



吴庆君, 朱俊峰. 中国棉花生产要素替代及区域异质性[J]. 中国农业大学学报, 2024, 29(05): 221-230.

WU Qingjun, ZHU Junfeng. Factor substitution and regional differences of cotton production in China [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2024, 29 (05): 221-230.

DOI: 10.11841/j.issn.1007-4333.2024.05.20

中国棉花生产要素替代及区域异质性

吴庆君 朱俊峰*

(中国农业大学 经济管理学院, 北京 100083)

摘要 为稳定国内棉花生产, 适度恢复长江和黄河流域棉区产能提供可行建议, 利用要素弹性变化解释棉农的生产决策行为逻辑, 先采用超越对数成本函数和似不相关回归估计棉花生产要素成本份额方程, 再计算出要素需求弹性和影子替代弹性。结果表明: 1) 整体来看, 我国棉花生产中劳动力和化肥需求缺乏弹性; 机械需求弹性呈下降趋势, 从富有弹性变为缺乏弹性。2) 劳动力、化肥和机械两两之间相互替代, 机械与劳动力的替代关系最强, 化肥与劳动力的替代关系最弱。3) 棉区间的差异主要在于黄河和长江流域棉区的机械需求始终富有弹性, 且化肥对劳动力的替代弹性整体下降; 而西北内陆棉区的机械需求开始缺乏弹性, 化肥对劳动力的替代弹性则有所增长。因此, 西北内陆棉区需合理控制机械价格, 又要警惕化肥投入过量导致的环境负外部性; 而黄河和长江流域棉区则应着力提升棉花生产机械化水平, 既要增加与当地棉花生产配套的机械供给, 又要利用政策工具有效调控机械需求。

关键词 棉花生产; 要素需求; 要素替代; 超越对数成本函数; 区域异质性

中图分类号 F326

文章编号 1007-4333(2024)05-0221-10

文献标志码 A

Factor substitution and regional differences of cotton production in China

WU Qingjun, ZHU Junfeng*

(College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract In order to provide feasible suggestions for stabilizing domestic cotton production and moderately restoring the production capacity of cotton areas in the Yangtze and Yellow River basins, the study explained the behavioral logic of cotton farmers' production decision using elastic changes in factors. The trans-log cost function and seemingly uncorrelated regression were employed to estimate the cost share equation of major inputs in cotton production. On this basis, the demand elasticity for each factor and substitution elasticity were calculated. The results showed that: 1) The demand for labor and chemical fertilizer was lack of elasticity in China's cotton production, while the elasticity of mechanical demand declined and turned from elastic to inelastic. 2) There was a mutual substitution among labor, chemical fertilizer and machinery input, and the substitution between machinery and labor was the strongest and the weakest between fertilizer and labor. 3) When it came to different cotton areas, the machinery demand was always elastic and the elasticity of fertilizer-labor substitution declined during the study period in the Yellow River and Yangtze River basin cotton-growing area. In the northwest cotton-growing area, the machinery demand turned to be inelastic and the fertilizer on the elasticity of substitution for labor increased.

收稿日期: 2023-07-23

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(71973137)

第一作者: 吴庆君 (ORCID: 0000-0001-9868-3599), 博士研究生, E-mail: wqj2020@cau.edu.cn

通讯作者: 朱俊峰 (ORCID: 0009-0000-9566-3170), 教授, 主要从事农业经济理论与政策、农村土地政策研究, E-mail: zhujunf@cau.edu.cn

Therefore, we suggested that the northwest cotton-growing area need control the price of machinery reasonably, as well as be vigilant about the negative environment externality caused by excessive input of fertilizer. The Yellow River and Yangtze River basin cotton-planting area should focus on the mechanization of cotton production to enhance the supply of technology and machinery suitable for local cotton production and apply the policy instrument effectively to stimulate the demand for machinery.

Keywords cotton production; factor demand; factor substitution; trans-log cost function; regional heterogeneity

我国是世界最大的棉花进口国和第二大棉花生产国。作为重要的纺织工业原料,国内棉花消费量常年稳定在750万~850万t,约占全球总量的1/3。近年来我国棉花自给率维持在70%左右。随着国际棉花贸易争端频发,稳定国内生产对于全产业链的健康发展至关重要。相较于传统的三足鼎立格局,当前以新疆棉区为主,黄河流域、长江流域棉区为辅的高度集中化生产布局已经基本成型。统计数据显示,2022年新疆棉花产量539.06万t,占全国棉花总产量的90.66%。为了防范产业过度集中可能存在的自然风险和经济风险^[1],2021年12月农业农村部印发的《“十四五”全国种植业发展规划》明确提出,要适度恢复黄河流域和长江流域棉区,“十四五”期间力争棉花播种面积恢复到1100万亩(约73.33万hm²)以上^[2]。尽管棉花生产布局的变动既有赖于新疆得天独厚的自然条件,也有目标价格补贴等政策的引导作用^[3],但这并不能有效解释为何内地传统植棉区生产不断萎缩。本研究认为,棉花生产布局的变化在微观上体现为棉农的生产决策,从经济学角度出发考察农户的植棉决策,可能会得出更具普适性的结论。

诱致性技术变迁理论认为,当要素价格发生相对变化时,作为理性决策者的农户会倾向于使用充裕的、相对便宜的要素,节约稀缺的、相对昂贵的要素,进而引发要素替代^[4]。传统的农业生产主要基于3种要素:劳动力、土地和资本,但考虑到农业技术进步偏向性特征,当技术进步偏向于替代要素时,可以实现节约资源。我国棉花生产主要存在两种技术进步模式,一是用机械代替劳动力的机械型技术进步,二是用生物化学要素代替土地的生物化学型技术进步^[5]。我国棉花生产的现实也证明,劳动力、化肥和机械是最重要的3种投入要素。自上世纪末以来,随着农村剩余劳动力大量外移,我国农业劳动力价格逐年攀升^[6-7]。在此背景下,棉花生产要素的价格都有明显上涨。其中,1999—2021年,劳

动日工价从10.63元升至61.64元,增幅为4.8倍;化肥价格从3.38元/kg升至3.92元/kg,上涨16%;机械价格上涨24%。同时,每0.0667hm²棉花生产劳动投入从30.23工日减少到9.44工日,减少了2.2倍;每0.0667hm²化肥投入从24.36kg增加到41.47kg,增幅为70%;每0.0667hm²机械作业费从13.35元上升到179.26元,增加了12.42倍。可以看出,相对价格变化引发了要素间的相互替代。当替代不能顺利进行时,农户可能会调整作物类型,甚至退出农业生产。

已有文献对我国农业生产中的要素替代关系进行了广泛而深入的研究。从宏观层面看,资本对劳动替代效应的增强有效推动了中国农业增长^[8];农业生产中增加资本投入有助于提高自然资源的利用效率,可以理解两者间的替代关系,如有研究发现增加农业灌溉投资能有效节约灌溉用水^[9];人力资本增强了资本对土地的替代,为缓解人多地少的农业发展困境提供了思路^[10]。在劳动力价格普遍上涨的大背景下,学者们更加关注其他要素对劳动力的替代。在粮食作物生产中,小麦生产机械—劳动力之间存在单位替代弹性,劳动力—化肥、化肥—机械之间均缺乏替代弹性^[11];玉米和大豆生产中机械对劳动力的替代高于化肥,但有减弱的趋势^[12-13];考虑到地形等因素的影响,水稻生产中机械对劳动力的替代存在较大差异,如江苏省水稻种植中的劳动力较浙江省更容易被替代,劳动力价格上升反而扩大了江苏省水稻规模^[14]。经济作物如劳动密集型的苹果、柑橘、甘蔗等生产中,机械对劳动力的替代普遍高于化肥^[4,15-17];而在土地密集型的油菜生产中,化肥对劳动力的替代弹性显著高于机械^[18];花生生产中,机械对劳动力的替代最强且呈上升趋势,化肥对劳动力的替代则有所减弱^[19]。学者们对不同作物的分析基本形成了一致结论,即劳动力成本上升会诱导农户采用劳动节约型技术,进而推动农业专业化与机械化^[20-23]。此外,也有学者

关注地区经济发展、地形条件等对要素替代的影响^[22]。但综合来看,已有研究尚未对棉花生产要素弹性变化及其区域差异进行过深入分析。鉴于棉花生产在国民经济中的重要地位,以及我国优化棉花产业布局的迫切需求,本研究尝试利用生产要素需求弹性及替代弹性变化解释微观的棉农生产决策行为;并通过要素投入结构变动及其区域差异理清当前棉花生产布局的形成逻辑,以期适度恢复长江和黄河流域棉区产能,保障棉花产业安全提供切实可行的建议。

1 研究设计

1.1 研究方法

1.1.1 超越对数成本函数模型

参考晏百荣等^[4]和吴丽丽等^[20]的研究成果,构建如下超越对数成本函数模型:

$$\ln C = \alpha_0 + \sum_{i=1}^k \alpha_i \ln X_i + \sum_{i=1}^k \beta_i \ln P_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \alpha_{ij} \ln X_i \ln X_j + \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \gamma_{ij} \ln P_i \ln X_j + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \delta_{ij} \ln P_i \ln P_j + \epsilon_i \quad (1)$$

式中: C 为每0.066 7 hm²棉花生产成本; X_i 和 X_j 分别代表第 i 和第 j 种要素的投入量; P_i 和 P_j 分别代表第 i 和第 j 种要素的价格; ϵ_i 为随机扰动项; α 、 β 、 γ 、 δ 为待估参数。由于超越对数成本函数满足对称性和价格齐次性^[4],待估参数间须满足如下关系:

$$\delta_{ij} = \delta_{ji}, (i \neq j), \sum_{i=1}^k \beta_i = 1, \sum_{i=1}^k \delta_{ij} = 0, \sum_{i=1}^k \gamma_{ij} = 0$$

化简后得到成本份额方程 ω_i :

$$\frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = \frac{\partial C}{\partial P_i} \frac{P_i}{C} = \frac{X_i P_i}{C} = \omega_i = \beta_i + \sum_{j=1}^k \gamma_{ij} \ln X_j + \sum_{j=1}^k \delta_{ij} \ln P_j \quad (2)$$

本研究将棉花生产要素简化为劳动力、化肥、机械和其他4种,4种要素成本份额之和等于1。由于“其他”要素名目繁杂且数据获取难度较大,后续只对前3个成本份额方程 ω_L 、 ω_F 和 ω_M 进行估计。由于单个农户无法控制要素的市场价格和供求状况,棉花生产要素市场接近于完全竞争,因此可以将要素价格看作外生变量。此外,各要素的投入决策并非孤立,考虑到可能存在的相关性,本研究将利用似不相关回归对成本份额方程进行系统估计。

1.1.2 要素需求弹性和要素替代弹性

要素需求弹性表示一种要素的需求量对其自身价格变动的敏感程度^[24]。本研究根据成本份额函数的系数计算出要素需求弹性^[25-26],公式如下:

$$E_{ii} = \frac{\gamma_{ii}}{2\omega_i} + \omega_i - 1 (j=i) \quad (3)$$

$$E_{ij} = \frac{\gamma_{ij}}{\omega_i} + \omega_j (j=i) \quad (4)$$

式中: E_{ii} 为要素 i 的需求价格弹性; E_{ij} 为要素 i 和要素 j 的交叉价格弹性; γ_{ij} 为成本份额方程 ω_i 中的系数。

相较于其他常用的要素替代弹性,影子替代弹性(SES)能反映出两种要素相对价格变化所引起的两者投入比例的变化程度^[27],更接近替代弹性的原始定义和现实状况。因此本研究选择SES表征棉花生产要素间的替代关系,其计算公式如下^[28]:

$$\begin{aligned} \text{SES}_{ij} &= \frac{\partial \ln (C_i(Y; P)) / C_j(Y; P)}{\partial \ln (P_j / P_i)} = \\ &= \left(-\frac{C_{ii}}{C_i C_i} + 2 \frac{C_{ij}}{C_i C_j} - \frac{C_{jj}}{C_j C_j} \right) / \left(\frac{1}{P_i C_i} + \frac{1}{P_j C_j} \right) = \\ &= \frac{\omega_i}{\omega_i + \omega_j} (E_{ij} - E_{jj}) + \frac{\omega_i}{\omega_i + \omega_j} (E_{ji} - E_{ii}) \quad (5) \end{aligned}$$

1.2 数据来源及变量说明

本研究样本考察期为1999—2021年,全国及主产省的棉花生产要素投入数据来源于《全国农产品成本收益资料汇编》^[29];农业生产资料价格指数来源于《中国农村统计年鉴》^[30];个别缺失数据采用均值插补法进行补充。变量定义如下:

1) 劳动力价格 P_L 和投入量 L 。 P_L 用每0.066 7 hm²的棉花生产人工成本与劳动投入量之比表示; L 为每0.066 7 hm²用工量。

2) 化肥价格 P_F 和投入量 F 。 P_F 用每0.066 7 hm²的棉花生产化肥成本与化肥投入量之比表示; F 为每0.066 7 hm²化肥折纯量。

3) 机械价格 P_M 和投入量 M 。 P_M 用农业机械价格指数表示^[11], M 用每0.066 7 hm²机械作业费表示。

4) 生产成本 C 和成本份额 ω_i 。 C 为每0.066 7 hm²的棉花生产成本,包括棉花直接生产过程中除土地成本外的各种资源耗费。 ω_L 、 ω_F 、 ω_M 和 ω_O 分别表示劳动力、化肥、机械和其他成本份额,前三项总和在2006年后均值高达83.73%,是棉花生产中的主要投入要素。此外,本研究分别按照农村居民消费价

格指数、化学肥料价格指数、农业机械价格指数和农业生产资料价格指数将劳动力、化肥、机械和生

产成本折算为1998年不变价格。表1为变量的描述性统计。

表1 变量描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of variables

变量 Variable	变量定义 Definition	均值 Mean	标准差 SD	最小值 Min	最大值 Max
劳动力价格 Price of labor	人工成本除以用工投入量	33.091	31.409	6.344	458.740
化肥价格 Price of fertilizer	化肥作业费除以化肥投入量	3.621	0.737	2.011	9.368
机械价格 Price of machinery	机械价格指数	105.342	15.765	79.952	145.312
劳动投入 Labor input	单位用工投入量	24.177	6.952	2.540	49.610
化肥投入 Fertilizer input	单位化肥投入量	31.050	8.314	11.110	52.210
机械投入 Machinery input	单位机械投入量	46.904	45.526	0.020	258.280
人工成本占比 Proportion of labor cost	人工成本占生产成本比重	0.654	0.152	0.213	0.879
化肥成本占比 Proportion of fertilizer cost	化肥成本占生产成本比重	0.123	0.046	0.033	0.231
机械成本占比 Proportion of machinery cost	机械成本占生产成本比重	0.048	0.041	0.000	0.207
其他成本占比 Proportion of other costs	其他成本占生产成本比重	0.175	0.096	0.048	0.459

2 实证结果与分析

2.1 成本份额方程估计结果

如前述,本研究基于超越对数成本函数,运用似不相关回归系统估计劳动力、化肥和机械三大成本份额方程(表2)。

估计结果显示,控制省份虚拟变量后,超过70%的关键解释变量在1%的水平下显著,系数方向和大小基本符合预期。各省份棉花生产要素投入存在显著差异。以最近5年产量居全国前三位的省份为例,在控制其他变量后,新疆的人工成本份额低于全国平均且在1%的水平下显著。实际上,1999—2021年新疆棉花生产人工成本份额均值为41.47%,远低于全国平均值61.34%。河北人工成本份额高于全国平均但不显著,山东高于全国平均且在10%的水平下显著,统计数据显示这两省人工成本份额分别为65.22%和68.73%,略高于全国均值。机械成本份额方面,新疆高于全国均值且在

1%水平下显著,河北和山东低于全国平均值且在10%的水平下显著。事实上,1999—2021年上述3省份机械成本份额均值分别为28.63%、19.11%和16.85%,同期全国均值为19.73%。分析表明,本研究估计结果能够比较真实地反映中国棉花生产的现实状况。

从要素投入对自身成本份额的作用来看,随着投入量的增加,三大要素的自身成本份额均显著增加。劳动力投入系数最高,说明其影响力最大;机械投入的影响最小。从要素价格对自身成本份额的作用来看,劳动力和化肥价格的系数为正,说明价格上涨会使两者自身成本份额显著增加;机械价格的系数为负,说明价格上涨会减少机械成本份额。这可能是由于我国棉花生产中劳动力和化肥的需求缺乏弹性,而机械需求富有弹性。

从要素投入对其他要素的影响来看,劳动力投入的增加使得化肥和机械份额显著下降;化肥投入的增加会显著降低人工成本份额且显著提升机械

表2 成本份额方程估计结果

Table 2 Estimation results of cost-share equation

自变量 Explanatory variable	劳动力份额(ω_L) Labor cost		化肥份额(ω_F) Fertilizer cost		机械份额(ω_M) Machinery cost	
	估计系数 Coefficient	Z值 Z value	估计系数 Coefficient	Z值 Z value	估计系数 Coefficient	Z值 Z value
$\ln P_L$	0.218 9***	47.44	-0.066 1***	-34.29	-0.008 4***	-3.46
$\ln P_F$	-0.024 3**	-2.47	0.067 6***	16.42	0.025 6***	4.95
$\ln P_M$	0.045 1**	2.39	-0.013 3*	-1.69	-0.031 4***	-3.17
$\ln L$	0.252 5***	29.81	-0.061 0***	-17.24	-0.041 1***	-9.25
$\ln F$	-0.123 1***	-11.15	0.098 6***	21.37	0.011 8**	2.03
$\ln M$	-0.005 0***	-2.88	-0.001 8**	-2.53	0.009 0***	9.87
D_2 (河北 Hebei)	0.001 5	0.20	0.007 2**	2.27	-0.007 6*	-1.90
D_3 (山西 Shanxi)	-0.009 3	-1.21	-0.000 3	-0.08	0.015 8***	3.91
D_4 (江苏 Jiangsu)	0.040 4***	5.05	0.004 7	1.39	-0.020 8***	-4.96
D_5 (安徽 Anhui)	0.036 2***	4.64	0.014 3***	4.40	-0.031 7***	-7.75
D_6 (江西 Jiangxi)	0.009 5	1.04	0.000 9	0.23	-0.017 9***	-3.75
D_7 (山东 Shandong)	0.012 5*	1.73	0.003 0	0.98	-0.006 5*	-1.70
D_8 (河南 Henan)	0.052 8***	6.40	0.010 1***	2.92	-0.011 1**	-2.56
D_9 (湖北 Hubei)	0.043 2***	5.88	0.005 1*	1.66	-0.020 0***	-5.19
D_{10} (湖南 Hunan)	0.047 4***	5.05	0.000 1	0.02	-0.010 8**	-2.20
D_{11} (陕西 Shaanxi)	-0.005 8	-0.69	0.010 1***	2.86	0.008 0*	1.80
D_{12} (甘肃 Gansu)	-0.031 0***	-3.58	-0.013 2***	-3.65	0.035 8***	7.88
D_{13} (新疆 Xinjiang)	-0.072 4***	-8.56	-0.003 8	-1.09	0.026 2***	5.92
常数项 Constant	-0.601 0***	-6.28	0.172 8***	4.32	0.250 9***	5.00
观测值 Observations	299		299		299	
调整 R^2 Adjusted R^2	0.976 3		0.955 0		0.912 9	
卡方检验 Chi-square test	12 339.24		6 340.37		3 134.23	
P值 P value	0.000		0.000		0.000	

注： D 为省份虚拟变量； D_1 (全国)为基准变量；*、**和***分别表示在10%、5%和1%的水平下显著性。

Note: D is province dummy variable; D_1 works as a reference variable. *, ** and *** represent significant level of 10%, 5% and 1%, respectively.

成本份额；机械投入的增加会显著降低人工和化肥成本份额。从要素价格对其他要素的影响来看，随着劳动力价格上升，化肥和机械成本份额显著减

少，由此推断化肥、机械和劳动力之间可能存在互补关系；化肥价格上涨会显著减少劳动力投入份额，由此推断两者可能是互补关系；化肥价格上涨

会显著增加机械成本份额,由此推断两者之间可能存在替代关系;机械价格上升会使劳动力投入份额显著增加而化肥投入份额显著减少,由此推断机械与劳动力之间为替代关系,而与化肥之间则是互补关系。后面将对以上推断进行验证。

2.2 要素需求弹性分析

图1反映出我国棉花生产中劳动力、化肥和机械的要素需求弹性及其变化趋势。3者需求弹性均 <0 ,即投入量都会随自身价格的上升而下降,这符合客观经济规律,也说明在我国棉花生产中仍然可以将价格作为调节要素需求的手段。从需求弹性系数的大小来看, $|E_{LL}| < |E_{FF}| < |E_{MM}|$,劳动力需求弹性最小,机械需求弹性最大。说明与劳动力和化肥相比,机械需求对自身价格变化的反应更加灵敏,通过调控机械价格来优化要素投入结构的政策工具效果可能更加明显^[12]。 $|E_{LL}| < |E_{FF}| < 1$ 说明劳动力和化肥的需求缺乏弹性,两者价格的变动只会引起自身投入更小幅度的反向变动。可以判断,目前劳动力和化肥仍是棉花生产最基本的要素,即使价格大幅上涨,农户也难以显著减少其投入。此外,劳动力和化肥需求弹性的整体变化幅度较小且走势基本一致,2014年后都呈缓慢上升的趋势。

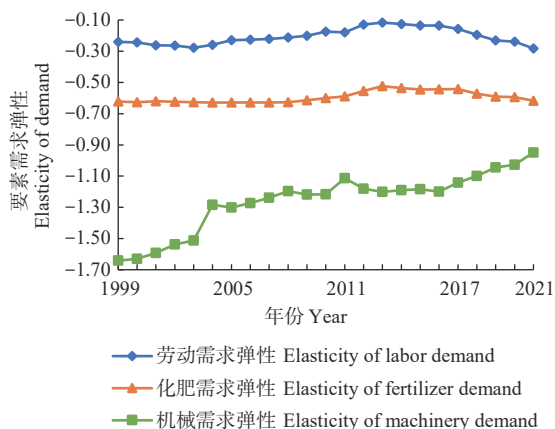


图1 1999—2021年我国棉花生产要素需求弹性变化

Fig. 1 Changes in the demand elasticity of factors for cotton production in China from 1999 to 2021

机械需求弹性整体来看呈下降趋势。1999—2020年 $|E_{MM}| > 1$,说明机械的需求富有弹性,即农户对机械的投入更易受价格因素的影响,机械价格变化会引起机械投入量更大幅度的反向变动;2021年 $|E_{MM}| < 1$,机械需求开始缺乏弹性。从富有弹性

变为缺乏弹性说明机械在棉花生产中的作用越来越重要。由于采棉机等专业化程度高,用途单一,替代品也较少,因此需求量对价格变化的敏感程度减弱。尽管如此,由于机械需求弹性仍处于较高水平,政府通过推行农机购置补贴政策降低农机服务价格,依然可以刺激农户增加机械投入,进一步提高棉花生产的机械化水平。

2.3 要素替代弹性分析

通过计算得出我国棉花生产三大要素投入间的关系(图2)。若替代弹性 >0 ,说明两要素间存在替代关系,反之则为互补关系;绝对值越大,表示替代或互补关系越强。整体来看, $SES_{LM} > SES_{FM} > SES_{LF} > 0$,说明要素两两之间存在替代关系,且在劳动力成本上升的背景下,机械对劳动的替代作用最强,化肥对劳动的替代作用最弱。

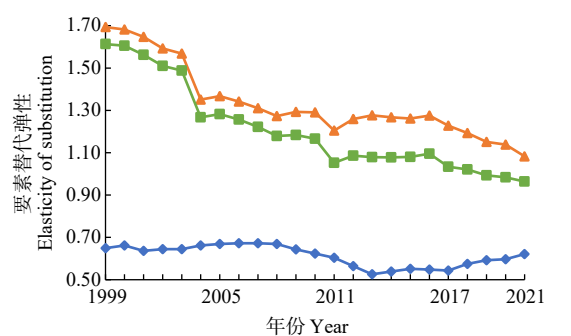


图2 1999—2021年我国棉花生产要素替代弹性变化

Fig. 2 Changes in the elasticity of factor substitution for cotton production in China from 1999 to 2021

1)劳动力与机械之间存在替代关系,且整体呈下降趋势。 $SES_{LM} > 0$ 说明棉花生产中劳动力价格相对于机械价格的刚性上升引发了机械对劳动的替代。自20世纪80年代起,我国农村劳动力大量向非农部门转移,1999—2021年农业从业人口数量从3.29亿减少到1.71亿;同期全国农业机械总动力增长了1.16倍,农用大中型拖拉机数量增长了5.35倍,大中型拖拉机配套农具增长了近3倍。要素供求关系的变化导致劳动力价格持续上涨,全国日均工价从1999年的10.63元提高到2021年的61.64元,增加了4.80倍,而机械价格仅上升了23.55%。由于劳动力相对价格更为昂贵,农户作为理性决策者,逐渐利用机械等劳动节约型技术替代人力。统

计数据显示,1999—2021年我国棉花生产中人工投入减少了31.23%,而机械投入增加了13.42倍。机械对劳动力的替代整体呈下降之势。2004年出台的农机具购置补贴政策促进了农机作业的普及。近年来,多种新型经营主体以及农业生产性服务外包的发展壮大、农机跨区作业等加快了机械对劳动力的替代,这可能解释了2004—2016年机械—劳动力替代弹性的波动式上升。但与其他大田作物相比,棉花生产的技术性强,田间管理环节多,机械对劳动力的替代效应边际递减。

2)劳动力与化肥之间存在替代关系,且呈波动上升的趋势。 $SES_{LF} > 0$ 说明价格的相对变化引发了化肥对劳动力的替代,而且这种替代关系正在强化。棉花是典型的土地密集型作物,当耕地数量受到约束时,化肥作为土地节约型技术,具有较大的作用空间。理论上讲,化肥与劳动之间的替代和互补关系并存。替代关系体现在增施化肥可以促进作物生长,提高作物单产;连续合理的施肥有助于增加土壤有效养分、减少病虫害等,其中部分效用可以通过精细化的田间管理实现。互补关系主要体现在化肥施用需要劳动投入的辅助。当替代关系大于互补关系时,劳动力价格的上涨将刺激农户增施化肥。现实中,1999—2021年劳动力和化肥的价差由3.15倍扩大至15.72倍。劳动力相对价格上升,化肥相对价格下降,农户为实现利润最大化,倾向于增加化肥投入以替代劳动。在此过程中,一些合理的农事操作程序和施肥方法被舍弃,农户倾向于选择少次多量的施肥方式(如把原先整个生长期的化肥用量一次性在播种期施用)^[31],以此弥补田间管理劳动投入下降带来的减产损失,这解释了两者之间替代关系逐渐加强的趋势。

3)化肥与机械之间存在替代关系,且呈下降趋势。化肥与机械分别是土地节约型和劳动节约型技术,随着土地和劳动力价格的持续上涨,农户必然投入更多的化肥和机械。由于劳动力的流动性强于土地,机械投入的增加量要明显高于化肥增加量^[15]。1999年—2021年我国棉花生产中化肥投入增加了70.24%,而机械投入增加了13.42倍。在现代化棉花生产中,化肥深施机、植保无人机、水肥一体化设备等应用有效提升了化肥利用效率。

2.4 要素弹性的区域异质性

按照传统棉区划分方式,黄河流域棉区包括河

北、山西、山东、河南和陕西5省;长江流域棉区包括江苏、安徽、江西、湖北和湖南5省;甘肃和新疆2省(自治区)为西北内陆棉区^[32]。本研究将进一步比较要素弹性的区域差异。

表3显示出黄河流域和长江流域棉区的劳动力、化肥需求均缺乏弹性,机械需求则富有弹性;长江流域棉区的机械需求弹性显著高于黄河流域棉区,说明内地棉花生产对机械的应用比较有限。事实上,内地规模化机收基本处于小规模示范阶段,标准化生产和机采棉等推广缓慢^[1]。由于三大要素价格全面上涨,植棉利润空间被进一步压缩,恢复内地棉花生产势必要加大对棉农的补贴力度以刺激其机械采纳行为。此外,内地棉花机械市场供求不匹配,急需加大科技投入,研发适合内地棉花生产的配套技术。西北内陆棉区三大要素弹性均在下降,机械需求从富有弹性转为缺乏弹性,说明西北棉区的机械化发展迅速,在较高水平上趋近于供求平衡点。据统计,2021年底新疆棉花耕种收机械化综合水平达到92.16%。

从要素替代弹性分析,1999—2021年黄河流域棉区的劳动力价格增涨5.79倍,化肥价格上涨10%,机械价格上涨17%。化肥对劳动力的替代整体下降,机械对劳动力的替代则先降后升。长江流域棉区的劳动力价格增加4.16倍,化肥价格上涨23%,机械价格上涨35%。机械对劳动力的替代持续减弱,而化肥对劳动力的替代先降后升。西北内陆棉区劳动力价格增加了5.52倍,化肥价格上涨22%,机械价格则下降了4%。化肥对劳动力的替代在增强,机械对劳动力的替代则在持续减弱。以上结果表明,棉农的生产要素投入结构变化存在显著的区域差异。除要素价格外,地形条件、种植结构调整等也是可能的影响因素。当机械投入增加到一定程度后,农户开始通过增施化肥等方式来提高产量。如果不遵循边际产值等于市场价格的经济行为^[31]而盲目增施化肥,短期内可能会增加农业面源污染,导致耕地质量退化,长期来看将产生严重的环境负外部性,因此需要相关政策加以规范和引导。

3 结论与政策建议

3.1 结论

本研究基于我国棉花生产要素投入的面板数

表3 1999—2021年不同棉区生产要素需求弹性与替代弹性变化

Table 3 Elasticity changes of factor demand and substitution in cotton production by regions from 1999 to 2021

棉区 Cotton region	要素弹性 Elasticity	年份 Year						
		1999	2000	2005	2010	2015	2020	2021
黄河流域 Yellow River basin	E_{LL}	-0.272	-0.267	-0.210	-0.144	-0.042	-0.037	-0.041
	E_{FF}	-0.597	-0.619	-0.608	-0.546	-0.342	-0.295	-0.385
	E_{MM}	-1.502	-1.421	-1.282	-1.193	-1.362	-1.353	-1.336
	SES_{LF}	0.591	0.631	0.631	0.550	0.327	0.279	0.375
	SES_{LM}	1.562	1.482	1.353	1.270	1.421	1.413	1.397
	SES_{FM}	1.450	1.390	1.244	1.090	1.118	1.070	1.120
长江流域 Yangtse River basin	E_{LL}	-0.197	-0.210	-0.190	-0.132	-0.041	-0.045	-0.051
	E_{FF}	-0.619	-0.625	-0.629	-0.613	-0.483	-0.498	-0.534
	E_{MM}	-3.771	-3.735	-2.469	-2.705	-2.697	-2.541	-2.487
	SES_{LF}	0.657	0.669	0.686	0.669	0.492	0.515	0.561
	SES_{LM}	3.810	3.774	2.517	2.750	2.733	2.582	2.529
	SES_{FM}	3.744	3.711	2.460	2.707	2.610	2.455	2.419
西北内陆 Northwest inland	E_{LL}	-0.304	-0.328	-0.306	-0.282	-0.292	-0.280	-0.287
	E_{FF}	-0.629	-0.628	-0.630	-0.626	-0.632	-0.612	-0.620
	E_{MM}	-1.062	-1.042	-1.089	-1.007	-0.989	-0.961	-0.917
	SES_{LF}	0.532	0.569	0.655	0.640	0.662	0.611	0.609
	SES_{LM}	1.101	1.103	1.176	1.120	1.104	1.081	1.034
	SES_{FM}	1.092	1.079	1.104	1.019	1.030	0.978	0.982

注：要素弹性系棉区内各省份的算术平均值。篇幅所限，本部分仅汇报部分主要年份的数据。

Note: Each factor elasticity is calculated based on arithmetic average method. Due to the limited space in this chapter, data for some major years are reported in this section only.

据构建超越对数生产函数,研究劳动力价格上升背景下棉花生产的要素需求弹性、替代关系及其区域差异。结果表明:

1)整体来看,我国棉花生产中的劳动力和化肥需求缺乏弹性,机械需求从富有弹性变为缺乏弹性。说明要素价格变化可以有效调节机械的投入量,但对劳动和化肥投入的调节作用有限。相比之下,调控机械价格的政策效果会更显著。

2)我国棉花生产三大要素间均存在替代关系。机械对劳动力的替代作用最强,但整体呈下降趋势;化肥对劳动力的替代作用最弱,处于长期稳定状态。这既是农业机械化发展的大势所趋,也说明过量施肥的粗放投入方式发展空间有限。

3)分棉区比较,三大棉区的劳动力、化肥需求均缺乏弹性;长江和黄河流域棉区的机械需求富有弹性,西北内陆棉区的机械需求则从富有弹性变为缺乏弹性。这主要是因为内地棉花生产机械化水

平整体较低。黄河流域棉区化肥对劳动力的替代下降,机械对劳动力的替代先降后升;长江流域棉区的机械-劳动力替代弹性持续下降且降幅最大;西北内陆棉区化肥对劳动力的替代则在增强。相较于其他大田作物,棉花生产的技术性更强,田间管理环节也更多,当机械化发展到一定程度后,农户倾向于选择少次多量的施肥方式弥补劳动力投入下降带来的损失,化肥对劳动的替代也随之增强。

3.2 政策建议

准确把握棉花生产要素弹性的变化规律,对于优化要素投入结构和产业布局,保障棉花产业安全意义重大。基于此,本研究提出以下建议:

1)继续通过棉花目标价格补贴、定额补贴以及农业“四补贴”等政策激发农户植棉积极性。完善农机购置与应用补贴政策,探索与作业量挂钩的补贴办法,进一步降低机械作业价格,使政策效果更好地惠及小农户。

2)加大科技投入力度,一方面研发适合内地棉花生产的配套技术,尤其是丘陵山区适用的小型机械;另一方面,注重培育和扶持新型经营主体和生产社会化服务组织,推动内地棉花规模化、产业化发展。

3)继续实施化肥减量增效,促进棉花生产绿色转型,尤其是在西北内陆棉区。具体措施如:推广测土配方施肥技术;引导生物肥料、有机肥料对化肥的替代;实施差异化的政策激励或生态补偿机制;通过试验示范效应提升农户生态技术采纳行为;改善施肥技术,提高肥料使用效率。

参考文献 References

- [1] 陈常兵. 我国内地棉区棉花生产现状与发展对策[J]. 中国农技推广, 2022, 38(10): 10-13
Chen C B. Status quo of cotton production and development countermeasure in Chinese inland cotton region [J]. *China Agricultural Technology Extension*, 2022, 38(10): 10-13 (in Chinese)
- [2] 农业农村部. 关于印发《“十四五”全国种植业发展规划》的通知[J]. 中华人民共和国农业农村部公报, 2022(2): 26-43
Ministry of Agriculture and Rural Affairs. Circular on the issuance of the 14th Five-Year Plan for the development of the national planting industry [J]. *Bulletin of the Ministry of Agriculture and Rural Development of the People's Republic of China*, 2022(2): 26-43 (in Chinese)
- [3] 谭晓艳, 张晓恒, 游良志. 自然因素和政策干预对中国棉花生产布局变迁的影响[J]. 农业技术经济, 2020(4): 79-93
Tan X Y, Zhang X H, You L Z. A study on the impact of natural factors and policy interventions on the dynamics of cotton production [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2020(4): 79-93 (in Chinese)
- [4] 晏百荣, 周应恒, 张晓恒. 农业劳动力价格上升对中国苹果生产要素投入结构的影响[J]. 农林经济管理学报, 2017, 16(5): 563-572
Yan B R, Zhou Y H, Zhang X H. Influence of agricultural labor price rising on Chinese apple production factors input structure [J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2017, 16(5): 563-572 (in Chinese)
- [5] 蔡晓琳, 李慧泉. “藏粮于技”背景下我国小麦产业偏向性技术进步的路径选择[J]. 农业技术经济, 2023(8): 130-144
Cai X L, Li H Q. The path choice of biased technical progress of China's wheat industry under the background of 'Storing grain in technology' [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2023(8): 130-144 (in Chinese)
- [6] 蔡昉. 中国流动人口问题[M]. 北京: 社会科学文献出版社, 2007
Cai F. *Floating Population in Transition China* [M]. Beijing: Social Sciences Academic Press, 2007 (in Chinese)
- [7] 杨进, 钟甫宁, 陈志钢, 彭超. 农村劳动力价格、人口结构变化对粮食种植结构的影响[J]. 管理世界, 2016(1): 78-87
Yang J, Zhong F N, Chen Z G, Peng C. Rural labor price, population structure and grain planting structure [J]. *Management World*, 2016(1): 78-87 (in Chinese)
- [8] 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(2): 16-23
Yin C J, Fan L X, Li G C. Elasticity of substitution of factor and China's agricultural growth [J]. *Journal of South China Agricultural University: Social Science Edition*, 2014(2): 16-23 (in Chinese)
- [9] 刘渝, 张俊飏, 杜江. 农业灌溉投资与灌溉用水的替代弹性分析[J]. 财经论丛, 2009(5): 1-5
Liu Y, Zhang J B, Du J. Analysis of substitute relation between farmland irrigation input and irrigation investment in China [J]. *Collected Essays on Finance and Economics*, 2009(5): 1-5 (in Chinese)
- [10] 李志俊. 中国农业要素的替代弹性: 人力资本的作用及农业技术变迁[J]. 财经论丛, 2014(7): 10-15
Li Z J. Substitution elasticity of China's agriculture: The role of human capital and technological changes [J]. *Collected Essays on Finance and Economics*, 2014(7): 10-15 (in Chinese)
- [11] 陈书章, 宋春晓, 宋宁, 王济民, 马恒运. 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
Chen S Z, Song C X, Song N, Wang J M, Ma H Y. Technological progress, behaviors of demand for and substitution of production factors in wheat production of China [J]. *Chinese Rural Economy*, 2013(9): 18-30 (in Chinese)
- [12] 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[J]. 农业技术经济, 2016(6): 4-12
Wang X B, Xu D, Hou L L, Yang J. Study on the mechanization and mechanical labor force's substitution effect of maize production: Analysis based on the provincial panel data [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2016(6): 4-12 (in Chinese)
- [13] 韩振兴, 常向阳. 劳动力价格上升、要素替代与要素投入结构变化: 来自中国大豆生产的证据[J]. 农业现代化研究, 2021, 42(3): 507-516
Han Z X, Chang X Y. Rising labor prices, input substitution, and input structure changes: Evidence from soybean production in China [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2021, 42(3): 507-516 (in Chinese)
- [14] 易福金, 刘莹. 劳动力价格上升与江、浙水稻播种面积相悖变化: 基于替代弹性的解释[J]. 统计与信息论坛, 2016(4): 87-92
Yi F J, Liu Y. The paradox of rice planted area changes in Jiangsu and Zhejiang: An interpretation based on elasticity of substitution [J]. *Statistics & Information Forum*, 2016(4): 87-92 (in Chinese)
- [15] 向云, 祁春节, 王伟新. 柑橘生产的要素替代关系及增长路径研究: 基于主产区面板数据的实证分析[J]. 中国农业大学学报, 2017, 22(7): 200-209
Xiang Y, Qi C J, Wang W X. Key factor substitution and growth path of citrus production: An empirical analysis based on the panel data of main production area [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2017, 22(7): 200-209 (in Chinese)
- [16] 王水连, 辛贤. 中国甘蔗种植机械与劳动力的替代弹性及其对农民收入的影响[J]. 农业技术经济, 2017(12): 32-46
Wang S L, Xin X. Substitution elasticity between machinery and labor and its effect on farmers' income in China's sugarcane cultivation [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2017(12): 32-46 (in Chinese)
- [17] 孟子恒, 朱海燕, 刘学忠. 农业产业集聚对农业经济增长的影响研究: 基于苹果产业的实证分析[J]. 中国农业资源与区划, 2022, 43(2): 231-239
Meng Z H, Zhu H Y, Liu X Z. Research on the impact of agribusiness agglomeration on agricultural economic growth: Empirical analysis based on apple industry [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2022, 43(2): 231-239 (in Chinese)
- [18] 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[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2015(1): 7-13
Li G C, Liang L, Yin C J, Feng Z C. Did labor transfer harm production of rapeseeds in China: Based on factor production elasticity and substitution elasticity [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2015(1): 7-13 (in Chinese)
- [19] 周曙东, 李幸子. 要素价格上涨对要素投入结构的影响研究: 以花生生产

- 为例[J]. 农业现代化研究, 2020, 41(1): 125-134
- Zhou S D, Li X Z. The study of the influence of input price increase on the input adoption structure: A case study of peanut production in China [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2020, 41(1): 125-134 (in Chinese)
- [20] 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
- Wu L L, Li G C, Zhou X S. The demand and substitution relations of grain production factors [J]. *Journal of Zhongnan University of Economics and Law*, 2016(2): 140-148, 160 (in Chinese)
- [21] 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[J]. 农业经济问题, 2013, 34(12): 15-24, 110
- Ying R Y, Zheng X Y. Resources endowment, factor substitution and the transformation of agricultural production and operation: Example from food production in Jiangsu and Zhejiang [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2013, 34(12): 15-24, 110 (in Chinese)
- [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), 2017, 16(1): 45-66
- Zheng X Y, Xu Z G. Endowment restriction, factor substitution and induced technological innovation: A case research on the grain producing mechanization in China [J]. *China Economic Quarterly*, 2017, 16(1): 45-66 (in Chinese)
- [23] 刘开华, 李彬, 王凤羽. 基于生产要素视角的重庆市农业供给效率与发展潜力分析[J]. 中国农业资源与区划, 2021, 42(5): 178-186
- Liu K H, Li B, Wang F Y. Analysis of agricultural supply efficiency and development potential in Chongqing from the perspective of production factor [J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2021, 42(5): 178-186 (in Chinese)
- [24] Marshall A. *Principles of Economics* [M]. New York: Macmillan, 1916
- [25] Binswanger H P. A cost function approach to the measurement of elasticities of factor demand and elasticities of substitution [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1974, 56(2): 377-386
- [26] 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
- Hao F. Formula correction and estimation methods comparison on elasticity of substitution within Translog functions [J]. *The Journal of Quantitative & Technical Economics*, 2015, 32(4): 88-105, 122 (in Chinese)
- [27] 宋海风, 刘应宗. 小麦生产中农业机械与劳动力替代弹性及地区差异测算[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(2): 200-206
- Song H F, Liu Y Z. Study on elasticity of substitution of agricultural machinery and labor force and regional differences in wheat production [J]. *Journal of Chinese Agricultural Mechanization*, 2019, 40(2): 200-206 (in Chinese)
- [28] Mundlak Y. Elasticities of substitution and the theory of derived demand [J]. *The Review of Economic Studies*, 1968, 35(2): 225-236
- [29] 国家发展和改革委员会价格司. 全国农产品成本收益资料汇编 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000—2022
- Price Division, National Development and Reform Commission. *Compilation of National Agricultural Product Cost-Benefit Data* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2000-2022 (in Chinese)
- [30] 国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2000—2022
- Department of Rural Socio-Economic Survey, National Bureau of Statistics. *China Rural Statistical Yearbook* [M]. Beijing: China Statistics Press, 2000-2022 (in Chinese)
- [31] 栾江. 农业劳动力转移与化肥施用存在要素替代关系吗: 来自我国粮食主要种植省份的经验证据[J]. 西部论坛, 2017, 27(4): 12-21
- Luan J. Does agricultural labor migration have substitution relation with fertilizer use: Experience and evidence from main provinces and municipalities planting crops in China [J]. *West Forum*, 2017, 27(4): 12-21 (in Chinese)
- [32] 杨继良. 中国棉区分及棉种和原棉质量现状[J]. 中国棉花加工, 2000(5): 40-42, 49
- Yang J L. Delineation of cotton regions and the current status of cotton seed and raw cotton quality in China [J]. *Cotton Processing in China*, 2000(5): 40-42, 49 (in Chinese)

责任编辑: 王岩



第一作者简介: 吴庆君, 中国农业大学经济管理学院博士研究生。专业方向为农业经济理论与政策、农村土地政策、棉花产业经济。2020—2023年曾获得中国农业大学博士研究生二等学业奖学金。在 *Forests* 和《价格月刊》等 SSCI 及北大核心期刊发表学术论文。



通讯作者简介: 朱俊峰, 博士, 中国农业大学经济管理学院教授、博士生导师, 东亚农业农村发展研究中心主任。主要研究方向为农业经济理论与政策、粮食生产与经营、农村土地政策。先后主持完成国家自然科学基金项目、教育部人文社科课题、农业部软科学课题等 20 余项, 在《中国农村经济》《农业经济问题》《农业技术经济》等杂志发表论文 80 余篇。获得中国农业大学十大优秀硕士论文指导教师奖励。