

中国玉米生产要素替代关系及技术进步路径分析

——基于主产省 2000—2016 年数据

陈芙蓉, 赵一夫

(中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100089)

摘要: 基于 2000—2016 年 17 个玉米主产省面板数据, 采用超越对数生产函数对玉米生产要素之间的替代关系进行实证分析, 在此基础上运用单要素生产率指标和二维空间相图增长分析法探讨中国玉米生产的技术进步路径。研究表明: 机械有效地替代了劳动力, 替代弹性为 1.17, 并在 2008 年以后呈现出平稳趋势; 在玉米用工价格普遍上升的背景下, 就机械对劳动力替代弹性而言, 西部山地玉米区高于黄淮海和东北优势玉米区; 玉米生产以机械技术为主, 呈现以节约劳动力要素和提高劳动生产率为导向的技术进步路径。

关键词: 玉米生产; 替代弹性; 单要素生产率; 偏技术进步

中图分类号: F326.11

文献标志码: A

文章编号: 1009-2013(2019)01-0026-09

Analysis on substitution relation of corn production factor and path of technological progress in China: Based on the data of major producing provinces from 2000 to 2016

CHEN Furong, ZHAO Yifu

(Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100089, China)

Abstract: Based on panel data of 17 major maize producing provinces from 2000 to 2016, this paper makes an empirical analysis of the substitution relationship between maize production factors by using the transcendental logarithmic production function. On this basis, the technological progress path of maize production in China is discussed by using single factor productivity index and two-dimensional spatial phase diagram growth analysis method. The research shows that machinery has effectively replaced labor force, the substitution elasticity is 1.17, and it shows a steady trend after 2008; under the background of the rising price of maize labor, in terms of the substitution elasticity of machinery for labor force, the western mountainous maize region is higher than the Huanghuai Hai and northeastern dominant maize region; maize production is mainly based on mechanical technology, which adopts the path of technological progress oriented by saving labor factors and improving labor productivity.

Keywords: maize production; elasticity of substitution; partial factor productivity; partial technical progress

一、问题的提出

随着工业化与城镇化的不断深化, 中国农村劳动力持续向非农部门转移。农村劳动力的非农转移主要通过两方面对农业生产产生影响: 一是农村劳动力的选择性转移改变了农业生产劳动力的结构,

使得农村劳动力呈现出兼业化、老龄化、女性化等特征^[1]。二是农村劳动力的非农转移使得农业生产用工价格上涨, 从而造成了农业生产中各要素价格的相对变动。2000—2016 年中国农业劳动力价格增长 4.5 倍, 远高于同期化肥和机械价格的增幅(分别为 1.84 倍和 1.25 倍)。受此影响, 玉米作为中国第一大粮食作物, 其生产用工价格不断上涨^[2]。2000—2016 年, 玉米生产用工价格从 9.34 元/日提升至 81.77 元/日, 远高于其他投入要素增幅。玉米的用工成本迅速增加使得玉米生产成本以及市场

收稿日期: 2019-01-07

基金项目: 中国农业科学院科技创新工程项目(ASTIP-IAED-2019-04)

作者简介: 陈芙蓉(1995—), 女, 湖南邵阳人, 硕士研究生。

价格节节攀升,由此进口量迅速增加,2016年达到316.66万吨,使得国外玉米对国内玉米产生极大挤压效应。毋庸置疑,中国玉米生产低成本优势正在逐渐减弱,玉米用工成本的增加对中国玉米产业发展带来严峻挑战。根据诱致性技术变迁理论,追求利润的农户会用价格相对较低的要素替代价格较高的要素来降低生产成本,要素相对价格的变化会引起要素替代,导致要素投入结构发生变化并诱发有偏的技术进步,最终影响农业增长路径选择与农业生产^[3]。在玉米用工价格上升背景下,分析中国玉米生产的要素替代关系及其技术进步趋向显然具有重要现实意义。

自 Hicks 提出要素替代弹性概念以来,农业生产中要素替代关系一直是学术界的 research 热点,要素禀赋结构变化与技术变迁的关系更是备受关注^[4-6]。陈书章等基于全国小麦省级数据,采用超越成本对数函数测算了各投入要素的替代弹性^[7],发现机械和劳动力之间存在显著的替代关系,化肥和有机肥之间存在显著的替代关系;李谷成等测算油菜的生产投入要素替代弹性后发现,化肥投入与劳动力投入、机械投入与劳动力投入之间均存在非常明显的替代关系^[8]。学界对玉米生产替代弹性的研究较为丰富。王晓兵等基于 1984—2012 年的玉米省级面板数据,采用随机前沿生产函数测算出玉米生产机械对劳动力的替代弹性为 1.03^[9]。潘彪等利用超越对数成本函数测算出 2004—2016 年玉米生产机械对劳动力的替代弹性为 1.324,高于同期小麦和水稻生产机械对劳动力的替代弹性^[10]。王鸥等基于全国农村固定观察点 2003—2014 年的农户面板数据,利用超越对数生产函数对玉米生产的要素替代弹性进行测算,发现机械对劳动力的替代弹性从 -0.744 升至 0.101,机械和劳动力关系经历了从互补向替代的衍变^[11]。在对中国农业增长路径的诱致性技术变迁理论实证中,全炯振研究发现土地生产率和劳动生产率总体上呈不断上升趋势,但与劳动生产率相比,土地生产率的上升趋势较为明显^[12],中国农业生产率的提升主要依赖于土地生产率的提升。而吴丽丽^[13]从要素禀赋变动角度分析表明:随着人口红利消失,中国农业已经从提高土地生产率为主的传统农业发展方式过渡到以提高劳动生产率为主的现代农业发展方式;农业增长基本上呈现

劳动生产率导向型路径,即以机械技术(M 技术)而非生物化学技术(BC 技术)为主导的增长路径。

综上所述,国内研究者采用不同的测度方法对整个农业以及不同农作物生产的要素替代弹性进行了实证研究,为探讨玉米生产的要素替代关系及其技术进步路径研究奠定了坚实的基础,但仍然存在以下不足:由于数据、测量方法和玉米产区自然环境的不同,已有研究对玉米生产的要素替代弹性测算结果差异较大;重视整个农业发展和增长路径的探讨而缺乏对玉米等单一作物生产技术进步路径的深入分析。在全国玉米用工成本上升幅度相似的前提下,各玉米主产区的机械与化肥投入上升幅度呈现差异化特征,是否存在机械和化肥对劳动力的替代弹性差异有待进一步考察。玉米作为土地密集型农产品,随着化肥对其产出贡献的不断下降,其生产偏技术进步方向如何值得进一步探讨。鉴此,本研究拟采用 2000—2016 年玉米主产省面板数据,利用超越对数生产函数对玉米生产要素之间的替代关系进行实证分析,并在此基础上运用单要素生产率指标和二维空间相图增长分析法探讨中国玉米生产的技术进步路径。

二、理论分析与模型构建

诱致性技术创新理论又称为“希克斯-速水-拉坦-宾斯旺格”假说,该假说认为要素相对价格变动决定技术变革的方向,也就是说技术变革会倾向于节约稀缺而昂贵的要素,使用充裕而便宜的要素。Hayami 和 Ruttan 最早验证了诱致性技术变迁理论在农业生产中的适用性,并用该理论成功解释了在自然资源给定条件下的农业技术生成和变化的偏向问题^[3]。具体而言,当一个要素的价格相对于其他要素上涨,就会促进减少这种要素的相对使用量的一系列技术变革。这一理论的微观基础在于,在不确定性条件和政策环境的约束下,为利益最大化,农户会依据农业劳动力与机械、化肥等要素价格的相对变动,在保持产量不变的前提下调整要素的投入比例。当农村劳动力价格不断上涨,用机械、化肥替代劳动力就成了农户的理性选择。对于中国玉米生产实际而言,短期的玉米用工成本增加,往往诱致农户减少对劳动力投入的依赖,增加价格相

对较低的机械与化肥投入,实现玉米生产投入要素结构在一定程度上优化重组,从而提高要素配置效率。长期的玉米用工价格上涨则会诱使生产者进行节约劳动力的技术创新,进而提高玉米生产要素的替代效率。由此可见,在玉米生产用工成本不断增加背景下,生产者会增加价格相对较低的化肥与机械投入来替代劳动力,以降低生产成本,从而影响中国玉米生产技术进步路径。

目前学术界测算要素替代弹性的方法呈现多元化趋势,根据不同的生产函数假设,具体可分为四种:柯布—道格拉斯生产函数(C-D)、不变替代弹性生产函数(CES)、可变替代弹性生产函数(VES)和超越对数函数(TRANSLOG)。超越对数函数模型与其他模型相比具有易估计和包容性优势^[14]。所谓易估计是指只需基本的投入产出数量数据,即可利用线性模型方法估计,比非线性的CES生产函数更容易处理;包容性是指超越对数函数是经典的Cobb-Douglas生产函数和CES生产函数的特例。VES函数形式复杂,难以进行线性估计。超越对数生产函数形式灵活、包容性极强,能够提供更为丰富的信息,因此,本研究将采用超越对数生产函数对中国玉米生产的要素替代关系进行实证分析。

设 Y_{it} 代表*i*省第*t*年的玉米主产品产量, L_{it} 、 M_{it} 、 F_{it} 和 C_{it} 分别劳动力、机械、化肥和其它要素投入,玉米生产函数可表示为:

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & \beta_0 + \beta_l \ln L_{it} + \beta_m \ln M_{it} + \beta_f \ln F_{it} + \beta_c \ln C_{it} + \\ & 1/2\beta_{ll}(\ln L_{it})^2 + 1/2\beta_{mm}(\ln M_{it})^2 + 1/2\beta_{ff}(\ln F_{it})^2 + \\ & 1/2\beta_{cc}(\ln C_{it})^2 + \beta_{lm} \ln L_{it} \ln M_{it} + \beta_{lf} \ln L_{it} \ln F_{it} + \\ & \beta_{lc} \ln L_{it} \ln C_{it} + \beta_{mf} \ln M_{it} \ln F_{it} + \beta_{mc} \ln M_{it} \ln C_{it} + \\ & \beta_{cf} \ln C_{it} \ln F_{it} + t + \mu_i + \varepsilon_i \end{aligned} \quad (1)$$

式中: β_0 为截距项, i 表示省份, t 为时期; μ_i 为个体效应,代表不随时间变化的省份个体异质性; ε_i 为扰动项。根据式(1),机械与劳动力的替代弹性为:

$$\sigma_{ml} = \frac{d(\frac{m}{l})}{\frac{m}{l}} \left[\frac{d(\frac{MP_l}{MP_m})}{\frac{MP_l}{MP_m}} \right]^{-1} = \frac{d(\frac{m}{l})}{\frac{m}{l}} \frac{MP_l}{MP_m} \quad (2)$$

其中劳动力和机械的边际替代率可表示为:

$$\frac{MP_l}{MP_m} = \frac{\frac{\partial Y}{\partial l}}{\frac{\partial Y}{\partial m}} = \frac{\varepsilon_l m}{\varepsilon_m l} \quad (3)$$

其中 MP 为要素边际产出, ε 为要素投入产出弹性。可具体表示为:

$$\varepsilon_m = \frac{\partial \ln Y_{it}}{\partial \ln m_{it}} = \beta_l + \beta_{ll} \ln L_{it} + \beta_{lm} \ln M_{it} + \beta_{lf} \ln F_{it} + \beta_{lc} \ln C_{it} \quad (4)$$

本研究采用修正的Hicks替代弹性公式进行计算^[14],结合式(1)的回归参数,将式(3)(4)带入式(2)进行运算整理,可求得机械与劳动力的替代弹性如下:

$$\sigma_{ml} = \left[1 + \left(2\beta_{ml} - \frac{\varepsilon_l}{\varepsilon_m} \beta_{mm} - \frac{\varepsilon_m}{\varepsilon_l} \beta_{ll} \right) (\varepsilon_m + \varepsilon_l)^{-1} \right]^{-1} \quad (5)$$

式中: σ_{ml} 的值域为 $(-\infty, +\infty)$,如果该弹性值大于0,机械和劳动力之间为替代关系,反之为互补关系。 σ_{ml} 绝对值越大,表明两种要素的关系就越强,替代或互补潜力越大。其他要素间的替代弹性计算方法类似,不再一一列出。

单要素生产率指标与二维空间相图增长法最早被Hayami和Ruttan用来分析跨国农业,随后得到扩展^[15]。本研究试图将其运用于中国省级层面玉米生产研究,为判断玉米生产增长路径选择提供实证依据。农业生产率的不断提高是现代农业生产的主要特征,农业生产率通常分为全要素生产率与单要素生产率两种形式。全要素生产率虽然具有很好的系统性,但由于它不区分技术进步形态,未考虑具体资源的利用效率,难以度量经济增长中存在的结构性问题^[16]。单要素生产率则可以避免全要素生产率的这一不足之处,在中国农业发展深受土地资源约束的情况下,还可以刻画出农业增长对劳动和土地生产率偏倚的结构性变化。本研究试图将其运用于中国省级层面玉米生产研究,为判断中国玉米生产增长路径选择提供实证依据。用 Y 、 A 和 L 分别表示玉米产出、土地和劳动力投入,则 Y/A 、 Y/L 、 L/A 和 A/L 分别表示土地生产率、劳动生产率、单位土地劳动集约率和地劳比率。那么,劳动生产率(Y/L)还可以分解为土地生产率(Y/A)和地劳比例(A/L)的乘积,即:

$$Y/L = (Y/A) \times (A/L) \quad (6)$$

方程式中各变量的关系可用二维空间坐标图

表示(图1)。其中,正坐标系的横轴代表劳动生产率,纵轴代表土地生产率;倒坐标系的横轴代表单位产出所占用的劳动力,纵轴代表单位产出所占用的土地;45度虚线表示地劳比率。将考察期土地生产率和劳动生产率的配合轨迹在坐标轴上描绘出来,形成一条直线,则直线的斜率将代表不同的玉米生产增长路径。每条直线的斜率可以表示为:

$$K = \frac{(Y/A)_2}{(Y/L)_2} \cdot \frac{(Y/L)_1}{(Y/A)_1} = \frac{\Delta(Y/A)}{\Delta(Y/L)} \quad (7)$$

结合土地生产率和劳动生产率的配合轨迹及其斜率,可将玉米生产增长分为为3种路径:当 $K > 1$ 时,表示土地生产率导向路径,即通过增加化肥、农药等物质资本投入来提高土地单产,也称为生物化学技术(BC)增长路径;当 $K < 1$ 时,表示劳动生产率导向路径,即通过增加机械等现代化工具来提高劳动生产率,也称为机械技术(M)增长路径;当 $K = 1$ 时,表示中性技术导向路径,即同时依靠提高土地生产率和劳动生产率的方式来实现农业增长。图1中直线①②③分别代表土地生产率导向路径、中性导向路径和劳动生产率导向路径。

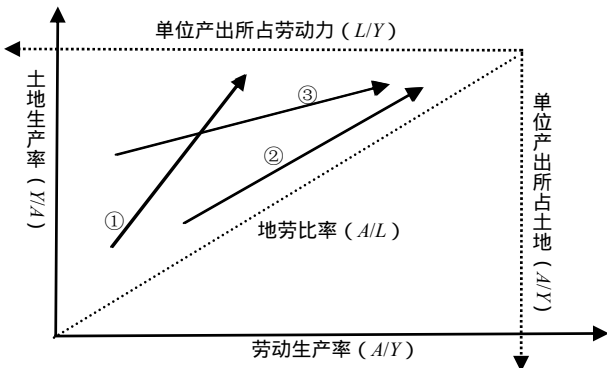


图1 玉米生产增长路径示意图

三、数据来源与实证结果分析

本研究选取辽宁、吉林、黑龙江、河北、内蒙古、山东、河南、江苏、安徽、甘肃、山西、陕西、宁夏、湖北、四川、新疆、云南等17个省玉米生产面板数据。玉米产出用玉米单位面积主产品产量(Y)来衡量,劳动力投入(L)用单位面积用工量衡量,机械、化肥和其他投入分别用机械作业费(M)、化肥费(F)和其他投入费(C)来衡量,其中其他投入费由物质与服务费扣除机械作业费和化肥费得出。土地生产率(Y/A)以每亩主产品产量表示,劳动生产率(Y/L)以亩均单个劳动力所创造的主产品产量表示,地劳比率(A/L)以劳动生产率与土地生产率的比值表示。亩均玉米主产品产量、劳动力投入、化肥投入、机械费用及其他投入费用等数据来源于《全国农产品成本收益资料汇编》。由于要素的替代弹性是指在给定产出和其他要素价格不变的条件下,两种要素的价格相对变动所引起的两种要素投入比例的相对变化,而机械与劳动力的比价在2000年后才呈现出明显变化趋势;加之玉米机械化起步晚,在进入21世纪之后才出现大规模机械对劳动力的替代,因此本研究选取的时间维度为2000—2016年。农业生产资料价格指数来源于《中国统计年鉴》(2001—2017年)。为了消除价格变动影响,利用农业生产资料价格指数将机械作业费、化肥费和其它投入费折算为1980年的不变价格。极个别缺失数据根据《农村统计年鉴》和相应省份的《统计年鉴》采用前后两年平均法补全。主要变量2000—2016年的玉米产出及投入变动情况见表1。

表1 2000—2016年玉米产出及投入变动情况表

| 变量 | 单位 | 2000年 | 2005年 | 2010年 | 2015年 | 2016年 |
|--------------|------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 主产品产量(Y) | 千克/亩 | 366.45 | 430.49 | 468.64 | 505.64 | 496.82 |
| 劳动力投入(L) | 日/亩 | 12.45 | 10.18 | 8.23 | 6.71 | 6.38 |
| 化肥投入(F) | 元/亩 | 15.28 | 18.94 | 19.02 | 19.45 | 18.52 |
| 机械投入(M) | 元/亩 | 3.65 | 4.82 | 9.14 | 15.59 | 16.05 |
| 其他投入(C) | 元/亩 | 17.44 | 16.85 | 17.71 | 21.22 | 20.88 |

注:根据《全国农产品成本收益资料汇编》整理所得。

由表1可知,2000—2016年期间,中国玉米主产品产量总体呈上升趋势,由2000年的366.45千克/亩提升至2015年的505.64千克/亩,提升了38%;而相对于2015年来说,2016年的玉米主产品产量

下降了2%。从各投入要素变化情况来看,亩均劳动力投入由2000年的12.45日降至2016年的6.38日,下降幅度接近50%;亩均机械投入费用呈持续上涨趋势,从2000年的3.65元上升至2016年的

16.05元;亩均化肥投入费用从2000年的15.28元缓慢上升至2015年的19.45元,2016年明显下降,亩均机械费用有接近亩均化肥费用趋势。

1. 参数估计

本研究使用STATA15.0软件进行数据操作,首先需要确定是使用混合OLS、固定效应还是随机效应模型。对面板数据的 F 检验和 LM 检验均在1%显著性水平上拒绝了“不存在个体效应”的原假设,说明不应使用混合OLS回归。进一步的稳健Hausman检验在1%显著性水平上拒绝了模型中“个体效应与解释变量不相关”的原假设,说明固定效应模型是合适的选择;考虑到本研究面板数据具有“时序长”的特点,利用Modified Wald检验、Pesaran CD检验和Wooldridge检验,对可能存在的组间异方差、组间同期相关以及组内自相关进行检验,发现Modified Wald检验的 p 值均为0.000,强烈拒绝“不存在组间异方差”的原假设;Pesaran CD检验的 p 值为0.359,接受“不存在组间同期相关”

的原假设;Wooldridge检验的 p 值为0.001,强烈拒绝“不存在一阶组内自相关”的原假设。因此,样本数据只存在组间异方差和一阶组内自相关。模型存在组间异方差说明各省份的生产要素投入波动不一,存在一阶组内自相关说明各省份每年的玉米投入数据与上一年相关;不存在组间同期相关说明同一时期内,各省份的玉米生产投入不影响其他省份的投入量。

本研究采用可行的广义最小二乘法(FGLS)对固定效应模型的异方差和同期相关进行修正,估计结果见表2列(4),作为对比,(1)—(3)列分别呈现了混合回归、固定效应回归以及随机效应回归结果。基于FGLS的估计结果,利用似然比检验(LR)进行二次项和交互项的联合显著性检验,在1%显著性水平上拒绝“二次项和交互项系数全部为零”的原假设,故检验支持了超越对数生产函数的设定。

表2 面板回归估计结果

| 变量 | (1) OLS | (2) FE | (3) RE | (4) FGLS |
|------------------------|----------------|-----------------|------------------|-------------------|
| $\ln L$ | -0.090(0.546) | 0.186(0.339) | 0.186(0.350) | 0.240** (0.086) |
| $\ln F$ | 2.492*(0.877) | 1.593(0.841) | 1.593(0.867) | 1.297*** (0.070) |
| $\ln M$ | 0.018(0.217) | 0.232(0.193) | 0.232(0.199) | 0.295*** (0.038) |
| $\ln C$ | 0.122(0.630) | 0.299(0.351) | 0.299(0.361) | 0.170*** (0.038) |
| $1/2 \times (\ln L)^2$ | -0.122(0.204) | -0.011(0.148) | -0.011(0.152) | -0.040 (0.028) |
| $1/2 \times (\ln F)^2$ | -0.807*(0.365) | -0.442(0.242) | -0.442(0.250) | -0.332*** (0.012) |
| $1/2 \times (\ln M)^2$ | 0.073(0.048) | 0.043(0.028) | 0.043(0.029) | 0.046*** (0.004) |
| $1/2 \times (\ln C)^2$ | 0.232(0.149) | -0.017(0.095) | -0.017(0.098) | 0.002(0.012) |
| $\ln L \times \ln F$ | 0.196(0.258) | -0.021(0.193) | -0.021(0.199) | -0.036* (0.016) |
| $\ln L \times \ln M$ | -0.017(0.085) | 0.025(0.061) | 0.025(0.063) | 0.021(0.012) |
| $\ln L \times \ln C$ | -0.051(0.061) | 0.005(0.035) | 0.005(0.036) | 0.022*** (0.002) |
| $\ln M \times \ln F$ | 0.033(0.101) | -0.020(0.071) | -0.020(0.073) | -0.036*** (0.009) |
| $\ln C \times \ln F$ | -0.185(0.284) | -0.033(0.173) | -0.033(0.178) | -0.018(0.010) |
| $\ln M \times \ln C$ | 0.004(0.075) | -0.079(0.065) | -0.079(0.067) | -0.086*** (0.005) |
| 常数 cons | 1.854(1.404) | 2.347(1.541) | 2.092(1.599) | 2.599*** (0.169) |
| T | -0.008(0.004) | 0.015** (0.004) | 0.015*** (0.004) | 0.016*** (0.000) |
| 个体效应 | NO | YES | YES | YES |
| 样本数 | 289 | 289 | 289 | 289 |

注:括号内数值为回归系数的标准误;*、**和***分别表示10%、5%、1%的显著性水平。

从模型的整体效果来看,模型中大多数系数都通过了5%显著性水平上的检验,说明模型拟合效果较好,因此以该模型估计系数测算的弹性值较为合理。从机械投入对玉米产量的影响来看,机械投入对玉米产量具有显著的正向影响。且机械投入的

平方项也通过了1%显著性水平上的检验,说明农业机械化有利于提高玉米产量。

2. 要素产出弹性与替代弹性分析

本研究主要讨论劳动力、机械、化肥的产出效应和相互替代效应。根据要素弹性公式测算2000—

2016年玉米生产要素的投入产出弹性及替代弹性,具体结果如图2和图3所示。

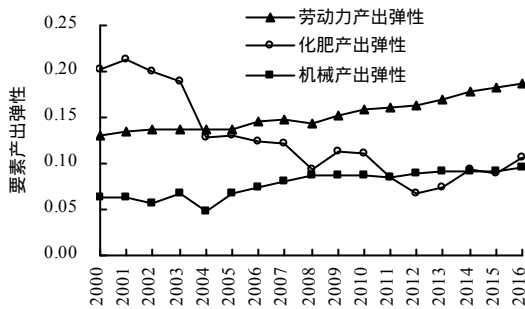


图2 2000—2016年玉米生产要素产出弹性变动

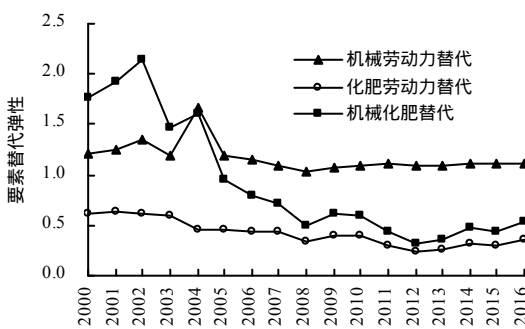


图3 2000—2016年玉米生产要素替代弹性变动

总体来看,中国玉米生产投入要素的产出弹性变化趋势各异(图2)。劳动力与机械的产出弹性处于增长趋势,而化肥的产出弹性处于下降趋势;劳动力产出弹性整体高于化肥产出弹性,高于机械产出弹性。具体来看,劳动力的产出弹性总体呈上升趋势。劳动力的产出弹性从2000年的0.131增加至2016年的0.186,并在2004年超过了化肥的产出弹性。究其原因在于进入21世纪以来,粮食购销市场化的实施加速了农村劳动力的外流^[17],劳动力的非农转移提高了农民非农业收入,资本替代劳动力成为趋势,相比之下劳动力产出弹性提高。化肥投入的产出弹性呈现出波动下降的趋势,一方面是由于作物生长有其自身所需化肥限量,另一方面是出于环境因素考虑,依靠增加化肥来提升玉米产量并不可持续。机械的产出水平总体呈稳定上升趋势,其产出弹性维持在0.09左右,这表明近20年的机械投入增加确实提高了玉米的产量;而产出弹性相对较低,则表明机械对产量增加的贡献比较有限,其作用以替代农业劳动力为主,弥补了劳动力转移对玉米生产的影响。

中国玉米生产投入要素中的机械与劳动力、化

肥与劳动力、机械与化肥之间均存在明显的替代关系(图3)。其中机械对劳动力的替代呈波动下降趋势并表现出一定的阶段性特征,其替代弹性平均值为1.17。在2000—2008年阶段,机械对劳动力的替代弹性较大。这是因为中国劳动力转移处于拓展和深化阶段,劳动力转移政策实现了从“允许流动”到“规范流动”的转变,农村仍然存在着大量的剩余的劳动力。而剩余劳动力的转移以及,机械化的日益深入普及使得机械大规模生产,减少了劳动时间,从而释放出大量劳动力,在此阶段机械对劳动力的替代潜力较大。2008年以后,机械与劳动力的替代弹性下降并保持平稳趋势,这表明机械对劳动力的替代潜力正在逐渐缩小。这是因为随着农村劳动力的持续非农转移,机械替代劳动力使得机械劳动力投入比不断增加,随着替代强度加大,进一步的替代难度越增大,即劳动力与机械价格比同样增加1%所导致的机械与劳动力的投入比增量下降。加之近几年劳动力价格上升幅度变缓,机械与劳动力的相对价格变化放缓,从而导致机械对劳动力的替代弹性处于下降趋势。

化肥对劳动力的替代一直较为稳定,替代弹性值维持在0.42左右。一方面,化肥与劳动力成互补关系,化肥的施用需要人工来完成,适当增施化肥、保证作物生长的养分,有助于减少田间管理的劳动力投入。然而,在生产实际中,经济激励才是农户决策的首要考量,特别是在非农就业机会增加和劳动力成本快速上升的背景下,农户倾向于减少劳动力投入、大量施用化肥,造成化肥投入不断增加^[18]。根据研究数据显示,化肥对劳动力的替代效用逐渐弱化,化肥的产出弹性增长停滞,加大化肥投入对玉米增产作用不大。这与高道明采用小麦数据的研究结论一致^[19]。机械投入和化肥投入分别作为劳动节约型和土地节约型农业技术的典型代表,他们在玉米生产过程中也表现出了一定程度的替代关系,吴丽丽的研究也有同样的结果^[5]。一个合理的解释就是机械“深松翻”技术能够大大增加化肥溶解率,进而减少其施用量,化肥成本增加会促进机械技术运用,促使机械投入替代化肥投入^[19]。

3. 要素产出弹性与替代弹性的地区差异

考虑到中国各地区经济社会发展程度差异以及自然资源禀赋差异对玉米要素投入结构的影响,本

研究进一步借鉴王军^[20]与刘超^[21]的研究将玉米优势产区划分为三大区域：东北优势玉米区、黄淮海玉米区和西部山地玉米区，以机械和劳动力为主要关注点，探索各地区玉米生产要素投入产出弹性与替代弹性差异。图 4、图 5 分别展示了各区域的劳动力产出弹性和机械对劳动力替代弹性的变化状况。从变化方向和变化趋势来看，各地区的劳动力产出弹性与全国整体上保持一致，均呈上升趋势；而除了 2004 年西部山地玉米区机械对劳动力的替代弹性波动较大，东北和黄淮海地区机械对劳动力的替代弹性与全国的阶段性特征相吻合。

比较三大区域的劳动力产出弹性强度发现，东北优势玉米区大于黄淮海玉米区，大于西部山地玉米区，表明加大东北优势玉米区的劳动力投入对玉米的产出贡献较大。而就机械对劳动力的替代弹性而言，西部山地玉米区最大，说明相比于东北平原地区、黄淮海丘陵地区，西部山地玉米区机械对劳动力替代潜力较大，即机械与劳动力的投入比例对劳动力价格上升的反应比较敏感。面临相同的劳动力与机械价格之比提高 1% 时，坡耕地比例较高地区的机械与劳动力投入比例的变化量较小，但变化率会较大，因此弹性较大^[22]。这是由于西部地区机械化程度较低，且多山地地貌，耕地中坡耕地比例、土地细碎化程度较高。机械对劳动力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，机械对劳动力的替代难度相对较大。加之土地细碎化程度高，耕地的空间分布具有地块多、面积小且较分散的特点，使得适用于平原地区的农机设备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。这正是劳动力价格上升背景下，各地区的机械化反映程度不一的重要原因。

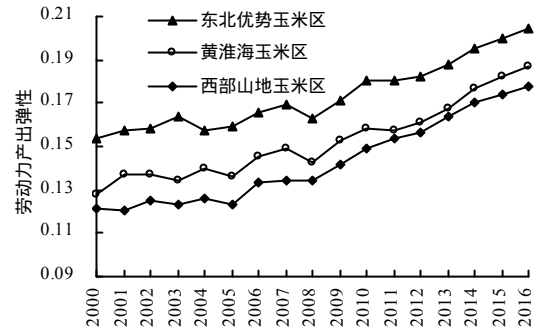


图 4 2000—2016 年各区域玉米劳动力产出弹性变动

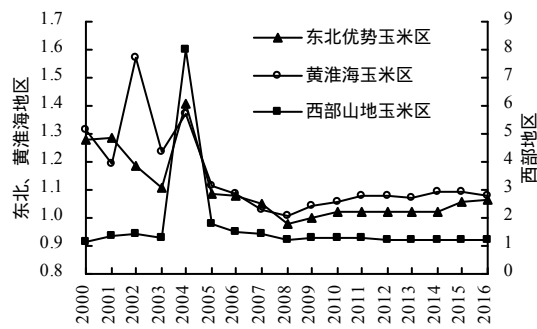


图 5 2000—2016 年各区域机械对劳动力替代弹性变动

4. 要素替代视角的玉米生产技术进步路径

诱致性技术创新理论认为要素的相对价格变动会引起要素替代，并诱发有偏技术进步。根据 2000—2016 年的玉米生产要素产出弹性与替代弹性变化趋势，反映出中国玉米生产技术进步方向主要为劳动节约型。为了进一步清楚地反映 2000 年来中国玉米生产的增长路径趋势，本研究基于单要素生产率指标和二维空间相图增长分析法，得到了玉米土地生产率与劳动生产率的配合轨迹 K 值(表 3)。

表 3 2000—2016 年中国玉米的土地、劳动生产率及增长路径 K 值变化趋势

| 年份 | 劳动生产率 (千克/日) | 劳动生产率增长率 (%) | 土地生产率 (千克/亩) | 土地生产率增长率 (%) | 土地劳动 集约率(日/亩) | K 值 |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|---------|
| 2000 | 32.51 | / | 366.45 | / | 12.45 | / |
| 2001 | 35.47 | 8.70 | 389.88 | 7.21 | 12.32 | 0.83 |
| 2002 | 39.72 | 13.92 | 413.76 | 7.71 | 11.62 | 0.55 |
| 2003 | 41.94 | 4.04 | 408.22 | (-1.63) | 11.15 | (-0.40) |
| 2004 | 46.37 | 15.30 | 436.66 | 9.20 | 10.71 | 0.60 |
| 2005 | 48.30 | 3.82 | 430.49 | (-1.39) | 10.18 | (-0.36) |
| 2006 | 52.73 | 9.82 | 433.21 | 1.06 | 9.33 | 0.11 |
| 2007 | 53.94 | 3.55 | 435.99 | 0.41 | 9.07 | 0.12 |
| 2008 | 61.05 | 12.71 | 467.62 | 8.56 | 8.84 | 0.67 |

表3(续)

| 年份 | 劳动生产率 (千克/日) | 劳动生产率增长率 (%) | 土地生产率 (千克/亩) | 土地生产率增长率 (%) | 土地劳动 集约率(日/亩) | K 值 |
|------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|---------|
| 2009 | 60.38 | 0.54 | 446.21 | (-4.13) | 8.37 | (-7.65) |
| 2010 | 65.12 | 7.52 | 468.64 | 5.03 | 8.23 | 0.67 |
| 2011 | 70.16 | 7.35 | 487.40 | 3.87 | 7.94 | 0.53 |
| 2012 | 75.22 | 6.97 | 508.05 | 4.55 | 7.83 | 0.65 |
| 2013 | 80.33 | 6.14 | 498.22 | (-1.90) | 7.29 | (-0.31) |
| 2014 | 86.25 | 6.40 | 508.54 | 2.55 | 7.04 | 0.40 |
| 2015 | 91.11 | 6.20 | 505.64 | (-0.20) | 6.71 | (-0.03) |
| 2016 | 95.78 | 5.30 | 496.82 | (-1.35) | 6.38 | (-0.25) |

注：表中括号内数据为负值； $K = \text{土地生产率增长率} / \text{劳动生产率增长率}$ ， $K > 1$ 、 $K < 1$ 和 $K = 1$ 分别代表 BC 技术、M 技术和“中性”技术增长路径。

根据 2000—2016 年中国玉米土地生产率、劳动生产率和增长路径的 K 值变化趋势，中国玉米生产主要为农业机械技术增长路径，以提升劳动生产率为手段来实现生产的增长。2000 年以来，中国玉米土地生产率和劳动生产率均大幅提升，分别由 2000 年的 366.45 千克/亩和 32.51 千克/日增长到 2016 年的 496.82 千克/亩和 95.78 千克/日，各增加了 0.36 和 1.95 倍。说明中国玉米生产中劳动生产率与土地生产率均有所提高，但是劳动生产率的增长远远高于土地生产率。从土地的劳动集约率来看，机械技术的应用与推广有效节约了玉米生产过程中的劳动力投入，进而促进了玉米劳动生产率的提升，表明中国玉米生产的增长主要以提升劳动生产率为主要手段，玉米生产的技术进步类型主要为劳动节约型。这也进一步支持了吴丽丽^[13]的观点：中国农业正在经历着历史性的转型，已突破了传统的高度人口—土地压力下的“内卷化陷阱”，从以提高土地生产率为主的传统农业发展方式向以提高劳动生产率为主的现代农业发展方式转变。从反映玉米生产增长路径的 K 值来看，除去玉米生产的土地生产率与劳动生产率变化方向相反导致的 K 为负值年份来看，中国玉米的 K 值均小于 1，说明中国玉米生产自 2000 年以来基本上是以提升劳动生产率来实现增长。

四、研究结论及其启示

上述研究表明：一是从要素产出弹性强度及其趋势来看，玉米生产的劳动力产出弹性大于化肥产出弹性，大于机械产出弹性；劳动力与机械的产出弹性处于平稳增长趋势，而化肥产出弹性呈现出明

显的下降趋势；就劳动力产出弹性而言，东北优势玉米区大于黄淮海玉米区，大于西部山地玉米区，加强东北优势玉米区机械、化肥对劳动力的替代更有利于释放劳动力，对玉米的产出贡献潜力较大。二是玉米生产要素之间存在明显的替代关系，替代弹性在 2008 年以后呈现出平稳趋势。总体上，机械对劳动力的替代弹性呈现出下降趋势，近几年机械对劳动力的替代弹性值稳定在 1.1 左右。在玉米生产中，随着机械对劳动力的替代强度加大，农村劳动力向非农业部门转移进程放缓，机械对劳动力替代潜力下降。在劳动力价格不断上升背景下，各玉米主产区的生产要素替代弹性呈现出明显的差异性。西部地区机械对劳动力的替代弹性最大，黄淮海地区次之，显示出替代弹性的大小不仅与要素价格相对变动相关，而且与替代的可行性相关。三是玉米生产出现了明显的诱致性技术变迁，其技术进步总体上倾向于节约劳动力要素，以提高劳动生产率为导向。

以上结论具有如下启示：一是劳动力价格上升诱致机械和化肥对劳动力的有效替代，从而弥补了劳动力转移带来的损失，但机械对劳动力的替代弹性逐渐减弱，一方面由于技术替代难度加大，另一方面农村劳动力的选择性转移使得劳动力结构呈现老龄化与女性化趋势，留下来的劳动力基于自身情况留在农村意愿较大，因此在一定程度上劳动力的非农转移步伐变缓，从而导致机械对劳动力的替代潜力下降。因此相应的制度设计与政策安排必须就如何改善劳动力结构问题做出前瞻性规划。二是中国玉米生产技术进步是以机械技术而非生物化肥技术为主导，重点应该要放在如何提高劳动生产

率上,这就要求应加快推进机械化进程来发展现代化农业,但各玉米主产区的要素产出弹性与替代弹性呈现出明显的差异性,因此在推进机械化过程当中,应当因地制宜引导农业机械技术的研发和创新,针对土地细碎化严重、坡耕地比例较高的丘陵和山地地区,采用适宜该地形的中小型农机具,使得机械对劳动力进行有效的替代,进一步释放劳动力,提升劳动生产效率。

注释:

- ① 东北优势玉米区: 内蒙古、吉林、辽宁、黑龙江; 黄淮海玉米区: 河北、山西、山东、河南、江苏、安徽、湖北; 西部山地玉米区: 陕西、甘肃、宁夏、新疆、四川、云南

参考文献:

- [1] 李旻, 赵连阁. 农村劳动力流动对农业劳动力老龄化形成的影响——基于辽宁省的实证分析[J]. 中国农村经济, 2010(9): 68-75.
- [2] 孙炜, 李谷成, 高雪. 玉米生产成本效率的地区差异及其影响因素——基于 17 个主产省 2004—2015 年的数据[J]. 湖南农业大学学报(社会科学版), 2018, 19(2): 8-15, 79.
- [3] Hayami Y, Ruttan V W. Factor Prices and Technical Change in Agricultural Development: The United States and Japan, 1880-1960[J]. Journal of Political Economy, 1970, 78(5): 1115-1141.
- [4] 黄玛兰, 李晓云, 游良志. 农业机械与农业劳动力投入对粮食产出的影响及其替代弹性[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2018(2): 37-45, 156.
- [5] 吴丽丽, 李谷成, 周晓时. 中国粮食生产要素之间的替代关系研究——基于劳动力成本上升的背景[J]. 中南财经政法大学学报, 2016(2): 140-148, 160.
- [6] 尹朝静, 范丽霞, 李谷成. 要素替代弹性与中国农业增长[J]. 华南农业大学学报(社会科学版), 2014, 13(2): 16-23.
- [7] 陈书章, 宋春晓, 宋宁, 等. 中国小麦生产技术进步及要素需求与替代行为[J]. 中国农村经济, 2013(9): 18-30.
- [8] 李谷成, 梁玲, 尹朝静, 等. 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[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2015(1): 7-13.
- [9] 王晓兵, 许迪, 侯玲玲, 等. 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[J]. 农业技术经济, 2016(6): 4-12.
- [10] 潘彪, 田志宏. 中国农业机械化高速发展阶段的要素替代机制研究[J]. 农业工程学报, 2018, 34(9): 1-10.
- [11] 王欧, 唐轲, 郑华懋. 农业机械对劳动力替代强度和粮食产出的影响[J]. 中国农村经济, 2016(12): 46-59.
- [12] 全炯振. 中国农业的增长路径: 1952—2008 年[J]. 农业经济问题, 2010, 31(9): 10-16.
- [13] 吴丽丽, 李谷成, 周晓时. 要素禀赋变化与中国农业增长路径选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2015, 25(8): 144-152.
- [14] 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[J]. 数量经济技术经济研究, 2015, 32(4): 88-105, 122.
- [15] Hayami Y, Ruttan V W, Agricultural development: An international perspective[M]. Baltimore: Johns Hopkins University press, 1985.
- [16] 周晓时, 李谷成, 吴丽丽. 转型期我国农业增长路径与技术进步方向的实证研究——基于大陆 28 省份的经验证据[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2015(5): 40-47.
- [17] 王跃梅, 姚先国, 周明海. 农村劳动力外流、区域差异与粮食生产[J]. 管理世界, 2013(11): 67-76.
- [18] 胡浩, 杨泳冰. 要素替代视角下农户化肥施用研究——基于全国农村固定观察点农户数据[J]. 农业技术经济, 2015(3): 84-91.
- [19] 高道明, 王丽红, 田志宏. 我国小麦生产的要素替代关系研究[J]. 中国农业大学学报, 2018, 23(6): 169-176.
- [20] 王军, 徐晓红, 王洪丽, 等. 中国核心优势产区玉米生产效率增长及其分解分析[J]. 玉米科学, 2010, 18(6): 133-137, 142.
- [21] 刘超, 王雅静, 陈其兰, 等. 中国玉米生产技术效率的测度及其影响因素研究——基于 1995—2015 年省级面板数据的实证[J]. 世界农业, 2018(8): 139-145.
- [22] 郑旭媛, 徐志刚. 资源禀赋约束、要素替代与诱致性技术变迁——以中国粮食生产的机械化为例[J]. 经济学(季刊), 2016, 16(1): 45-66.

责任编辑: 李东辉