪月清、王亚楠、钟甫宁，“我国农户农机需求及其结构研究——基于省级层面数据的探讨”，《农业技术经济》，2013年第7期，第19—26页。

农业机械发展还必须考虑现代农业装备社会化服务水平(颜廷武等, 2010¹⁴; 杨印生等, 2006)。机械及配套农机具相关补助政策的实施也能推动机械化增速, 体现在一方面直接促进农户购置农机(李卫等, 2014; 张宗毅等, 2009; 赵映年等, 2014¹⁵), 另一方面增加农机作业市场服务供给总量(曹光乔等, 2010¹⁶)。此外, 不同作物对机械的需求不同, 一般劳动力密集型的作物(例如蔬菜)机械需求量低(Van den Berg *et al.*, 2007), 因此, 种植结构调整也会影响机械的使用程度。

一些研究也关注了地理条件对农业机械化区域不平衡的影响, 较一致地认为地形是阻碍某些地区机械化进程的重要原因。但大多数研究仅仅就此作主观观点来阐述, 认为山区和丘陵地区地势起伏且土地细碎, 是农业机械难以作业或作业成本高的直接原因(杨庆华等, 2005¹⁷; 应瑞瑶和郑旭媛, 2013¹⁸)。少量文献就此进行了实证分析, 通过设置地形虚拟变量分析其对农户机械化水平的影响(曹阳和胡继亮, 2010¹⁹; 周晶等, 2013²⁰)。张宗毅等(2009)则更细致地量化了地形变量, 将耕地中丘陵比例作为变量直接引入农业机械化影响机制模型中, 验证其是全国农业机械化地区发展不平衡的原因之一。

已有研究虽然对农业机械化发展区域不平衡影响因素的实证研究不少, 也有部分研究关注到了地形条件对机械化发展的作用, 但以下几个问题仍不是很清楚: 第一, 在解释中国机械化快速发展的过程中, 对劳动力成本上升这一因素缺乏重点关注。劳动力成本上升一方面会促使增加机械替代相对昂贵的劳动力, 但另一方面农业生产成本抬升会导致生产萎缩, 减少机械投入, 劳动成本上升对机械化最终产生什么效应? 第二, 目前文献很少有系统分析地形对机械化和机械替代劳动过程的作用机理和影响程度的。有适宜的地形条件是农业机械作业的基本要求, 因此, 地形构成了机械和劳动力相对价格等因素发生变化后, 农户进行要素投入结构调整的约束条件之一。地形会直接影响到机械作业实现和机械替代劳动的难易度, 从而影响劳动力成本上升这些因素对机械投入增加作用的影响程度大小。那么地形在劳动力成本对机

¹⁴ 颜廷武、李凌超、王瑞雪, “现代化进程中农业装备水平影响因素分析”, 《农业技术经济》, 2010 年第 12 期, 第 38—43 页。

¹⁵ 赵映年、游天屹、吴昭雄、胡动刚, “政府对农业机械化投资规模分析——以湖北省为例”, 《农业技术经济》, 2014 年第 5 期, 第 67—73 页。

¹⁶ 曹光乔、周力、易中懿、张宗毅、韩喜秋, “农业机械购置补贴对农户购机行为的影响——基于江苏省水稻种植业的实证分析”, 《中国农村经济》, 2010 年第 6 期, 第 38—48 页。

¹⁷ 杨庆华、杨世先、马文彬、施正丹, “山地农业区耕地资源空间分布状况——以云南省玉溪市为例”, 《山地学报》, 2005 年第 6 期, 第 6749—6755 页。

¹⁸ 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 年第 12 期, 第 15—24, 110 页。

¹⁹ 曹阳、胡继亮, “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》, 2010 年第 10 期, 第 57—65, 76 页。

²⁰ 周晶、陈玉萍、阮冬燕, “地形条件对农业机械化发展区域不平衡的影响——基于湖北省县级面板数据的实证分析”, 《中国农村经济》, 2013 年第 9 期, 第 63—77 页。

械化发挥影响的过程中究竟发挥怎样的作用？以上问题尚待通过从机理和实证方面的深入系统分析来回答。

本研究将专门针对要素替代的难度和可行性，通过理论分析和实证检验揭示地形条件决定的机械-劳动替代难度对农户要素替代和粮食生产机械化进程的影响机制与影响。与以往研究相比，本文学术贡献在于：第一，研究首次规范、系统地考察了资源禀赋约束条件对农业机械化的影响，不仅从一个重要角度解释了中国不同区域农业机械化进程的异质性现象，而且充实和丰富了诱致性技术变迁理论中有关要素替代实现条件的内容，强化了诱致性技术变迁理论的解释能力。研究成果不仅有助于解释各地机械化率提高的差别，对政府推进机械化和现代化进程，促进农业产业结构调整和区域粮食安全也具有重要的政策涵义。第二，研究基于诱致性技术变迁理论和生产理论，构建简单农户理论模型清晰地阐明了地形条件影响机械替代劳动的难易程度并进而影响农户机械投入的理论机制。第三，对理论假说的实证检验运用双向固定效应模型，基于1993—2010年的省级面板数据、耕地坡度卫星遥感数据测度的地形，通过引入地形和劳动力成本的交叉变量来检验要素替代难度对要素替代的影响，严谨、规范，结论可信。

后文安排如下：第二部分通过借鉴诱致性技术变迁理论关于要素替代实现互补条件的分析框架，并构建农户理论模型，从理论层面分析要素替代难度在劳动力价格变化引致的机械进步中的作用机理，并提出可检验的研究假说；第三部分介绍与实证检验相关的计量经济模型、变量和数据；第四部分讨论中国粮食生产机械化的发展与区域差异；第五部分是对研究假说的实证检验结果和分析；第六部分为全文总结和政策建议。

二、考虑要素替代难度的诱致性变迁理论与农户模型：扩展与应用

诱致性技术与制度变迁理论描述了资源禀赋、文化禀赋、技术与制度间的一般均衡关系，认为技术与制度变革是内生的，是由经济力量诱导的。这些经济力量表现为与经济历史过程相联系的产品需求、初始资源禀赋和资源积累。资源相对稀缺性的变化会诱发适应性的生产技术选择与组织制度创新，节约相对稀缺的生产资源，使用相对丰裕的生产资源。但是，在现实生产中，投入要素替代的发生和完成不仅取决于要素价格的相对关系，还取决于要素间替代的难易程度。Hayami and Ruttan(1985)的诱致性农业技术变迁模型系统阐述了劳动力要素相对价格变化引致生物、机械技术进步，并实现要素替代的过程，并论及了技术进步下要素替代实现的互补条件。他们在研究中构建了描绘生物技术进步过程的模型，化肥相对于土地价格下降会引起技术创新和等产量曲线发生移动，并具备对土地替代的可能性。但对化

肥反应敏感的高产作物要求有更好的控制水与管理土地的条件,如排灌系统这样的基础设施,这意味着化肥和基础设施之间存在互补关系。

本文这里借鉴诱致性技术变迁理论关于要素替代实现互补条件的分析框架,来系统分析诱导性农业机械替代劳动的过程及约束条件。按照一般理论,劳动力相对机械价格的上升会促使机械对劳动进行替代,但是,这种替代需要有实现的可能性,机械要实现对劳动力的替代会受到地形条件、作物种类和农艺及农业机械技术供应等因素的影响,其中地形条件是最为重要且不易于改变的约束条件²¹。地形条件是影响机械化作业适宜度的重要因素之一,耕地地形阻隔效应的存在会降低农机田间可达性和作业便利性,提高农机作业和服务的成本(周晶等,2013)。农业机械替代劳动耕作需要有适宜机械作业的耕地地形条件。相对于平原地区²²,丘陵山地地带地形复杂,机械化作业面临的约束条件多、耕作条件较差。丘陵山地地带的田块细碎化程度严重,多分散且分布不均匀、集中性差,高度落差较大,田间机耕道路等农业基础设施条件也普遍比较薄弱,这些因素使得农机作业难度和成本都大大增加。可应用于平原地区的农机设备大部分无法适应丘陵山地的实际需求,尤其是大型农业机械。很多田块和田头甚至是微型农机都无法正常抵达。此外,受制于地形条件对机械应用的约束,在平原地区普遍存在的以跨区作业为主要特征的农机社会化服务在丘陵山区也难以发展。可见,地形条件决定的机械替代劳动难易程度是农户在经济利益激励下实现机械对劳动替代的重要约束条件,它会影响到农户生产决策行为和按照市场价格完成生产要素配置和调整的程度。

下面我们进一步基于一个农户理论模型来分析农户农业生产决策中机械投入对劳动力价格变化的反应,以及机械对劳动替代难易度这种约束条件对于这种反应的影响。为便于讨论,这里简化了农户的决策行为,假设农户只进行农业生产,没有非农就业,农业生产也不分粮食作物和经济作物,要素投入只包括劳动力和机械。但这样的简化并不影响我们对劳动力和机械替代关系及影响的分析。

假设农户的生产函数为 $Q=f(M,L)$, 其中, M 为机械投入, L 为劳动力投入。为了保证利润最大化有解,假设生产函数为严格凹的,即生产函数需满足下面(1)式和(2)式两个条件:

²¹ 严格来讲,农业机械技术供应、作物种类和农艺不是农业机械化根本性的制约因素,因为它们会随着劳动力成本上升和机械化要求而不断发展和调整,但在短期内,由于能应用于丘陵山地的机械种类比较少,能适应复杂地形的机械技术难度比较大,不同作物生产环节机械作业的难度不同,农业生产中存在很多农艺与农机不配合的情况,这些因素也会对机械替代劳动和区域农业机械化进程的不平衡产生影响。

²² 地形一般分为高原、盆地、平原、丘陵和山地,不同省份的行政区域范围内可能兼有集中地形特征。为了便于理解和讨论,本文只比较平原和丘陵山地地形的差别和机械替代劳动难易度的差别来讨论地形条件对农业机械化的影响,应该说这并不失去一般性。

$$f_{MM} < 0, f_{LL} < 0, \quad (1)$$

和

$$\begin{vmatrix} f_{MM} & f_{ML} \\ f_{LM} & f_{LL} \end{vmatrix} = f_{MM}f_{LL} - f_{ML}^2 > 0, \quad (2)$$

农户的利润函数可以写为：

$$\pi = pf(M, L) - rM - wL, \quad (3)$$

其中， π 为利润， p 为产品价格， r 为机械价格， w 为劳动价格。

将 π 分别对 L 、 M 求偏导，并令两个一阶偏导分别为零，则：

$$\begin{cases} \frac{\partial \pi}{\partial M} = pf'_M - r = 0 \\ \frac{\partial \pi}{\partial L} = pf'_L - w = 0 \end{cases}, \quad (4)$$

即：

$$\begin{cases} pf'_M = r \\ pf'_L = w \end{cases}. \quad (5)$$

f'_M 与 f'_L 分别为 M 、 L 的函数，因此对(5)式再求关于 M 、 L 、 r 、 w 、 p 的全微分，则：

$$pf''_{MM}dM + pf''_{ML}dL + f'_Mdp - dr = 0. \quad (6)$$

$$pf''_{LM}dM + pf''_{LL}dL + f'_Ldp - dw = 0. \quad (7)$$

对(6)式和(7)式求解，可得：

$$\begin{aligned} dM &= \frac{1}{p^2 D} [(-f'_M dp + dr) p df''_{LL} - (-f'_L dp + dw) p f''_{MM}] \\ &= \frac{1}{pD} [f''_{LL} dr - f''_{LL} f'_M dp + f'_M f''_{ML} dp - dw f''_{ML}] \\ &= \frac{1}{pD} [f''_{LL} dr - f''_{ML} dw + (f''_{ML} f'_L - f''_{LL} f'_M) dp], \end{aligned} \quad (8)$$

其中， $D = f_{MM}f_{LL} - f_{ML}^2$ 。因为生产函数严格凹性， $D > 0$ 。

令 $dr = dp = 0$ ，可得劳动力价格 w 对机械 M 的影响，则(8)式可以写为：

$$\frac{dM}{dw} = \frac{1}{pD} (-f''_{ML}). \quad (9)$$

由(9)式可知， $\frac{dM}{dw}$ 的符号取决于 f''_{ML} 的符号。

如果 $f''_{ML} > 0$ ，则 $\frac{dM}{dw} < 0$ ，表示劳动价格上升会减少机械投入；反之，如

果 $f''_{ML} < 0$, 则 $\frac{dM}{dw} > 0$, 表示劳动价格上升会增加机械投入。

可见, f''_{ML} 是决定劳动价格与机械投入关系的关键因素。 f''_{ML} 是指增加 L 或减少 L 对 M 的边际产出的作用, 在一定程度上可以反映要素之间的替代性或互补性。

如果投入要素是互补性的生产要素, 例如劳动与土地, 那么, 若土地投入不变, 劳动成本上升导致劳动投入减少, 会使得土地的边际产出下降, 土地投入需求和投入就下降, 因此, 劳动价格上升会导致土地投入减少。

如果投入要素是替代性生产要素, 例如劳动与机械, 假设不考虑技术进步²³, 那么, 若机械投入不变, 劳动成本上升导致劳动投入减少, 会使得机械的边际产出上升, 机械需求和投入上升, 因此, 劳动价格上升会导致机械投入增加²⁴。

基于上述分析, 本文提出如下需要检验的假说 1: 劳动力价格或务农机会成本对提高农业机械化水平有正向影响。

此外, 由(9)式可知, f''_{ML} 的大小还影响 $\frac{dM}{dw}$ 的大小。 f''_{ML} 是指增加或减少劳动 L , 对机械 M 边际产出的作用。对于劳动和机械, 该值为负值。其绝对值越大, 表示同样的劳动投入减少, M 边际产出的变化越大。假设机械投入同质, 由于要素边际产出递减, 这意味着此时机械 M 的投入越少, 因此 M 对 L 的替代能力越强、难度越小。可见, f''_{ML} 所反映的机械对劳动的替代性会决定机械投入对劳动价格的反应程度。

虽然劳动力成本上升, 农户的理性反应是增加机械投入以替代劳动并缓解成本上升对利润的冲击, 但是, 根据上述讨论, 这种反应程度会受到机械替代劳动难易度, 如地形条件的影响。平坦的耕地有利于机械作业。相对于平原地区, 丘陵地区与山区地形复杂, 对机械作业形成约束, 不利于机械替代劳动力。类似地, 在坡耕地比例较高地区, 机械替代劳动难度会较大, f''_{ML} 较小, 劳动力价格上升对机械投入的正向影响较小; 相反, 在坡耕地比例较低地区, 机械替代劳动相对容易, f''_{ML} 较大, 劳动力价格上升对机械投入的正向作用较强。换言之, 地形地貌这样不利于耕地机械化作业的资源禀赋约束条件会抵消劳动力价格上升促使农业机械投入增加的正向作用。

基于上述分析, 本文提出假说 2: 耕地中坡耕地比例对劳动力价格(或成本)上升对机械化水平提高的正向作用有负向抵消作用。

²³ 粮食大田生产使用的大型机械, 不仅可以替代劳动, 还可能带来技术进步, 提高土地产出率。例如, 大型机械可深松耕地改善土壤; 翻地、播种可以更加均匀和标准化。如果大型机械物化这些技术后也可能使等产量曲线移动。

²⁴ 特别地, 当 f''_{ML} 等于 0 时, 意味着要素 L 的变化对 M 的边际产出没有任何影响, 这将发生在 L 和 M 的关系为完全替代和完全互补时, 因为两种情况下, M 的边际产出都不受 L 投入数量变化的影响。

三、计量经济模型、变量测度与数据

（一）计量经济模型设定

本文建立了一个反映机械对劳动替代难度的农户粮食生产机械投入影响机制非观测效应综列数据模型，并用全国分省的面板数据来检验前文基于诱致性创新理论与生产者理论提出的研究假说，考察要素替代难度在劳动力成本上升诱致机械技术进步中的作用。具体模型如下：

$$MC_{it} = \alpha_1 + \beta_{12} \times X_{it-1} + \beta_{22} \times X_{it-1} \times HILL_{it-1} + Z_{it-1} \times \gamma_1 + \mu_i + v_t + \varepsilon_{it}, \quad (I)$$

模型(I)中变量的下标 i 代表省份， t 代表时间， $t-1$ 表示变量滞后 1 期。

模型(I)的被解释变量 MC 是粮食生产的亩均机械投入成本，解释变量中， X ， $X \times HILL$ 是关键解释变量，是本研究关注的重点。

MC 是农户粮食生产的亩均机械投入金额。粮食包括水稻、小麦和玉米三种产品。机械投入由亩均机械作业费、排灌费、燃料动力费、固定资产折旧加总所得²⁵。各省粮食生产的亩均机械投入由实际种植的三种粮食产品的算术平均计算而得。

X 代表各省农村劳动力成本。根据研究假说 1，劳动力成本上升对机械投入有正向作用，因此，变量 X 的系数预期为正。研究用两个代理变量来测度各省劳动力务农的机会成本：一是各地区劳动日工价，即生产中耗费的家庭劳动用工按一定方法和标准折算的成本，反映了家庭劳动用工投入生产的机会成本；二是雇佣劳动日工价，指的是平均每个雇工一个标准劳动日(8 小时)所得到的全部报酬(包括工资和合理的饮食费、住宿费、保险费和招待费等)。

$X \times HILL$ 是劳动力成本与耕地地形的交互项，其中耕地地形变量 $HILL$ 用耕地中坡度大于等于 6° 的耕地所占比例代理。根据研究假说 2，耕地中坡耕地比例对机械替代劳动有负向作用。为检验地形约束对机械替代劳动的这种负面影响，模型引入了劳动力成本变量与耕地地形变量的交互项 $X \times HILL$ 。预期该交叉项的系数为负，也就是耕地中坡耕地比例会抵消劳动力成本上升对机械投入的正向影响。坡耕地比例越高，抵消作用越大。

Z 是一系列影响机械投入的控制因素，具体包括经济作物对粮食作物的比较效益、人均耕地面积、耕地中有效灌溉面积比例、人均粮食占有量、种植粮食作物种类等变量。农业机械大范围使用在粮食生产上，比较效益、基础设施、政策扶持力度等决定的粮食生产比较优势在很大程度上决定了机械

²⁵ 亩均机械投入价值 = 亩均机械作业费 + 亩均燃料动力费 + 亩均排灌费 + $2/3 \times$ 亩均固定资产折旧。

投入的基础。种粮比较效益低下是种植结构由粮食作物向经济作物转移的基本原因(顾莉丽和郭庆海, 2011²⁶)。粮食比较效益低下影响农户粮食生产积极性, 不仅体现在种植结构调整上, 还体现在粮食生产要素投入、耕地利用强度上。粮食比较效益下降会促使农民减少机械等要素的投入, 甚至进行季节性休耕或撂荒。本文经济作物与粮食作物的比较效益用经济作物与粮食作物经济效益之差代理, 具体指各地区当期播种面积最大的粮食作物与播种面积最大的经济作物的成本收益率之差。人均耕地资源丰富的地区, 劳动与资本投在粮食生产上的报酬率较高, 农民种粮积极性更高, 扩大粮食生产可能性越大(伍山林, 2000²⁷; 罗万纯和陈永福, 2005²⁸)。水利设施的改善能有效缓解粮食生产的水资源约束, 粮食生产会逐步向水利灌溉基础设施条件较好的地区转移与集中(陆文聪等, 2008²⁹)。粮食主产区秉着粮食生产的资源优势与比较优势, 肩负确保我国粮食安全的重任(曾福生和匡远配, 2009³⁰)。先天的粮食生产比较优势和国家政策扶持力度, 对维持粮食生产地位有积极作用。本文用人均粮食占有量作为粮食生产地位的代理变量, 人均占有粮食水平越高的地区, 粮食生产地位越重要。人均耕地、耕地灌溉比例、主产区地位的提有利于提高粮食生产积极性, 对增加机械投入有促进作用。由于不同粮食作物的机械化难度有差异, 如水稻的机播难度较大、程度较低, 玉米的机收难度较大、程度较低, 而小麦全程机械化程度都较高, 而各省种植的粮食作物类型也有差别, 故模型中还控制了各地区种植粮食作物的类型³¹。模型中也控制了地区非观测效应 μ_i 和时间非观测效应 v_t , 以及影响被解释变量的因时而变、因地区而变的不可观测的特异扰动项 ε_{it} 。 α_1 、 β_{12} 、 β_{22} 、 γ_1 为模型待估系数或参数矩阵。模型(I)中各变量的描述性统计结果见表 1。

表 1 主要变量基本统计量

变量名称		均值	标准差	最小值	最大值
亩均机械投入成本 (元)	总体	69.0	35.7	7.1	176.1
	组间		26.9	13.8	111.2
	组内		24.0	11.4	148.3
劳动力成本 I: 劳动日工价 (元)	总体	15.7	6.8	5.2	48.2
	组间		4.8	10.3	31.2

²⁶ 顾莉丽、郭庆海,“中国粮食主产区的演变与发展研究”,《农业经济问题》,2011年第8期,第4—9页。

²⁷ 伍山林,“中国粮食生产区域特征与成因研究”,《经济研究》,2000年第10期,第38—45页。

²⁸ 罗万纯、陈永福,“中国粮食生产区域格局及影响因素研究”,《农业技术经济》,2005年第6期,第58—64页。

²⁹ 陆文聪、梅燕、李元龙,“中国粮食生产的区域变化:人地关系、非农就业与劳动报酬的影响效应”,《中国人口科学》,2008年第3期,第20—28页。

³⁰ 曾福生、匡远配,“粮食大省对粮食安全的贡献度分析”,《农业经济问题》,2009年第6期,第14—19、110页。

³¹ 种植粮食作物类型虚拟变量如下:1=水稻,2=小麦,3=玉米。

(续表)

变量名称		均值	标准差	最小值	最大值
劳动力成本 II：雇佣劳动日工价 (元)	组内		4.9	2.4	35.8
	总体	32.7	13.0	11.5	89.3
	组间		5.9	24.6	46.4
地形：耕地中坡耕地比例 (%)	组内		11.7	8.8	82.4
	总体	28.8	23.6	0.0	76.9
	组间		24.0	0.0	76.7
经济作物与粮食作物经济效益差 (%)	组内		0.5	25.6	29.9
	总体	45.6	87.8	-190.5	579.8
	组间		50.8	-45.1	189.3
农户人均耕地 (0.01公顷)	组内		72.0	-219.0	437.7
	总体	15.8	21.7	1.3	132.7
	组间		22.0	2.1	116.2
灌溉比例 (%)	组内		1.9	1.6	32.4
	总体	57.8	23.4	11.3	100.0
	组间		23.0	20.0	98.6
生产地位：粮食人均占有量 (千克)	组内		6.1	34.2	84.6
	总体	378.3	179.1	40.0	1138.0
	组间		170.7	105.3	849.3
	组内		62.6	-52.2	777.7

注：(1)经济作物与粮食作物经济效益差 = 经济作物平均成本收益率 $\times 100$ - 粮食作物平均成本收益率 $\times 100$ ；

(2)灌溉比例 = 耕地有效灌溉面积 / 耕地面积 $\times 100$ 。

(二) 估计方法

对于非观测效应综列数据模型，参数估计可通过判断将模型设定为固定效应模型和随机效应模型后参数估计量的差异，来选择固定效应估计量或随机效应估计量。这两种模型设定方法和估计量各有千秋。固定效应模型有助于在一定程度上控制内生性问题，但参数估计主要使用组内的动态信息；而随机效应模型能综合利用组内动态信息和组间横截面异质性信息，估计效率可能更高，但其在处理内生性问题上不如固定效应模型。一般而言，对以上模型的选择取决于对非观测效应与模型中解释变量关系的假定和检验。如果不可观测效应与模型中解释变量相关，固定效应估计能得到一致估计量，而随机效应估计量是有偏的；反之，两种估计方法都可得到理想的参数估计，但随机效应估计效率更高。Hausman 检验从统计学意义上为比较和选择模型提供了一种可选并且通用的统计检验方法(Wooldridge, 2002)。因此，本研究在进行参数估计前，首先对模型进行 Hausman 检验。

模型解释变量劳动力成本，经济作物与粮食作物经济效益差、地区人均

耕地、耕地中有效灌溉比例、人均粮食占有量,甚至是耕地中坡耕地比例在理论上都存在潜在的内生性问题。为了避免内生性问题导致模型参数估计产生偏误,研究通过两种策略来控制内生性问题:一是模型中不仅控制了横截面维度上的非观测效应,而且控制了时间维度上的非观测效应,这有助于在较大程度上控制那些不随时而变,但随地区而变的不可观测因素和随时而变,但不随地区而变的不可观测因素与模型中解释变量相关导致的内生性问题。二是模型中的解释变量都采用滞后 1 期的前定变量。在弱外生性假定条件下,滞后变量的应用有助于在一定程度上控制内生性问题对参数估计的影响。

(三) 数据来源

本文分析所用数据是全国 28 省(市、自治区)1993—2010 年历年相关数据构成的面板数据。³² 数据有两个主要来源:一是相关的官方统计年鉴,二是卫星遥感影响数据。其中,亩均机械投入成本、劳动力成本代理变量各省劳动日工价和雇佣劳动日工价³³、经济作物与粮食作物经济效益差数据中经济作物与粮食作物的成本收益率数据来自相关年份的《全国农产品成本收益资料汇编》;各省耕地灌溉比例中有效灌溉面积等数据来自国家统计局的《中国统计年鉴》与《新中国六十年统计资料汇编》。耕地及坡度等数据来自 1990 年、1995 年、2000 年、2005 年和 2010 年五年的 Landsat TM 30 m 卫星遥感影像数据。³⁴

四、中国农业机械化发展及区域特征

1994—2010 年,中国城镇化、工业化催生的劳动力成本上升拉动了农业机械化的快速发展,全国粮食亩均机械投入快速上升(图 1),从 47.5 元到 113.9 元,增加了 140%。然而,中国各省(市、自治区)的农业机械化水平及发展速度存在很强的异质性,特别是经济社会特征十分相似的地区之间也存在高度异质性。按各地区较为突出的经济社会特征将全国划分为三类地区:经济相对发达地区、劳务输出较大地区与经济相对欠发达地区(表 2)。很明显,三类地区中各省份农业机械化发展水平和速度有较大差异。再根据地形特征进行分类描述,按耕地中坡耕地比例从高到低排序将全国地区分成两组(图 2),1994—2010 年,坡耕地比例较高地区亩均机械投入由 32.0 元上升到

³² 因西藏自治区和青海省农业生产过于特殊,予以剔除;1997 年后的重庆数据与四川省合并。因解释变量滞后一期,故后续分析被解释变量从 1994 年开始。

³³ 劳动日工价起始年份为 1993 年,雇工价格数据起始年份为 1988 年。

³⁴ 数据将各省(区、市)的耕地坡度划分为坡度小于 2°,2°—6°,6°—12°及 12°以上四类地区。在实证分析中,两个时点年份间地形数据采用线性等量增长的方法进行插值。

102.7元，增加了221%；坡耕地比例较低地区亩均机械投入由60.4元上升到125.5元，增加了108%。可见，受到地形禀赋条件的约束，坡耕地比例越高的地区，机械发展水平虽有所提高，但仍然较低。

表2 全国农业机械化率变化与区域差异

	亩均机械投入(元)		
	1994年	2010年	1994—2010变化量(%)
全国	47.5	113.9	140.04
经济相对发达地区			
北京	137.6	113.0*	-17.9
天津	69	132.2*	91.6
上海	55.5	103.8*	87
江苏	48.7	117.9	142
浙江	50.6	151.9	200.2
广东	42.9	114.6	167.3
福建	23.9	84.9	254.6
山东	63.4	132.2	108.5
辽宁	58.3	138.8	138.2
劳务输出较大地区			
安徽	29.4	124.5	323.1
河南	47.2	100.3	112.5
河北	69.8	155.7	123.2
山西	55.2	125	126.4
江西	12.8	122.7	859.5
湖北	25.7	79.5	209.4
湖南	32.1	136.7	325.5
四川	14.5	52.6	261.7
经济相对欠发达地区			
内蒙古	45	176.1	291.7
吉林	38	142.9	276
黑龙江	44.1	111.6	152.7
广西	33.7	87.1	158.7
海南	16.3	107	556.5
贵州	8	39	385.6
云南	20.4	46.9	129.4
陕西	26.9	107.8	300.7
甘肃	54.6	112.2	105.3
宁夏	46.5	153.4	229.5
新疆	158.7	119.9	-24.5

(1)数据以2010年为基期，逐年平减物价影响。

(2)*为2007年数据。

资料来源：作者根据相关数据计算整理

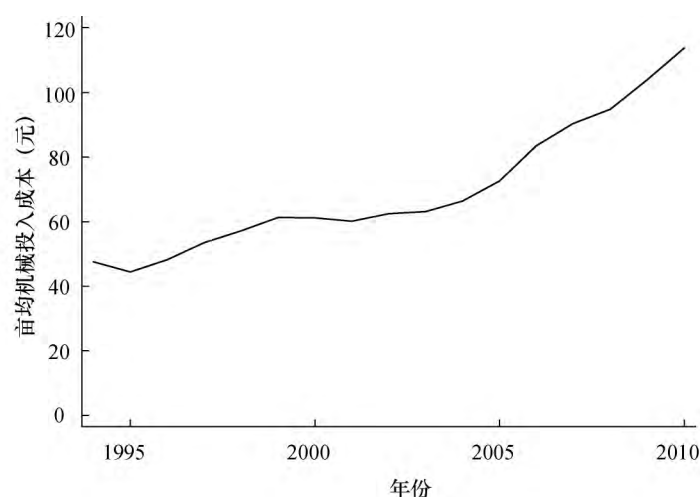


图 1 1994—2010 年全国机械投入成本变化图

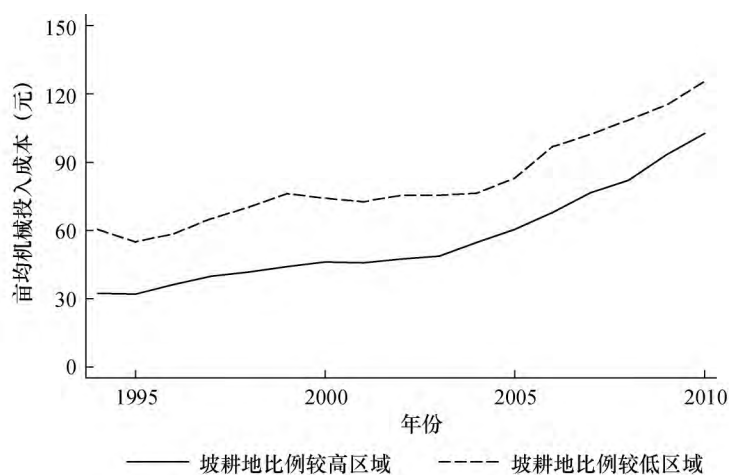


图 2 1994—2010 年区域机械投入成本变化

五、实证分析结果

图 3 报告了本文基于分省面板数据的组间信息对劳动力成本、坡耕地比例与劳动力成本交互项与机械化投入之间简单相关关系的散点图分析结果。图 3(1)和图 3(2)显示,区域上机械投入与代表劳动力成本的劳动日工价及雇佣劳动日工价均呈现显著正向关系,劳动力成本较高区域,机械化水平相对较高。图 3(3)和图 3(4)显示,机械投入与交叉项(劳动力成本与地形交叉项)呈现负相关关系,即在考虑地形影响之后,坡耕地会使得劳动力成本上升对机械投入的正向作用被削弱,与假说相符。虽然散点图反映出的被解释变量与

解释变量间的关系与研究假说基本相符，但是区域上两变量的显著相关关系并不一定是两者之间真正的因果关系。为准确识别被解释变量与解释变量之间的因果关系，下文将运用计量经济模型，在控制人均耕地等影响因素的情况下，分析在考虑要素替代难度的基础上，劳动力成本上升对机械投入的影响。

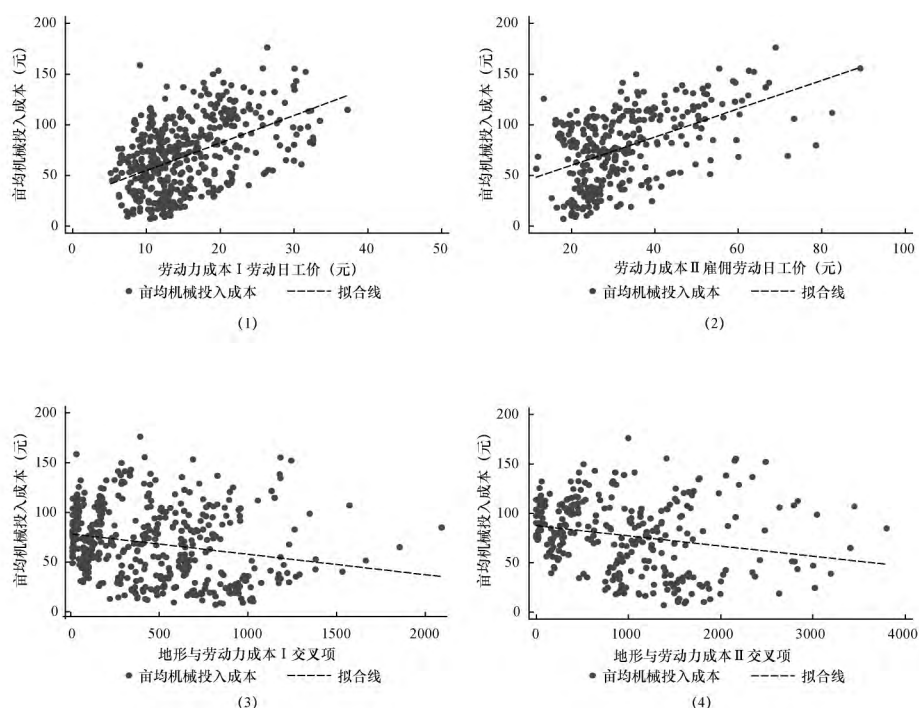


图 3 农业机械投入与劳动力成本、地形与劳动力成本交叉项的关系

表 3 报告了对模型(I)的参数估计结果。由于分析所用数据为面板数据，研究首先分别对模型(1)与模型(2)进行 Hausman 检验，Hausman 检验值分别为 37.8 和 52.4，皆在 1% 水平下显著，因此采用固定效应模型进行分析。模型(1)与模型(2)的 F 检验皆在 1% 水平下显著，表明解释变量对被解释变量有较强的解释能力。

估计结果显示，测度劳动力成本的劳动日工价与雇佣劳动日工价的系数为正，且分别在 1% 与 5% 的水平下显著，表明劳动力成本上升对亩均机械投入有显著促进作用，验证了本文的研究假说 1。理论上讲，劳动力成本上升对机械投入的影响是产出效应和替代效应两种效应的总和。产出效应表现为劳动成本上升后，农户为实现利润最大化，只能压缩农业生产规模，这将导致机械投入和劳动投入都出现减少。但同时，劳动力成本上升还存在一个替代效应。由于劳动力成本相对机械成本上升，农户同时会用机械去替代劳动以缓冲成本上升，避免生产规模下降幅度过大，这一过程伴随的是机械投入增

加。由于机械技术的主要作用是替代劳动作业,大多数机械也只是对劳动的简单替代³⁵,因此机械与劳动之间存在很强的替代性,这决定了后者替代效应导致的机械投入增加往往会超过前者产出效应导致的机械投入减少,因此,劳动力成本上升对机械投入影响的总效应是促进机械投入增加和机械化程度上升。

表 3 考虑要素替代难度的劳动力成本上升对机械化水平的影响估计结果

	亩均机械投入成本(元)	
	(1)	(2)
关键解释变量:		
劳动力成本 I: 劳动日工价(元)	0.825*** (2.69)	
劳动力成本 I×坡耕地比例	-0.023*** (-3.42)	
劳动力成本 II: 雇佣劳动日工价(元)		0.310** (2.34)
劳动力成本 II×坡耕地比例		-0.006* (-1.94)
控制变量:		
比较效益: 经济作物成本收益率—	-0.024***	-0.022**
粮食作物成本收益率(%)	(-2.83)	(-2.14)
人均耕地(0.01公顷)	2.375*** (6.87)	2.452*** (4.68)
灌溉比例(%)	-0.125 (-1.28)	-0.036 (-0.33)
生产地位: 粮食人均占有量(千克)	0.025** (2.43)	-0.000 (-0.01)
粮食作物类型	省略	省略
时间非观测效应	省略	省略
28个省份非观测效应	省略	省略
样本数	464	308
F 检验统计量	70.7***	70.3***

注: (1)括号里是 t 统计量值;

(2)由于《全国农产品成本收益资料汇编》雇工工价数据从 1998 年开始才有,所以模型(2)的样本数只有 308;

(3)*、**、*** 分别表示在 10%、5%、1%的置信水平上具有统计显著性。

从劳动力成本与坡耕地比例的交互项来看,无论是用劳动日工价还是用

³⁵ 当然,在现实中,由于大中型机械化作业标准化程度高,大型机械作业可实现深耕深翻有助于改善土壤板结和环境等,农业机械化技术除了可替代劳动,也会有提高作业质量和增产的作用,但总体上,多数农业机械的作用是替代劳动。

雇佣劳动日工价来测度劳动力成本，其与坡耕地比例的交互项对机械投入均有负向作用，且分别在1%和10%水平下显著，这验证了前文的研究假说2。可见，在劳动力成本上升之后，坡耕地比例较高的地区，不利于机械投入的保持或增加。机械对劳动进行替代需要现实条件，坡耕地比例较低区域能够顺利推进要素间的替代，而坡耕地比例较高的区域，机械对劳动的替代难度相对较大。丘陵地区和山区的地理条件复杂，受耕地空间分布具有块多、面小、分散等特点的约束，土地相对不集中、农业基础设施薄弱，使得农机作业难以推广，应用于平原地区的农机设备从功能上来说大部分无法适应丘陵山地的实际需求，尤其是大型农业机械，使得山区机械作业效率受到约束。因而，在劳动力成本上升后，对该区域农户机械投入产生的替代效应较小、产出效应较大，使得坡耕地比例较高区域机械化发展受到阻碍。

此外，比较效益对机械投入有负向影响，并在模型(1)、(2)中分别在1%和5%水平下显著。说明在控制了资源、经济等条件情况下，经济作物比较效益提高(粮食比较效益下降)，机械投入会下降。一般来说，经济作物比较效益提高，诱使劳动力及配套要素向经济作物转移的拉力加大，而经济作物机械化水平比粮食低得多，因此，种植结构从粮食作物转向经济作物时，机械化水平下降。人均耕地对机械投入有正向影响，且在模型(1)、(2)中皆在1%水平下显著。说明在控制了资源、经济等条件的情况下，人均耕地越多的地区，机械投入越多。人均耕地资源丰富的地区，劳动与资本投在粮食生产上报酬率较高，扩大粮食生产可能性更大，机械投入相应增加。粮食人均占有量在模型(1)中对机械投入有正向影响，且在5%水平下显著。说明在控制了资源、经济等条件情况下，粮食人均占有量越多的地区，机械投入越多。粮食人均占有量较大地区多是粮食主产区，重视粮食和农业生产，保障粮食安全的压力会促进其扩大粮食生产，增加机械投入。

考虑到北京、上海、天津三个直辖市的经济发展水平、农村劳动力非农化程度、农业经济发展水平和特点、农业技术进步速度等都明显有别于其他地区，它们与其他地区数据简单混合在一起回归可能对模型参数估计有比较大的影响，有必要在回归中将直辖市与一般省(自治区)给予区分以检验模型参数估计结果的稳健性。为此，将北京、上海、天津三个直辖市数据剔除之后，重新估计了劳动力成本、资源禀赋约束等对机械投入的影响，估计结果见表4。同样，分别对模型(3)与模型(4)进行Hausman检验，Hausman检验值分别为38.1和47.0，并且在1%水平下显著，因此采用固定效应模型进行分析。模型(3)与模型(4)的F检验皆在1%水平下显著，表明解释变量对被解释变量有较强的解释能力。

表 4 考虑要素替代难度的劳动力成本上升对机械化水平的影响估计结果(剔除直辖市)

	亩均机械投入成本(元)	
	(3)	(4)
关键解释变量:		
劳动力成本 I: 劳动日工价(元)	1.889 *** (5.36)	
劳动力成本 I×坡耕地比例	-0.030 *** (-4.23)	
劳动力成本 II: 雇佣劳动日工价(元)		0.234 * (1.82)
劳动力成本 II×坡耕地比例		-0.006 * (-1.72)
控制变量:		
比较效益: 经济作物成本收益率—	-0.027 ***	-0.028 **
粮食作物成本收益率(%)	(-3.31)	(-2.39)
人均耕地(0.01公顷)	2.493 *** (3.70)	2.638 *** (4.97)
灌溉比例(%)	-0.201 * (-1.78)	-0.207 (-1.49)
生产地位: 粮食人均占有量(千克)	0.008 (0.61)	-0.003 (-0.27)
粮食作物类型	省略	省略
时间非观测效应	省略	省略
28个省份非观测效应	省略	省略
样本数	422	286
F 检验统计量	108.7 ***	97.5 ***

注: (1) 括号里是 t 统计量值;

(2) 由于《全国农产品成本收益资料汇编》雇工工价数据从 1998 年开始才有, 所以模型(2)的样本数只有 286;

(3) *, **, *** 分别表示在 10%、5%、1%的置信水平上具有统计显著性。

剔除直辖市之后重新估计的计量经济结果(表 4)与表 3 的估计结果相比, 除了粮食人均占有量对机械投入影响不显著, 各解释变量对机械化水平的影响方向及显著程度没有明显变化, 结果基本一致。研究假说 1、2 都得到了实证检验。

六、总结与讨论

诱致性技术变迁理论是解释技术变革和应用的重要发展经济学理论。本文利用和发展该理论, 通过理论分析和实证研究, 阐释了农户面对劳动力成本上升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。研究表

明，农业劳动力成本上升会促进农业机械投入增加，在这一过程中地形禀赋约束下的机械-劳动替代难度会发挥重要作用。耕地中坡耕地比例较高的地区，由于机械难以替代劳动，劳动力成本上升促进农业机械投入增加的正向作用被削弱。区域资源禀赋约束条件差异导致的农业机械化进程的这种差异以及粮食生产相对经济作物易于机械化的特点，可以帮助我们理解劳动力成本上升背景下区域粮食生产变迁的异质性。江苏、山东这些地区以平原为主，耕地比较平坦，能够比较顺利地通过机械化实现机械对劳动的替代，因此，农户会将农业资源更多安排到粮食作物上，导致粮食种植面积下降较少，甚至有所增加。相反，浙江、福建和广东虽然同样经济发达、农业劳动力机会成本高，但由于三地多山、地形地貌复杂，耕地多坡耕地，粮食生产机械化较难推进，农户只能通过减少粮食生产面积甚至复种指数来应对。因此，面对农业劳动力成本不断上升的冲击，为促进机械替代劳动和农业机械化推进，需要密切关注并积极帮助农户改善要素替代的实现条件。

本研究的结论对于中国的农业机械化进程、国家粮食竞争力提升和粮食安全都具有很强的政策涵义。首先，这有助于我们更为科学和全面地判断中国粮食生产变迁和农业结构调整的趋势。虽然近年来中国农业劳动力成本呈现持续上升的趋势，对农业生产的国际市场竞争力构成了明显的冲击，但这对不同地区 and 不同作物的冲击程度会大不相同。那些有较好条件可以实现机械对劳动替代的地区（平原地区），受到的冲击相对会较小，因为农户可以比较顺利地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。长期看来，国内那些耕地以大平原为主的、生产以粮食作物为主的区域不仅受到的冲击会相对较小，而且可能出现强化粮食等易于机械化作业作物生产的趋势。相反，在丘陵地区和山区，由于机械化作业难度大，不仅耕地种植强度可能下降，还可能进一步出现进一步强化劳动密集型经济作物生产的趋势，因为当农户在短期内无法获取非农就业的情况下，他们的一种理性选择是将耕地干脆转向全年都需要劳动力投入，劳动投入成本高、但产出经济价值也高的经济作物。其次，政府应为农户要素投入结构创造良好环境和条件。这不仅有助于农户快速进行结构调整，而且有助于我国粮食生产市场竞争力的改善，保障国家粮食安全。为此，应当因地制宜地引导和推进农业机械技术的研发和创新，为区域农业机械化平衡发展提供技术支撑。具体需要国家积极推动农业科研体制的改革，加大公共投资，引导劳动节约型和可持续发展技术的农业研究，特别是研究改进中小型农机具，适应丘陵地区机械作业条件，推动丘陵山区农机化步伐；同时，也需要改良大型农机具，提升平原地区机械作业效率与质量。

参 考 文 献

- [1] Cai, F., "Policy Alternatives for China's Agricultural Development after Lewisian Turning Point", *Chinese Rural Economy*, 2008, 8, 4—15, 33. (in Chinese)
- [2] Cai, F., and M. Wang, "Reconsideration on Rural Surplus Labour Forces and Some Relevant Facts—With Application of Fact Retro-assumption Method", *Chinese Rural Economy*, 2007, 10, 4—12. (in Chinese)
- [3] Cao, G., L. Zhou, Z. Yi, and X. Han, "The Impact of Subsidization to Purchasing Agricultural Machinery to Farmers' Households' Behaviours of Buying Agricultural Machinery—An Empirical Study Based on Paddy Rice Planting in Jiangsu Province", *Chinese Rural Economy*, 2010, 6, 38—48. (in Chinese)
- [4] Cao, Y., and J. Hu, "Agricultural Mechanization under Farmer's Households Land Contract System in China—Based on Survey Data from 17 Provinces", *Chinese Rural Economy*, 2010, 10, 57—65, 76. (in Chinese)
- [5] Gu, L., and Q. Guo, "Evolution and Development of China's Major Grain Producing Areas", *Issues in Agricultural Economy*, 2011, 8, 4—9. (in Chinese)
- [6] Hayami, Y., and V. Ruttan, *Agricultural Development: An International Perspective*. Baltimore and London: Johns Hopkins University Press, 1985.
- [7] Hayami, Y., and V. Ratan, *The International Analysis of Agricultural Development*. Social Sciences in China, Beijing, 1996. (in Chinese)
- [8] Hou, F., "Study on the Advancement Mechanism of the Agricultural Mechanization and Related Implication of Policy Support in China—Concurrent Discussion on the Effect of Land Fragmentation on the Agricultural Mechanization", *China Rural Survey*, 2008, 5, 42—48. (in Chinese)
- [9] Ji, Y., Y. Wang, and F. Zhong, "Chinese Farmers' Demand on Agricultural Machines and the Demand Structure—Discussion Based on the Provincial Level Panel Data", *Journal of Agrotechnical Economics*, 2013, 7, 19—26. (in Chinese)
- [10] Li, W., C. Xue, R. Zhu, and K. Guo, "An Imbalance Analysis of China's Agricultural Machinery Distribution", *Economic Geography*, 2014, 7, 116—122. (in Chinese)
- [11] Lin, W., and C. Sun, "Casual Factors to Farmers' Private Investment in Agricultural Machinery: an Analysis with Province-level Data", *Chinese Rural Economy*, 2007, 9, 25—32. (in Chinese)
- [12] Lin, Y., and M. Shen, "General Experience and Policy Implications of Our Country's Agriculture Technological Change", *Comparative Economic & Social Systems*, 1990, 2, 10—18. (in Chinese)
- [13] Lin Y., and Z. Tian, "An Analysis of the Impacts of Farmers' Households' Income on the Demand for Agricultural Machinery Equipments—Taking Hebei and Shandong Provinces as Example", *Chinese Rural Economy*, 2009, 12, 44—55. (in Chinese)
- [14] Liu, Q., C. R. Shumway, "Geographic Aggregation and Induced Innovation in American Agriculture", *Applied Economics*, 38, 6, 671—682, 2006.
- [15] Lu, W., Y. Mei, and Y. Li, "Regional Change in China's Grain Production: Effects of Labor-land Ratio, Off-farm Employment Opportunities and Labor Compensation", *Chinese Journal of Population Science*, 2008, 3, 20—28. (in Chinese)

- [16] Luo, W. , and Y. Chen, "Variable Affecting Grain Production in China: Regional Patterns", *Journal of Agrotechnical Economics*, 2005, 6, 58—64. (in Chinese)
- [17] Van den Berg, M. M. , H. Hengsdijk, J. Wolf, M. K. Van Ittersum, G. Wang, and R. P. Roetter, "The Impact of Increasing Farm Size And Mechanization on Rural Income and Rice Production in Zhejiang Province", *Agricultural Systems*, 2007, 94, 841—850.
- [18] Wang, X. , F. Yamauchi, Otsuka, K. , and J. Hunag, "Wage Growth, Landholding and Mechanization in Chinese Agriculture", Manuscript. Center for Chinese Agricultural Policy, World Bank, and National Graduate Institute for Policy Studies, 2014.
- [19] Wooldridge, J. M. , *Econometric Analysis of Cross Section and Panel Data*. Cambridge, MA: MIT Press, 2002.
- [20] Wu, S. , "A Study of the Regional Characteristics of China's Grain Production: An Empirical Analysis Since the Market-oriented Reform", *Economic Research Journal*, 2000, 10, 38—45. (in Chinese)
- [21] Yan, T. , L. Li, and R. Wang, "Theory and Empirical Analysis on the Impact Factor of Agricultural Equipment in the Process of Modernization", *Journal of Agrotechnical Economics*, 2010, 12, 38—43. (in Chinese)
- [22] Yang, Q. , S. Yang, W. Ma, and Z. Shi, "Space Distributing and Using of Cultivated Land in a Mountains Area", *Mountain Research*, 2005, 6, 6749—6755. (in Chinese)
- [23] Yang, Y. , P. Liu, and N. Li, "The Factors Affecting Agricultural Mechanization in North-Eastern China: A Systematic Analysis", *Journal of Agrotechnical Economics*, 2006, 5, 28—33. (In Chinese)
- [24] Ying, R. , and X. Zheng, "Resources Endowment, Factor Substitution and the Transformation of Agricultural Production and Operation: Example from Food Production in Jiangsu and Zhejiang", *Issues in Agricultural Economy*, 2013, 12, 15—24, 110. (in Chinese)
- [25] Zeng, F. , and Y. Kuang, "On Food Contribution of the Great Grain Producing Province to National Food Security", *Issues in Agricultural Economy*, 2009, 6, 14—19, 110. (in Chinese)
- [26] Zhang, Z. , S. Zhou, G. Cao, and J. Wang, "Research on the Mid-long Term Demand of Agricultural Machinery Subsidy in China", *Issues in Agricultural Economy*, 2009, 12, 34—41. (in Chinese)
- [27] Zhao, Y. , T. You, Z. Wu, and D. Hu, "Analysis of Government Investment Scale on Agricultural Mechanization—Case of Hubei Provinces", *Journal of Agrotechnical Economics*, 2014, 5, 67—73. (in Chinese)
- [28] Zheng, X. , R. Ying, and Z. Xu, "Regional Heterogeneity of the Changes of Grain Production in the Context of Urbanization and Structural Adjustment in China", *China Soft Science*, 2014, 11, 71—86. (in Chinese)
- [29] Zhou, J. , Y. Chen, and D. Ruan, "The Influences of Landform Condition on Unbalanced Development of Agricultural Mechanization between Different Regions—An Empirical Analysis Based on County-level Panel Data of Hubei Province", *Chinese Rural Economy*, 2013, 9, 63—77. (in Chinese)

Endowment Restriction, Factor Substitution and Induced Technological Innovation: A Case Research on the Grain Producing Mechanization in China

XUYUAN ZHENG*

(*Fujian Agriculture and Forestry University*)

ZHIGANG XU

(*Nanjing Agriculture University*)

Abstract This study explains the influence mechanism of the difficulty of factor substitution which is constrained by resources endowment on factor substitution, using 1993—2010 panel data of national provinces, satellite remote sensing data of slope of cultivated land to take the empirical test. Studies show that rising labor costs will get farmers use machinery to replace labor, but significantly affected by the terrain conditions. The machine is easy to replace labor on the plain because of the low slope of land, which make the mechanization process faster than hilly. Research enriches the induced technological innovation theory, and has important policy implications.

Key Words theory of induced innovation, agricultural mechanization, difficulty of factor substitution

JEL Classification O33, Q16, D13

* Corresponding Author: Zhigang Xu, College of Economics and Management, Nanjing Agricultural University, Weigang, Nanjing, Jiangsu, 210095, China; Tel: 86-13671116568; E-mail: zgxu@njau.edu.cn