

# 我国劳动力价格上升、要素替代与设施蔬菜生产研究 ——以番茄、黄瓜、茄子和菜椒为例

钱玮亭, 朱彦旭, 李梅芳

(中国农业大学烟台研究院 山东烟台 264670)

**摘要:** 伴随我国“人口红利”消失, 劳动力价格上涨, 我国设施蔬菜生产过程中要素投入结构也发生了变化。选取了2011—2020年设施栽培的4种蔬菜作为研究对象, 建立超越对数成本份额方程, 计算劳动要素的需求价格弹性与劳动力、化肥与农业机械要素之间的需求替代弹性。研究发现, 劳动要素需求价格弹性系数为负且绝对值小于1, 说明缺乏弹性; 机械与劳动和化肥的替代弹性系数大于0且系数值均大于0.5, 替代性显著; 劳动与化肥弹性系数小于0且绝对值递减接近0, 表现为替代性下降, 互补性增强。针对研究结论, 提出加大设施蔬菜生产的农机购置与农机租赁补贴、加大农机的研发推广力度、推进农艺农机深度融合以及对化肥的使用进行优化等建议。

**关键词:** 设施蔬菜; 要素禀赋; 成本结构; 替代弹性

中图分类号: F323.6

文献标志码: B

文章编号: 1673-2871(2024)03-184-09

## Research on rising labor prices, factor substitution and facility vegetable production in China: Taking tomato, cucumber, eggplant and bell pepper as examples

QIAN Weiting, ZHU Yanxu, LI Meifang

(Yantai Institute of China Agricultural University, Yantai 264670, Shandong, China)

**Abstract:** Along with the disappearance of China's "demographic dividend" and the rise of labor prices, the factor input structure in China's facility vegetable production has changed. Four facility vegetables from 2011 to 2020 were selected as research objects, and translog cost share functions were established to calculate the price elasticity of demand of labor factors and the elasticity of demand substitution among labor, fertilizer and agricultural machinery factors. The study found that the price elasticity of the demand coefficient of labor factors is negative and the absolute value is less than 1, indicating the lack of elasticity; the elasticity of the substitution coefficient of machinery and labor and fertilizer is greater than 0 and the coefficient value is greater than 0.5, with significant substitutability; the elasticity coefficient of labor and fertilizer is less than 0 and the absolute value decreases close to 0, which shows that substitutability is decreasing, and complementarities are increasing. For the conclusion of the study, it is proposed to increase the subsidies for the purchase and lease of agricultural machinery for the production of vegetables in facilities, increase the research and development of agricultural machinery, promote the deep integration of agronomy and agricultural machinery, and optimize the use of fertilizer.

**Key words:** Facility vegetable; Factor endowment; Cost structure; Elasticity of substitution

设施蔬菜是借助人工技术, 利用温室、大棚等设施, 改造光照、温度等气象因素种植的蔬菜。21世纪, 我国的设施蔬菜产业发展迅速, 2019年, 我国设施蔬菜总产值为0.98万亿元, 占全国蔬菜产值约

53.87%, 设施蔬菜产业在促进就业、保障供给、增加收入方面具有重要的作用<sup>[1]</sup>。当前我国所面临的人口负增长、劳动人口流动性增强以及老龄化等问题是我国设施蔬菜生产的劳动成本上升的重要原

收稿日期: 2023-03-21; 修回日期: 2024-01-02

基金项目: 烟台市教育局校地融合项目(2022XDRHXMQT24); 2022年度中国农业大学烟台研究院引导性课题(Z202304)

作者简介: 钱玮亭, 女, 本科, 研究方向为产业经济。E-mail: qwq0140@163.com

通信作者: 李梅芳, 女, 教授, 研究方向为农业经济、生态农业与环境。E-mail: limeifang1969@163.com

因<sup>[2]</sup>。设施番茄、黄瓜、茄子与菜椒是我国4种主要的设施蔬菜,平均667 m<sup>2</sup>劳动力每工日价格2011—2020年由47.1元上升至106.5元,约上升126.11%,增长迅速;相比较而言,化肥与机械的价格增长与劳动价格的增长呈非对称性增长的态势,增长幅度分别为15.26%和11.04%。要素之间相对价格的差异会导致诱致性技术变革的产生,价格相对低廉的丰裕要素代替昂贵的稀缺要素被投入到生产当中<sup>[3]</sup>。伴随着价格的变动,各要素的投入量在市场的调节下随之变动,在2011—2020年,667 m<sup>2</sup>机械投入量增加最为明显,上升幅度为60.99%,而667 m<sup>2</sup>化肥投入量整体变化幅度较小,在时间段内有所起伏,无明显的上升或下降的趋势,整体下降约0.41%。相应的,667 m<sup>2</sup>劳动力投入下降趋势较为明显,下降幅度为11.8%。粗略看来,设施蔬菜的要素投入的确具有跟随市场价格的波动此消彼长、起伏变动的倾向,但是要素间相互替代的具体机制仍需借助科学的方法加以更深入的探讨。

关于农业生产中劳动要素禀赋对农业生产影响的问题,国内有诸多研究成果:周曙东等<sup>[4]</sup>根据花生的成本收益验证了“速水-拉坦”理论,证明劳动力要素禀赋在下降的情况下会引起机械、化肥等要素的替代;汪中华等<sup>[5]</sup>借助DEA-Malmquist模型对粮食作物的农业技术进步偏向进行测度,发现我国农业技术偏向更多表现为节约劳动要素的农机偏向技术特征;张丽等<sup>[6]</sup>借助超越对数随机前沿分析方法证明农机具购置与劳动力的相对价格不具有明显的诱导作用,而农机服务于劳动力的相对价格具有显著的诱导作用;黎星池等<sup>[7]</sup>从种植业结构变动的角度出发对劳动要素价格变动的影响进行研究,发现劳动要素价格上涨有利于粮食作物的种植而不利于经济作物的种植;杨肃昌等<sup>[8]</sup>认为城乡二元结构阻碍了劳动力要素的自然流动,对农村的生态环境存在负面影响。

随着我国设施蔬菜生产的不断发展,国内关于设施蔬菜生产的成本收益情况的研究也随之增多。肖体琼等<sup>[9]</sup>认为,轻简化生产技术的发展是解决设施蔬菜生产过程中存在的成本与价格压力问题的关键;陈玛琳等<sup>[9]</sup>对北京市设施蔬菜进行研究,认为水、电、气以及土地价格的制约是设施蔬菜生产成本较高、“优质不优价”的重要原因;刘明<sup>[10]</sup>通过测算张家口农户设施蔬菜的生产情况,得出我国部分地区存在设施蔬菜化肥使用过多,导致出现农户

收益不增反降的问题。

目前已有的文献为笔者的研究打下了基础,但目前关于劳动要素禀赋的变动对设施蔬菜生产结构的影响的研究仍然较少,对设施蔬菜不同要素之间的诱导性技术变更情况仍然缺少实证分析。因此笔者的研究将立足于2011—2020年设施番茄、设施黄瓜、设施茄子和设施菜椒4种主要设施蔬菜的成本效益情况,借助超越对数成本份额模型与影子价格理论对该问题进行研究。

## 1 相关理论与模型构建

根据Hayami和Ruttan的诱致性技术变革理论,要素的价格受到要素禀赋的影响而出现价格的波动,根据理性人假设,农户倾向于选择价格更为低廉的丰裕要素,避免使用价格昂贵的稀缺要素,进而导致农业生产投入的结构发生变化,引发要素替代效应产生<sup>[11]</sup>。据此,当两种要素中的一种要素的价格明显上升时,会引发对另外一种要素替代。这使得技术的进步会受到要素禀赋的影响,朝着更多使用丰裕要素,减少使用稀缺要素的方向发展。

要素需求价格弹性衡量的是需求对价格波动的反应强弱,越富有弹性的商品对价格的波动越敏感,其敏感程度通过计算需求变动百分比与价格变动百分比的比值得出。要素需求替代弹性由Hicks<sup>[12]</sup>提出,衡量的是一种要素的需求对另一种商品价格变动的反应强弱,高弹性意味着一种产品的需求受到另一种产品的价格影响强烈。要素的需求替代弹性系数一般通过计算一种商品变动百分比与另一种商品价格变动的百分比求出。该系数为正,说明两种要素之间存在互补关系;为负说明为替代关系。通过计算不同要素之间的需求价格弹性与需求替代弹性,可以发掘要素禀赋对要素投入的影响,了解要素投入结构变动的机制。

### 1.1 超越对数成本模型

在研究要素价格弹性与替代弹性时,首先应当了解不同因素之间的相关关系。C-D函数与CES函数在现实运用中存在假设条件与现实差距较大,难以反映要素弹性时空变动的局限性<sup>[13]</sup>。因此,笔者在估计系数时考虑构建超越对数生产函数模型(Translog production function):

$$\ln Y = \alpha_0 + \sum_i \alpha_i \ln X_i + \sum_i \sum_j \alpha_{ij} \ln X_i \ln X_j \quad (1)$$

$Y$ 表示总产出, $X$ 表示各要素的投入量, $\alpha$ 为比例系数(常数)。超越对数模型在结构较为简单、便

于估计的同时,具有较为灵活的结构形式,有利于对实际问题的分析。但根据郝枫<sup>[17]</sup>的研究成果,利用构建超越对数生产模型时,由于采用的交叉项数量过多,容易产生严重的多重共线问题,为此可根据对偶理论得到总成本与产量之间的函数,再对其进行二阶泰勒展开,可以构造超越对数成本函数(Translog cost function)等价地替代产出函数<sup>[14]</sup>:

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

其中  $P$  表示各要素的价格,  $X$  表示各要素的投入量。考虑到经济意义,各要素的投入份额应当满足总和为 1,即  $\sum_i i\beta_i = 1$ 。根据成本函数的对称性和价格齐次性<sup>[15]</sup>,系数也应满足:

$$\sum_i \sum_j \delta_{ij} = \sum_i \sum_j \gamma_{ij} = 0, \quad \gamma_{ij} = \gamma_{ji} \quad (3)$$

根据谢泼德引理(Shephard's Lemma),各要素的成本份额公式可借助对价格的微分推导得到超越对数成本份额函数(Translog share cost function)<sup>[16]</sup>:

$$S_i = \frac{P_i X_i}{C} = \frac{\partial \ln C}{\partial \ln P_i} = \beta_i + \sum_j \delta_{ij} \ln X_j + \sum_j \gamma_{ij} \ln P_j \quad (4)$$

其中  $S$  表示要素成本所占据总成本的比重。以该种形式表示的方程显著地减少了方程中自变量的个数,从而有利于防止多重共线性问题对参数估计的干扰<sup>[17]</sup>。农产品要素的投入主要受到往期市场价格的影响,因此可以认为方程中的变量  $X$  与  $P$  均为外生变量。但在估计该模型的过程中,考虑在同一时间各类设施蔬菜均受到来自蔬菜市场的相似的市场波动影响,各个方程之间的扰动项可能存在相关性,因而在此使用似不相关回归对参数进行估计<sup>[18]</sup>。

## 1.2 要素需求弹性与要素替代弹性

根据 Binswanger<sup>[19]</sup>的研究,要素的需求价格弹性估计方法如下:

$$\lambda_{ij} = \frac{\gamma_{ij}}{S_i} + S_j, \quad i \neq j; \quad \lambda_{ii} = \frac{\gamma_{ii}}{2S_i} + S_i - 1 \quad (5)$$

当  $|\lambda| > 1$  时,说明成本份额对要素价格变动敏感,即富有弹性;反之则说明要素成本份额对要素价格变动不敏感,即缺乏弹性。

替代弹性的计算方式较为多样,主要有 Allen 替代弹性(Allen elasticity of substitution, AES), Morishima 替代弹性(Morishima elasticity of substitution, MES)与影子替代弹性(Shadow elasticity of substitution, SES)<sup>[20]</sup>。SES 在推导过程中以 AES 的

数学形式为基础,可以在更贴近替代弹性原始定义的情况下描述在其他要素价格不变的情况下要素价格变化比率对要素份额变动比率的影响,具有较强的稳健性<sup>[16,20]</sup>,计算方式如下:

$$SES_{ij} = \frac{S_i}{S_i + S_j} (\lambda_{ij} - \lambda_{ji}) + \frac{S_j}{S_i + S_j} (\lambda_{ji} - \lambda_{ii}) \quad (6)$$

当  $SES_{ij} > 0$  时,说明要素之间存在替代关系,反之则认为存在互补关系。

## 2 数据来源及指标选取

为了研究我国设施蔬菜的生产结构、劳动要素的需求价格弹性以及各要素相互之间的替代弹性,笔者选取了 2011—2020 年设施番茄、黄瓜、茄子与菜椒在主要省份的劳动、化肥与机械的投入量与价格。上述 4 种设施蔬菜中,劳动、化肥与机械要素平均占总成本的比重之和为 62%~69%,具有较强的代表性。其中劳动、化肥与机械 3 种要素的价格和投入量全部参考了《全国农产品成本收益》<sup>[22]</sup>(2011—2020)与《中国统计年鉴》<sup>[23]</sup>(2011—2020)。其中设施番茄与黄瓜的主产区有河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、江苏、浙江、安徽、山东、河南、湖北、四川、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆等省、自治区,设施茄子的主产区有河北、陕西、辽宁、江苏、浙江、安徽和四川等省份,设施菜椒有河北、辽宁、江苏、浙江、安徽、四川、甘肃和宁夏等省、自治区。

笔者的研究中劳动力投入量(L),化肥投入量(F)分别以 667 m<sup>2</sup> 的用工时长(d),化肥折纯使用量(kg)表示。针对部分资料中未直接给出数据的指标,则进行计算得到相应数据:劳动力的价格(P<sub>L</sub>) 在数据中包括家庭用工折价与雇工工价,为了保证能全面反映市场状况对其进行加权平均作为劳动力价格(元);化肥价格(P<sub>F</sub>)以 667 m<sup>2</sup> 的化肥成本(元)除以化肥投入量求得;机械的投入量(M)与价格(P<sub>M</sub>) 在数据中没有直接的体现,因此参考陈书章等<sup>[21]</sup>的方法,机械的投入量以机械的租赁作业费(元)表示,机械的价格则以加权平均后的机械化农具与半机械化农具加权平均求得。为剔除膨胀等因素的影响,所有价格指数均以 2010 年为不变价格进行折算。

从表 1 可以看出,4 种设施蔬菜中番茄的每 667 m<sup>2</sup> 劳动力价格最高,且 667 m<sup>2</sup> 劳动力投入量仅次于设施黄瓜,反映出设施番茄作为易受病虫害侵害的作物,在种植过程中仍需要投入较多的人力进

表1 解释变量汇总表  
Table 1 Summary of explanatory variables

作物 Crop	指标 Index	均值 Mean	标准差 Standard deviation	最小 Min	最大 Max
设施番茄 Facilities tomatoe	劳动力价格 Labor price/(Yuan·d <sup>-1</sup> )	82.97	17.39	110.02	49.81
	化肥价格 Fertilizer price/(Yuan·kg <sup>-1</sup> )	8.99	0.62	10.29	8.13
	机械价格 Machine price	1.08	0.02	1.11	1.04
	劳动投入量 Labor input/d	60.13	6.75	78.21	53.58
	化肥投入量 Fertilizer input/kg	53.24	2.93	56.79	47.02
	机械投入量 Machine input/Yuan	86.25	7.91	97.22	73.98
设施黄瓜 Facility cucumber	劳动力价格 Labor price/(Yuan·d <sup>-1</sup> )	80.39	18.50	107.34	46.28
	化肥价格 Fertilizer price/(Yuan·kg <sup>-1</sup> )	8.75	0.84	9.98	7.66
	机械价格 Machine price	1.08	0.02	1.11	1.04
	劳动投入量 Labor input/d	60.78	5.19	72.02	54.36
	化肥投入量 Fertilizer input/kg	63.22	3.92	70.04	59.20
	机械投入量 Machine input/Yuan	82.49	13.05	95.73	53.30
设施菜椒 Facility bell pepper	劳动力价格 Labor price/(Yuan·d <sup>-1</sup> )	75.81	16.20	96.87	45.68
	化肥价格 Fertilizer price/(Yuan·kg <sup>-1</sup> )	7.80	0.57	8.77	6.70
	机械价格 Machine price	1.08	0.01	1.04	1.00
	劳动投入量 Labor input/d	49.59	2.09	53.85	46.08
	化肥投入量 Fertilizer input/kg	50.87	1.69	54.24	48.75
	机械投入量 Machine input/Yuan	91.43	14.31	109.19	59.55
设施茄子 Facility eggplant	劳动力价格 Labor price/(Yuan·d <sup>-1</sup> )	78.90	18.35	109.97	46.64
	化肥价格 Fertilizer price/(Yuan·kg <sup>-1</sup> )	9.74	1.27	12.44	7.94
	机械价格 Machine price	1.08	0.02	1.11	1.04
	劳动投入量 Labor input/d	59.14	3.35	66.74	54.59
	化肥投入量 Fertilizer input/kg	59.20	7.72	72.45	47.54
	机械投入量 Machine input/Yuan	77.89	13.24	94.04	54.24

行病虫害处理<sup>[25]</sup>。设施黄瓜作为夏季主要蔬菜之一,产量高、生长周期短、需肥量大,需要投入较多的劳动与化肥用于采摘、施肥等作业<sup>[26]</sup>,劳动要素与化肥要素的投入量位列4类设施蔬菜第一,而机械要素投入量低,仅排第三。设施菜椒生产机械化程度较高,667 m<sup>2</sup>机械要素超过其他作物。设施茄子的机械投入量最低,同时在化肥价格较高的情况下化肥的投入量仍位于4类设施蔬菜中第二,说明设施茄子生产对化肥要素具有较高的依赖性。

### 3 实证结果及分析

根据上述分析,要求根据公式(6)求出不同要素之间的影子替代弹性系数,首先需要对模型(4)的参数进行估计后进行数值的代入。由此借助我国2011—2020年设施番茄、设施黄瓜、设施茄子与设施菜椒的各项要素的成本份额,投入量与价格数据,对推导的超越对数成本份额方程进行参数估计。由于方程本身受到各项成本份额之和为1的

限制,Stata16无法一次性估计4个方程,因此只选择估计劳动、化肥和机械3种要素的成本份额方程。将所估计的模型参数分别代入公式(5)和(6),即可以要素的需求价格弹性与要素间的替代弹性进行求解,并以此进行分析。

#### 3.1 超越对数成本份额方程

根据公式(4)的函数形式,针对4种设施蔬菜,建立超越对数成本份额模型。针对解释变量相同的情景,常常使用VAR模型进行参数估计。而根据陈强<sup>[23]</sup>的研究结果,由于VAR模型的参数难以进行解释,且无法处理多个方程扰动项存在相关性的情形,因此使用似不相关回归(SUR)方法,并借助FGLS来提高估计的效率。

$$S_{ki} = \beta_i + \sum_j \delta_{ij} \ln X_{ij} + \sum_j \gamma_{ij} \ln P_{ij} + \sum_k \omega_{km} D_{km} \quad (7)$$

变量 $S, X, P$ 分别表示要素的投入份额,各要素的投入量与667 m<sup>2</sup>要素的价格(元), $D$ 为根据《全国农产品成本收益》中四类设施蔬菜的主产区所生成的地区虚拟变量。 $k$ 表示设施蔬菜类别, $i$ 和 $j$ 分

别表示要素的类别,  $m$  表示不同的省份。

根据(7)中所建立的模型,将表1中的解释变量取对数,作为新的解释变量。并将地区作为虚拟变量加入模型中。各变量取对数后得到的新解释变量系数、相关参数以及部分检验结果见表2。

参数估计的结果表明,75%以上的变量系数在5%水平上具有显著性,且所估计的12个方程的卡方检验均在1%水平上显著,且 $R^2$ 均大于0.8,说明模型具有较好的估计效果。

从劳动要素投入量对其他要素成本份额的影

响来看,劳动要素成本份额对劳动要素的投入量的回归系数为正,而其他要素成本份额对劳动要素的投入量回归系数为负,说明随着劳动要素投入量增加,劳动要素的成本份额会得到显著增加,相应会造成机械要素与化肥要素的成本减少。

针对回归系数,从劳动要素价格对劳动要素份额的影响来看,4类设施蔬菜的劳动要素成本份额对劳动要素的价格的回归系数为正,说明受到技术以及生产经验的限制,劳动力价格的升高不会使得劳动要素的投入量大幅下降,使得劳动要素投入量

表2 回归系数与检验结果  
Table 2 Regression coefficients and test results

作物 Crop	变量 Variables	$S_L$	$S_F$	$S_M$
设施番茄 Facility tomatoe	$LnP_L$	0.248*** (16.93)	-0.036*** (-16.6)	-0.005*** (-9.97)
	$LnP_F$	-0.112*** (-10.62)	0.050*** (31.56)	-0.001*** (-2.62)
	$LnP_M$	-0.323*** (-3.04)	-0.038** (-2.38)	0.007* (1.95)
	$LnL$	0.268*** (15.99)	-0.036*** (-14.31)	-0.007*** (-12.17)
	$LnF$	-0.066*** (-5.8)	0.055*** (32.41)	-0.000 (-1.43)
	$LnM$	-0.031*** (-4.97)	0.000 (0.61)	0.006*** (25.67)
	观测值 Observation	190	190	190
	$R^2$	0.884 7	0.961 2	0.929 6
	卡方 Chi-square	1 457.84	4 708.03	2 510.63
	P值 P-value	0.000	0.000	0.000
设施黄瓜 Facility cucumber	$LnP_L$	0.235*** (18.21)	-0.039*** (-14.67)	-0.003*** (-7.74)
	$LnP_F$	-0.127*** (-13.25)	0.058*** (29.58)	-0.002*** (-5.63)
	$LnP_M$	-0.046 (-0.5)	-0.058*** (-3.08)	-0.004 (-1.21)
	$LnL$	0.225*** (12.06)	-0.039*** (-10.23)	-0.006*** (-8.65)
	$LnF$	-0.084*** (-7.4)	0.058*** (24.83)	-0.001*** (-4.07)
	$LnM$	-0.011* (-1.85)	-0.002** (-2.03)	0.006*** (26.16)
	观测值 Observation	189	189	189
	$R^2$	0.907 9	0.959 1	0.953 6
	卡方 Chi-square	1 862.81	4 436.35	3 883.87
	P值 P-value	0.000	0.000	0.000
设施茄子 Facility eggplant	$LnP_L$	0.175*** (7.81)	-0.020*** (-3.79)	-0.003*** (-5.1)
	$LnP_F$	-0.064*** (-5.85)	0.057*** (21.61)	-0.002*** (-5.67)
	$LnP_M$	0.521*** (2.83)	-0.213*** (-4.79)	0.002 (0.4)
	$LnL$	0.154*** (4.21)	-0.044*** (-5.04)	-0.005*** (-4.79)
	$LnF$	-0.099*** (-7.36)	0.061*** (18.88)	-0.001*** (-3.79)
	$LnM$	-0.012 (-0.57)	-0.004 (-0.91)	0.007*** (10.94)
	观测值 Observation	77	77	77
	$R^2$	0.909 1	0.970 0	0.943 2
	卡方 Chi-square	770.47	2 487.56	1 278.13
	P值 P-value	0.000	0.000	0.000
设施菜椒 Facility bell pepper	$LnP_L$	0.165*** (10.21)	-0.045*** (-10.07)	-0.005*** (-8.12)
	$LnP_F$	-0.087*** (-7.95)	0.071*** (23.16)	-0.001*** (-2.56)
	$LnP_M$	0.152 (1.05)	0.012 (0.31)	0.008 (1.36)
	$LnL$	0.188*** (6.97)	-0.034*** (-4.52)	-0.006*** (-5.62)
	$LnF$	-0.060*** (-3.98)	0.062*** (14.68)	-0.001*** (-2.9)
	$LnM$	0.021* (1.83)	-0.001 (-0.61)	0.009*** (17.84)
	观测值 Observation	85	85	85
	$R^2$	0.960 5	0.957 4	0.971 2
	卡方 Chi-square	2 068.68	1 910.03	2 864.34
	P值 P-value	0.000	0.000	0.000

注: 括号内为系数  $t$  统计值, \*、\*\*和\*\*\*分别代表系数在10%、5%和1%水平上显著。S, 表示要素的成本份额。

Note: The t-statistics of the parameters are in parentheses, and \*, \*\* and \*\*\* represent coefficients that are significant at the 10%, 5% and 1% levels, respectively. S, Represents the share cost of the features.

下降的幅度小于劳动要素价格上升的幅度,可以猜测劳动要素的需求价格弹性为缺乏弹性。

从劳动要素价格对其他要素成本份额的影响来看,化肥要素与机械要素成本份额对劳动要素价格的回归系数均为绝对值较大的负值,说明劳动要素价格的上升会使设施蔬菜生产过程中的劳动要素、推测劳动要素与另外2种要素可能存在替代关系。

上述分析可以粗略地推测出劳动要素自身需求价格弹性强弱以及劳动要素与其他要素之间的替代关系。接下来可通过计算劳动要素需求价格弹性与劳动要素和其他要素之间的替代弹性来加以验证。

### 3.2 劳动需求价格弹性分析

将所估计的参数代入(5),计算得出4种设施蔬菜对劳动要素的需求价格弹性如下:

由图1可以看出,4种蔬菜的需求价格弹性绝对值小于1,说明生产成本对劳动力价格的变化并不敏感。根据供需规律,价格与需求在一般情况下应当为反向变动关系,因此需求价格弹性应当为负,计算结果表明,4种设施蔬菜的需求价格弹性均为负,符合理论假定。具体来看设施番茄需求价格弹性值最低,推测应当是由于该作物本身对病虫害较为敏感,需要一定的人力用于该作物的定期照看,使得劳动力的投入量随着价格上升保持刚性,导致劳动需求价格弹性较低。2020年以前,设施茄子的需求价格弹性最低,2020年后设施茄子的需求价格弹性绝对值明显降低,低于设施菜椒与设施黄瓜,设施菜椒成为设施蔬菜中需求价格弹性最高的作物。要素需求弹性的大小也反映了生产者对该

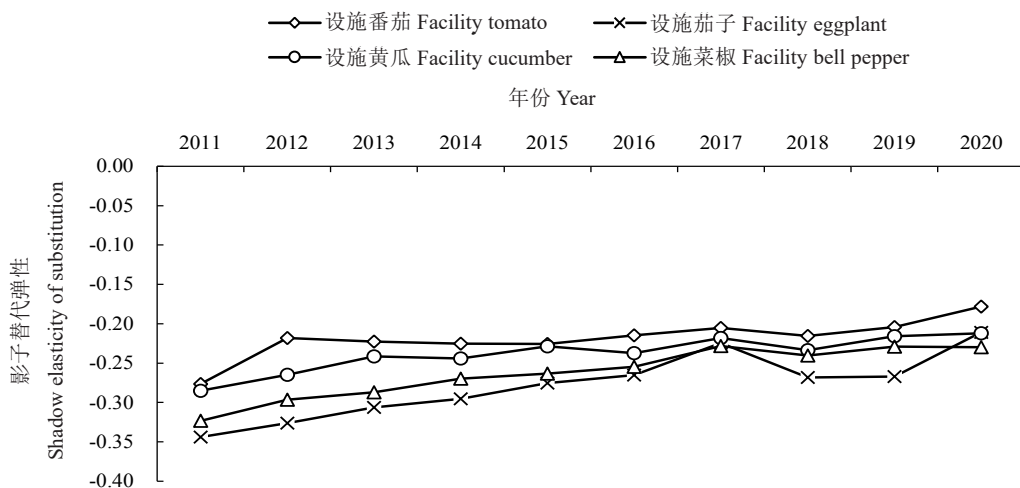


图1 劳动要素需求价格变动趋势

Fig. 1 Change of price elasticity of labor factor demand

要素的重视程度,体现出该要素在生产过程中的重要性。我国的需求价格弹性中整体出现下降的趋势,表明在我国设施蔬菜生产技术整体快速发展的情况下,抗逆机制与调控技术、病虫害防控等各项技术在提高生产效率的同时降低了对劳动要素的依赖,促使在设施蔬菜生产中的地位趋于降低<sup>[27]</sup>。

### 3.3 替代弹性分析

3.3.1 机械对劳动替代效应明显,替代弹性整体稳定 从图2纵向来看,2011—2020年4种设施蔬菜SES,说明机械要素与劳动要素表现为相互替代的关系。设施茄子与设施菜椒的机械与劳动的替代弹性上升了3.00%与5.17%,说明机械对劳动力的替代作用得到增强;而设施番茄与设施黄瓜的劳动

机械的替代弹性分别下降10.37%、3.09%,替代弹性降低。这是由于我国的设施蔬菜机械化生产起步较晚,所使用的农业机械仍以大田机械为主,缺少小型化机械,而我国的设施蔬菜生产较为分散,使得土地作业制约了我国设施蔬菜机械化的发展;我国设施蔬菜生产过程中如移栽、采收等环节机械仍然无法很好地替代人工<sup>[28]</sup>,机械的投入对降低边际成本的效果有限,从而降低了设施蔬菜生产者对使用农业机械的积极性。

从图2横向来看,设施黄瓜劳动与机械替代弹性大于1,表现为两种要素之间富有弹性,反映出劳动价格的不断升高,给设施蔬菜的生产者造成了成本压力,机械作为人力节约型生产要素的特征,因此更加凸显。设施茄子、设施菜椒与设施番茄的需

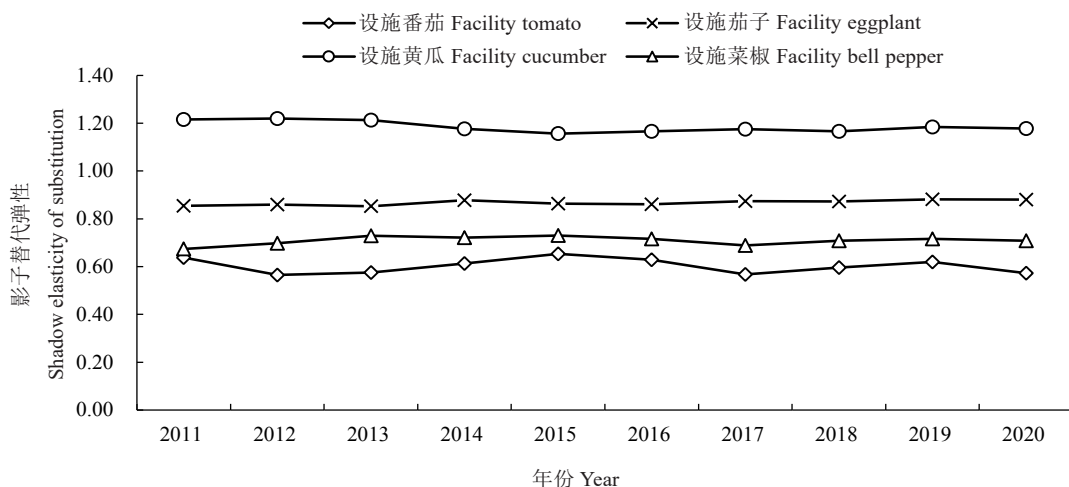


图2 机械-劳动替代弹性变化趋势

Fig. 2 Change trend of machinery-labor elasticity of substitution

求替代弹性小于1,此现象的产生一方面在于设施蔬菜的生产受到要素投入结构不合理的影响,农艺农机脱节现象严重,机械等要素盲目投入削弱了机械对劳动的替代功能;另一方面受到生产条件的限制,机械的投入受限。设施番茄需要具有良好的根系生长条件,对土壤具有较高的要求,这可能会缩小设施番茄的种植范围,从而限制机械的使用,使得设施蔬菜生产者无法进一步扩大机械要素的投入。从政策的角度讲,我国的农机购置补贴政策尚未普及到设施蔬菜的生产上,机械使用成本较高,影响了农业机械的推广应用。

3.3.2 劳动与化肥替代性存在减弱趋势 化肥是一种土地节约型技术。化肥的使用能有效地代替精耕细作,提高单位面积产量,从而在耕地面积一定的情况下减少 667 m<sup>2</sup> 耕地劳动的投入;但化肥与

劳动之间同样存在诸多产生互补效果的因素:我国化肥的使用仍较为依赖人工的辅助,导致在实际生产过程中化肥与劳动的投入也存在一定的互补性;由于化肥的过量使用会造成土地盐碱化、土壤板结等一系列环境生态问题,化肥的使用常常受到政策的调控。2015年农业部出台了《到2020年化肥使用零增长行动方案》,要求全国范围内地推广减量增效技术,在政策的影响下,化肥无法随意替代劳动。“十三五”以来设施蔬菜栽培技术的发展使得化肥利用效率提高,也降低了同等效果下化肥的投入量。

从图3可以看出,4种设施蔬菜在2011—2020年的范围内化肥与劳动要素弹性系数总体低于机械-劳动要素之间的替代弹性,说明对于设施蔬菜生产者而言,用化肥替代劳动力的意愿比以机械替代劳动力的积极性较低;设施黄瓜设施蔬菜整体上明

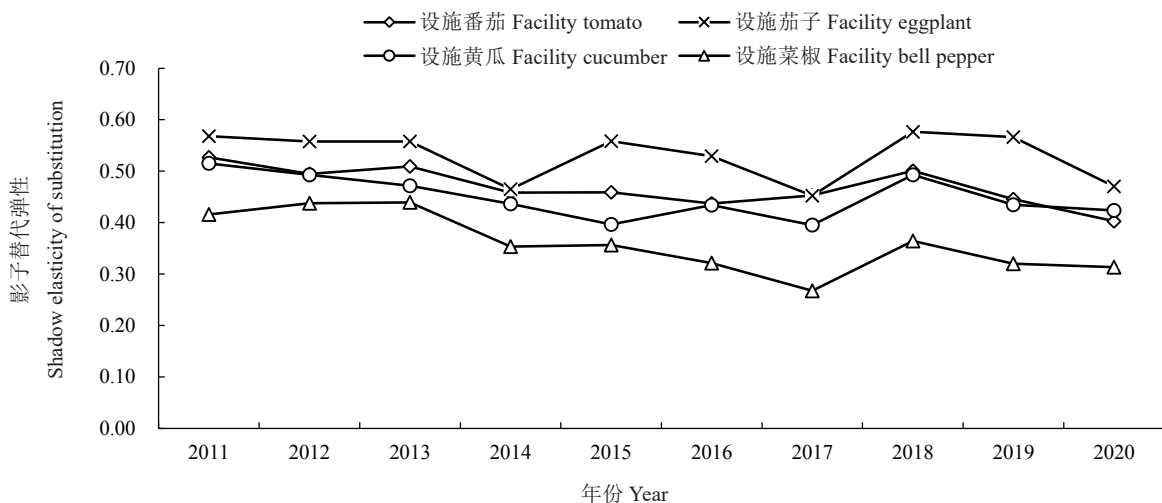


图3 化肥-劳动替代弹性变化趋势

Fig. 3 Change trend of fertilizer-labor elasticity of substitution

显存在化肥与劳动力由互补倾向向替代倾向的转变,需求替代弹性出现明显下降的趋势,该时间段内,设施番茄、设施茄子、设施黄瓜与设施菜椒的替代弹性分别下降了 23.55%、17.27%、17.76%与 24.57%。设施番茄与设施菜椒的变动最为明显,设施茄子与设施黄瓜下降趋势相对较弱。上述现象表明,受到政策与技术等因素的影响,增加化肥的投入并不能很好地通过替代劳动来控制成本。从施肥技术的角度上看化肥的施用技术包括“少次多量”与“多次少量”,其中多次少量技术能够减少化肥投入、提高化肥的使用效率,因而对理性的农业生产者而言可能更受欢迎,进而也使得单位面积的化肥投入出现降低,进而也导致了两者互补性的上升。综上,我国对于化肥使用所实行的限制性政策取得了一定的成效,有利于缓解目前设施蔬菜生产所存在的粗放型生产导致的环境问题。

3.3.3 机械与化肥替代性明显 根据理论与上述

研究结果,化肥和机械对劳动要素均具有替代性功能。但在劳动力的替代机制上两者存在差异。从图 4 可以看出,化肥作为土地节约型技术,主要通过节约单位土地的人工精细化作业来减少劳动投入,而机械作为人力节约型技术则可以提高单位劳动力对大面积土地的集约管理能力,从而直接降低劳动的投入。由于农业劳动力的不断流失,土地流动性低于人口的流动性,导致依赖于一定人力投入的化肥在蔬菜生产中的使用减少,设施番茄与黄瓜的全国化肥平均投入量于 2011—2020 年分别下降了 7.18%、5.86%,而机械投入量上升了 23.15%、79.61%,明显具有反向变动的趋势;设施茄子和菜椒与该时间段化肥投入量分别上升了 5.26%、7.36%,但机械投入上升了 73.18%、80.22%,化肥投入的增长速度显著低于机械投入的增长速度,也反映出与机械投入的高速增长相比,化肥的投入具有相对静止的特点。

整体来看,4 种设施蔬菜替代弹性均为正,说明

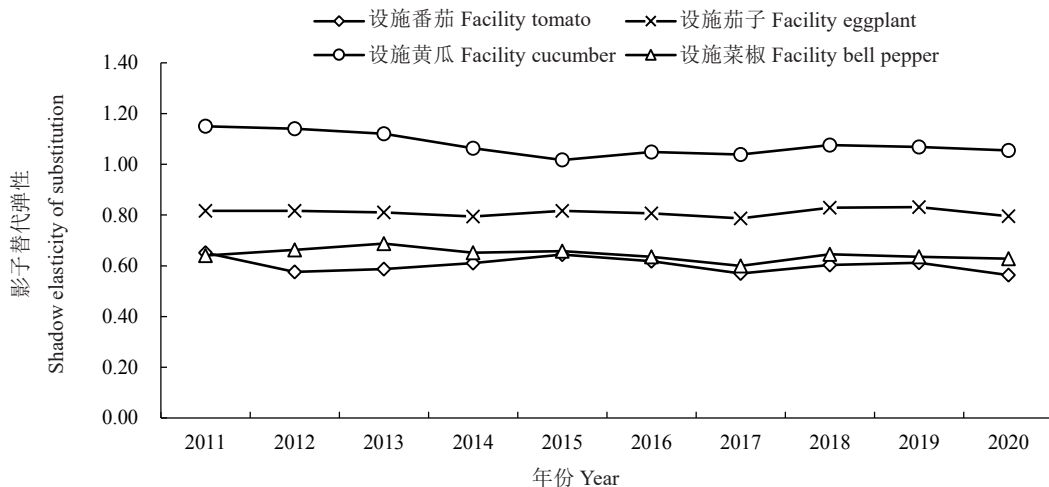


图 4 化肥-机械替代弹性变化趋势

Fig. 4 Change trend of fertilizer-machinery elasticity of substitution

化肥与机械要素在蔬菜生产中主要表现为相互替代的关系。其中设施黄瓜化肥要素与机械要素之间替代弹性大于 1,表明在劳动力流失且要素成本上升的情况下,设施黄瓜的生产更多选择用机械对化肥进行替代。另外 3 种替代弹性小于 1,其中设施番茄机械与化肥替代弹性均值仅有 0.6,说明机械被化肥替代的效应相对较弱。

## 4 讨论与分析

笔者立足于 4 种设施蔬菜生产过程中劳动要素、化肥要素与机械要素的成本份额,各要素价格

以及使用量,结合各要素的禀赋变动情况,建立超越成本份额模型,根据参数估计的结果对替代弹性进行计算,得到如下结论:

(1) 劳动力要素的投入对价格的变动缺乏弹性。劳动需求价格弹性随着时间的变动系数绝对值下降,劳动要素随时间变动越来越缺乏弹性,对劳动力进行调整的政策可能对影响设施蔬菜要素投入结构效果不佳。

(2) 劳动要素与机械要素具有较强的替代性,说明在劳动价格上升时设施蔬菜生产者更倾向于减少劳动要素投入、扩大机械要素投入来降低生产



成本;其中设施黄瓜生产过程中劳动与机械替代效应最强,而另外3种设施蔬菜替代效应较弱,推测是受到了机械作业环境以及生产者要素投入决策水平的制约。

(3)劳动要素与化肥要素的投入整体呈现出替代性减弱、互补性增强的趋势,且间接影响机械与化肥之间替代性的增强。“多次少量”技术的推广增加了化肥使用过程中劳动的投入,使得两者之间互补性得到提高;政策上对化肥投入的限制也削弱了蔬菜生产者通过增施化肥缓解劳动力成本上涨压力的动力。另外,对化肥的限制性政策也使得机械与化肥之间呈现出较强的替代性。

目前劳动力价格的上升对我国设施蔬菜竞争力的提高产生了制约,以机械、化肥对劳动力的替代势在必行。基于本文研究成果,提出以下对策建议:

第一,加大对农机购置与农机外包租赁的补贴力度。机械对劳动力的替代作用明显,而机械的成本在总成本中占比较低。加大对农机的购置与补贴力度不仅可以短期之内降低较高的劳动力成本,长期来看有助于逐渐改变农业的成本结构,缓解农业劳动力流失对设施蔬菜生产发展的严重制约。

第二,加强农机作业技术的研发与推广工作,提高研究成果对生产的支持力度,实现机械投入的科学化、合理化,推进农艺农机的深度融合,提高生产效率,进而提高设施蔬菜生产者的积极性。

第三,改进化肥施肥技术,提高化肥使用的生态效益。化肥的过量使用会引发次生灾害、降低土地的生产能力。发展无土栽培技术,能够提高化肥的利用率,提高化肥使用的生态效益;施肥技术上,可以借助机械进行施肥,减少施肥过程中的劳动投入;肥料选用方面可以选择使用有机肥替代化肥。

### 参考文献

- [1] 肖体琼,何春霞,陈巧敏,等.基于机械化生产视角的中国蔬菜成本收益分析[J].农业机械学报,2015,46(5): 75-82.
- [2] 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.
- [3] HICKS J R. The theory of wages[M]. Second edition. London: Macmillan & Co. Ltd., 1963.
- [4] 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.
- [5] 汪中华,尹妮.农业技术进步偏向对粮食全要素生产率的影响[J].农业现代化研究,2022,43(6): 1029-1041.
- [6] 张丽,李容.要素相对价格、农机服务与技术进步偏向:以粮食生产的机械化进程为例[J].华中农业大学学报(社会科学版),

- 2022,160(4): 38-52.
- [7] 黎星池,朱满德,刘超.农业劳动力价格对种植结构的影响研究:基于空间溢出视角的分析[J].价格理论与实践,2022(1): 83-86.
- [8] 杨肃昌,范国华.农业要素市场化对农村生态环境质量的影响效应[J].华南农业大学学报(社会科学版),2021,20(4): 12-23.
- [9] 陈玛琳,陈俊红,龚晶,等.产业集群视角下北京设施蔬菜产业发展的思考[J].北方园艺,2022(7): 127-132.
- [10] 刘明.设施蔬菜种植户农药使用效率研究[D].北京:中国农业科学院,2018.
- [11] YUJIRO H, RUTTAN V W. Agricultural development: An international perspective[M]. Charles Street Baltimore, USA: Johns Hopkins University Press, 1985.
- [12] HICKS J R. The Theory of Wages[M]. London: Macmillan, 1932.
- [13] 吴丽丽.劳动力成本上升对我国农业生产的影响研究:基于诱导性技术创新的视角[D].武汉:华中农业大学,2016.
- [14] 晏百荣.劳动力价格上升、要素替代与苹果生产布局变迁[D].南京:南京农业大学,2019.
- [15] 朱江,黄建伟,亓洋洋,等.基于超越对数成本函数的航空公司延误成本测算[J].物流科技,2020,43(12): 35-38.
- [16] 尹峻,党敬淇,孙小霞.价格与替代效应对农业生产中化肥施用的影响:以玉米和圆白菜为例[J].中国农业大学学报,2020,25(5): 209-220.
- [17] 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.
- [18] 张明月,郑军,赵晓颖,等.参与订单农业会促进家庭农场绿色生产吗?—基于山东省422家省级示范家庭农场的调研[J].中国农业大学学报,2023,28(1): 252-262.
- [19] 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.
- [20] 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.
- [21] 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.
- [22] 中华人民共和国国家发展和改革委员会.全国农产品成本收益资料汇编(2011—2020)[M].北京:中国统计出版社,2021.
- [23] 中华人民共和国国家统计局.中国统计年鉴(2011—2020)[M].北京:中国统计出版社,2021.
- [24] 陈强.高级计量经济学及Stata应用[M].2版.北京:高等教育出版社,2014.
- [25] 蒋乐航.我国设施番茄生产成本收益研究[D].南京:南京农业大学,2015.
- [26] 杜雷,陈红,张贵友,等.不同化肥减施技术对设施黄瓜产量和品质的影响[J].湖北农业科学,2022,61(24): 56-59.
- [27] 周杰,夏晓剑,胡璋健,等.“十三五”我国设施蔬菜生产和科技进步及其展望[J].中国蔬菜,2021(10): 20-34.
- [28] 王江,李浩,马志伟,等.国内外设施蔬菜机械化发展现状分析及对策[J].中国农机化学报,2023,44(1): 124-130.