

## 蔬菜生产要素替代关系

吴舒<sup>1</sup> 穆月英<sup>2\*</sup> 聂凤英<sup>1</sup>

(1. 中国农业科学院 农业信息研究所,北京 100081;  
2. 中国农业大学 经济管理学院,北京 100083)

**摘要** 采用随机前沿生产函数,对北京市及其主产地蔬菜生产要素替代关系进行实证分析,在此基础上通过似不相关回归方法分析其替代关系变化的影响因素,以此揭示地区蔬菜产业发展潜力。结果表明:要素之间均存在替代作用,其中土地对其他要素替代相对灵活,而资本对其他要素替代缺乏弹性;要素替代关系实质上揭示了农户技术选择特征,反映了该农户农业生产潜力,通过分析要素替代关系及影响因素,可以将农户农业生产潜力量化,对于要素禀赋处于劣势的农户,如劳动力资源较少、蔬菜收入在总收入中比重较小,其生产潜力更多来自资本要素投入;对于要素禀赋处于优势的农户,如受教育程度较高、接受过相关蔬菜种植培训时,其生产潜力更多来自土地要素投入。

**关键词** 生产要素替代; 随机前沿生产函数; 似不相关回归模型; 生产潜力

**中图分类号** F323.3 **文章编号** 1007-4333(2020)07-0196-09 **文献标志码** A

## Factor substitution relationships of vegetable production

WU Shu<sup>1</sup>, MU Yueying<sup>2\*</sup>, NIE Fengying<sup>1</sup>

(1. Agricultural Information Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China;  
2. College of Economic & Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

**Abstract** Based on the stochastic frontier production function, the substitution elasticity of agricultural land, labor and capital in both Beijing and its supply regions are estimated and the influencing factors of the substitution relationships are analyzed by using the seemingly unrelated regression estimation model, which forms the production potential. The results show that: There are substitution effects among factors, among which land is relatively flexible for substitution of other factors, while capital is inelastic for substitution of other factors. Production factor substitution reveals the characteristics of technology selection. Farmers in essence reflects the farmers agricultural production potential, through the analysis of element substitution and influence factors of farmers can be quantized, for farmers at a disadvantage of factor endowments, such as less labor resources, vegetables in small proportion in the total revenue, income from its production potential is more than capital inputs. For farmers with advantages in factor endowment, e. g., higher education and training in vegetable cultivation, their production potential is more likely from land input.

**Keywords** production factor substitution; stochastic frontier production function; seemingly unrelated regression estimation model; production potential

当前,诸如“农民荒”、“撂荒”等涉及农业生产要素配置的问题,已成为各界高度关注的焦点。劳动、土地和资本作为农业生产的基本要素,农户会依据

自身生产特征以及要素禀赋约束条件,自主调整生产组合中这3种要素的比例,这一行为决定着生产绩效<sup>[1]</sup>,生产绩效不仅来自于要素之间的组合比例,

收稿日期:2019-11-26

基金项目:国家社科基金重大项目(18ZDA074);国家重点研发计划项目(2016YFD0300210);国家自然科学基金项目(71773121);现代农业产业技术体系(BAIC01-2018)

第一作者:吴舒,博士后,主要从事经济理论与政策研究,E-mail:wushu01@caas.cn

通讯作者:穆月英,教授,主要从事经济理论与政策研究,E-mail:yueyingmu@cau.edu.cn

同时又包含要素之间的替代关系,而且这种替代关系作为联结投入与产出之间的桥梁,影响一个要素组合不断优化过程<sup>[2]</sup>,因此,以生产要素之间的替代关系为切入点,分析其变动的内在机制对优化农业生产要素投入组合和提高生产绩效具有重要意义。

关于农业生产要素替代问题,目前的研究多集中在以下3个方面:第一,关于农业生产要素之间替代关系的测算。尹朝静等<sup>[3]</sup>基于变弹性生产函数,测算了我国28个相关省份农业资本对劳动的替代弹性,认为农业资本和劳动之间存在显著的替代关系,农业生产更加倾向于用农业资本替代劳动投入;高道明等<sup>[4]</sup>基于超越对数生产函数模型对小麦生产要素之间替代关系进行了测算,认为农业机械和化肥均可以有效替代劳动力,相比于化肥,机械对劳动力替代效应更加显著;陈书章等<sup>[5]</sup>基于超越对数成本函数分析了小麦生产要素之间的替代关系,可以发现机械对劳动存在单位替代关系,而机械对其他要素(包括能源、农机维护等)存在互补关系,要素间替代关系和互补关系并存;王晓兵等<sup>[6]</sup>以玉米为例,发现机械对劳动力的平均替代较强。第二,关于劳动力流动对农业要素投入替代关系影响的研究。朱丽莉<sup>[7]</sup>、尹朝静等<sup>[3]</sup>和李谷成等<sup>[8]</sup>认为劳动力流动促进了机械、化肥对劳动力的替代;应瑞瑶等<sup>[9]</sup>基于劳动力流动的新经济学理论,认为劳动力短缺效应与资本效应的相互作用主要表现在资本对劳动力的替代弹性上,其替代弹性将会受到地理因素的限制,进而影响农户粮食生产经营决策;李光泗等<sup>[10]</sup>认为机械、化肥对劳动的替代弹性均较小,土地对劳动替代弹性较大,增加土地面积可以弥补劳动力流动带来的不利影响;钟甫宁等<sup>[1]</sup>将要素间替代关系难易程度作为约束条件,分析外出务工对粮食种植的作用,机械替代劳动力难度越大,会削弱外出务工对粮食种植的促进作用。第三,关于农业生产要素替代关系对农业技术进步方向影响的研究。胡瑞法等<sup>[11]</sup>分别对水稻、玉米和小麦3种粮食作物生产要素替代弹性进行了测算,发现机械对劳动、化肥对劳动替代弹性较大,说明更多物质投入替代劳动投入已成为粮食作物生产技术的重要发展方向;李志俊<sup>[12]</sup>认为人力资本的引入提高了农业资本对土地的替代能力,且农业技术进步偏向性由土地密集型逐步转向农业机械动力和化肥的物质资本密集型;向云等<sup>[13]</sup>以柑橘为例,得到化肥、农业机械与其

他要素(包括土地、果苗、农药、农膜、技术服务、固定资产折旧、管理费、保险费等)对劳动力的替代关系较为显著,化肥、农业机械对其他要素的替代关系较为稳定,因此,以节约劳动力的农业机械技术导向为主是柑橘技术进步的发展方向。

综上所述,已有关于要素替代的研究大多集中在生产要素之间的关系以及对农业技术影响上,即生产要素之间的替代关系能够影响要素间投入比例,进而在农业生产增长中发挥重要作用,但这种关系会因要素禀赋结构、农户自身特征等其他因素影响具有异质性,由此,会对生产带来不同的影响,那么,在生产活动中,要素间替代关系会受到相关因素带来何种程度的影响?对替代关系变动的影响因素分析较少。因此,本研究在已有研究考虑要素间替代关系分析的基础上,将要素禀赋和农户经营特征同时考虑加以设定,分析替代关系变动的影响机制。

2018年蔬菜种植面积达0.2万 $\text{hm}^2$ ,是我国农业中仅次于粮食作物的第二大农作物,同时也是对我国农民增收、农业发展、农村稳定起着至关重要作用的农产品,对其分析具有一定现实意义。鉴于此,本研究以蔬菜产业为例,首先采用随机前沿生产函数,利用调研数据对北京市及其主产地农业生产要素间替代关系进行估算,在此基础上,利用似不相关回归方法分析替代关系变化的影响因素,以期优化农户生产要素投入结构,促进蔬菜产业可持续发展提供参考依据。

## 1 研究框架、方法与数据来源

### 1.1 研究框架

生产函数是生产理论的核心,农户是理性的生产者,生产目的是在既定的条件下实现成本最小达到产量最大,反映的是生产要素转化为产量之间的比例关系<sup>[8]</sup>。

生产函数不仅刻画了生产投入要素与产出之间的关系,还描述了投入要素之间的相互关系,生产函数模型的基本假定是关于要素之间替代性质假定,即在给定的技术水平下,生产系统中各投入要素对产出的影响不仅仅与该投入要素变化相关,还取决于与其他要素之间的替代或互补关系。可以用替代弹性来描述自身要素与其他要素协调影响,替代弹性的经济意义是要素比率变动对技术替代率变动的反应强度,反应要素之间替代的灵活程度。

土地、劳动和资本是农业生产中必须的生产要

素,农户在考虑要素禀赋约束条件下,对生产要素采用不同组合方式来进行生产,以实现农业生产要素的最优配置。其中,土地要素是农业生产中最具约束性的要素,在土地成本不断增加、土地要素变得稀缺背景下,需要发展节约土地的生物化学技术,促进物质资本投入对土地要素的替代,以弥补土地资源不足带来的损失<sup>[13]</sup>;在劳动力流动背景下,相较于土地、资本要素,劳动力价格快速上涨,劳动力投入数量也呈现下降趋势,资本要素替代劳动力要素成为了农业发展的趋势<sup>[14]</sup>。

联结投入与产出之间的桥梁为要素间组合方式,而要素替代关系实质上揭示了农户技术选择特征,即基于不同要素替代关系,形成生产要素组合方式,进而决定着生产绩效。在分析农业生产要素替代关系影响因素时可以按照图1所示的理论框架展开。相关因素影响替代弹性的大小,是农户调整生产要素比例的依据,而农户对要素不同组合最终决定着生产绩效。在具体求解替代弹性驱动机制过程中,需要从框架逆向出发,即先通过生产函数构建出相应的替代弹性,进而分析影响替代弹性变化的主要因素。

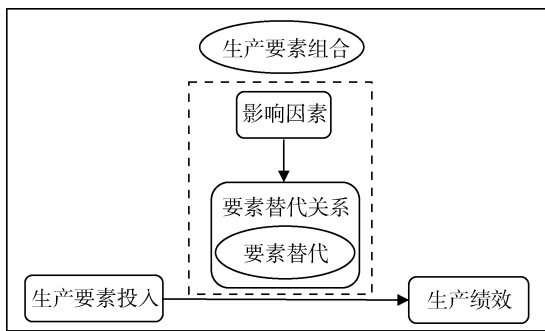


图1 生产要素替代弹性影响因素分析框架

Fig.1 Analytical framework of factor substitution

### 1.2 研究方法

在分析蔬菜生产的替代关系时,首先通过构建生产函数求解得到要素替代弹性,鉴于不同要素替代弹性之间具有相关性,结合似不相关回归模型对要素替代弹性的影响因素做进一步分析。

#### 1) 超越对数随机前沿生产函数

生产函数模型的基本假定是关于要素间替代性质的假定,根据假设向现实的逼近,使得生产函数不断发展,出现了不同阶段生产函数,依次为劳动和资本之间完全替代的固定投入产出生产函数、劳动和

资本之间的替代弹性为1的科布-道格拉斯生产函数、劳动和资本之间的替代弹性为常数的常弹性生产函数、具有一般性的变弹性的超越对数生产函数。

超越对数生产函数具有包容性,可以认为是任何形式的生产函数,样本点的不同使得替代弹性值各不相同,使得该模型更近现实,同时随机前沿生产函数提出误差项是具有复合扰动形象特征,包括无法控制和可以控制的影响因素,更真实地对产出量与生产要素组合之间关系进行模拟。参照张新民<sup>[15]</sup>利用农户微观数据,以及王晓兵等<sup>[6]</sup>基于超越对数随机前沿生产函数估计生产要素替代弹性,为此,本研究构建了以下农户超越对数随机前沿生产函数模型:

$$Y_i = f(x_i, \beta_i) \exp(v_i - u_i) \quad (1)$$

式中:被解释变量  $Y_i$  代表每个农户家庭实际蔬菜产出,用蔬菜产值表示;  $f(x_i, \beta)$  是超越对数生产函数,并采用 translog 形式;  $x_i$  是投入要素的行向量,包括土地、劳动和资本3种生产要素;误差项是具有复合扰动项的特征,认为随机扰动项包含  $v$  与  $u$  两部分,其中  $v_i$  为随机误差项,包括观测误差及其他随机因素,是无法控制的影响因素,服从正态分布,即  $v_i \sim N(0, \sigma_v)$ ;  $u_i$  为技术损失误差项,是可以控制的影响因素,服从截断正态分布,即  $u_i \sim N^+(m, \sigma_u)$ ;同时  $v_i$  与  $u_i$  相互独立。

判断是否适合使用随机前沿生产函数模型一个最关键的参数为  $\gamma$ :

$$\gamma = \sigma_u^2 / (\sigma_v^2 + \sigma_u^2) \quad (2)$$

式中:  $\gamma$  表示的是技术非效率项占随机扰动项的比重,  $\gamma$  值为0,说明随机扰动项主要来自随机因素,适用于最小二乘估计法,  $\gamma$  值为1,说明随机扰动项主要来自技术非效率因素,适用于确定性前沿分析,  $\gamma$  值介于0~1,说明随机误差项同时包括随机和技术非效率因素,采用随机前沿生产函数是适合的。在式(1)和(2)基础上,采用超越对数生产函数形式,构建模型具体形式为:

$$\begin{aligned} \ln Y_i = & \beta_0 + \beta_S \ln S_i + \beta_L \ln L_i + \beta_K \ln K_i + \\ & \frac{1}{2} \beta_{SS} (\ln S_i)^2 + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L_i)^2 + \\ & \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K_i)^2 + \beta_{SL} \ln S_i \ln L_i + \\ & \beta_{SK} \ln S_i \ln K_i + \beta_{LK} \ln L_i \ln K_i + v_i - u_i \end{aligned} \quad (3)$$

根据李霖等<sup>[16]</sup>以往研究和调研实际情况,本研究选择的变量如下:被解释变量  $Y_i$  代表第  $i$  个农户

家庭农业产出；投入要素包括：土地投入  $S$ ，用种植面积表示，农业劳动力投入  $L$ ，用农业劳动天数表示，包括家庭用工天数和雇工天数两部分，其中家庭用工天数是农户家庭从事农业劳动力人数与工作天数的乘积获得的，资本投入  $K$ ，用生产过程中农户实际使用种子、机耕、化肥、农药、大棚建设费、农膜、水电等在内的 7 项加和表示；若自变量只包含一个生产要素  $i$ ，参数表示为  $\beta_i$ ，若自变量包含 2 个生产要素  $i, j$ ，参数表示为  $\beta_{ij}$ ，且交叉参数满足扬格定理，即  $\beta_{ij} = \beta_{ji}$ ；误差项是具有复合扰动项的特征，认为随机扰动项包含  $v$  与  $u$  两部分，其中  $v_i$  为随机误差项，包括观测误差及其他随机因素，是无法控制的影响因素，服从正态分布，即  $v_i \sim N(0, \sigma_v)$ ； $u_i$  为技术损失误差项，是可以控制的影响因素，服从截断正态分布。

为了进一步测算生产要素间替代关系，利用生产函数模型估计的系数，以机械要素  $K$  对劳动要素  $L$  替代弹性  $\sigma_{KL}$  为例，通过劳动、化肥、机械产出弹性公式(4)~(6)以及要素替代弹性公式(7)进行估计。

$$\eta_L = \partial \ln Y / \partial \ln L = \beta_L + \beta_{LL} \ln L + \beta_{SL} \ln S + \beta_{LK} \ln K \quad (4)$$

$$\eta_S = \partial \ln Y / \partial \ln S = \beta_S + \beta_{SL} \ln L + \beta_{SS} \ln S + \beta_{SK} \ln K \quad (5)$$

$$\eta_K = \partial \ln Y / \partial \ln K = \beta_K + \beta_{LK} \ln L + \beta_{SK} \ln S + \beta_{KK} \ln K \quad (6)$$

$$\sigma_{KL} = \frac{d\left(\frac{K}{L}\right)}{\frac{K}{L}} / \frac{d\left(\frac{MP_L}{MP_K}\right)}{\frac{MP_L}{MP_K}} =$$

$$\left[ 1 - \left( \beta_{LK} - \beta_{LL} \frac{\eta_K}{\eta_L} \right) (-\eta_K + \eta_L)^{-1} \right]^{-1} \quad (7)$$

## 2) 似不相关回归法

在此基础上，利用似不相关回归法对替代关系影响因素展开分析。由生产函数求解得到替代弹性，可以认为不同要素间按照一定比例投入生产，除了受农业生产技术影响外，也会受多种因素影响，包括蔬菜种植户家庭经营特征、要素禀赋状况等，种植户会根据条件变化而改变投入要素的组合方式，带来更高的生产绩效，同时考虑到不同要素替代互相之间存在一定依赖关系，会受到内生性的干扰，这就意味着通过单一方程模拟弹性与影响因素之间关系会存在偏差，因此，采用似不相关回归法对要素间替

代弹性的影响因素进行研究。

$$\sigma_{jm} = X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 \quad (8)$$

其中， $\sigma_{jm}$  为要素间替代弹性，表示要素  $j$  对要素  $m$  的替代，3 个要素 6 个替代关系，即资本对土地、资本对劳动、劳动对土地、劳动对资本、土地对劳动和土地对资本的替代弹性； $X_1 \sim X_6$  要素间替代弹性的影响因素，包括家庭劳动力数量、是否参加政府技术培训、蔬菜种植面积、种菜年限、蔬菜收入占总收入比重、户主受教育程度。

## 1.3 数据来源及统计结果

本研究所采用的数据为 2018 年课题组分别对北京以及其供应来源地辽宁、山东、天津和河北 5 省(市)蔬菜种植户进行调查的一手数据，之所以选择环渤海区域是因为该地区集中了北京、天津市等人口众多的大城市，蔬菜需求量较大，为了满足人们蔬菜日常消费和反季节需求，设施蔬菜近年来发展尤为迅速，并逐渐成为我国北方地区重要的蔬菜生产基地。与此同时，生产要素投入结构也发生着改变，随着农村劳动力外出打工数量不断增加，“农民荒”现象较为突出，生产空间不断缩小，土地投入规模受限，种苗、农药、化肥等生产资料资本投入不断增加，生产要素投入的优化组合不断发生改变，由此推动着蔬菜产业发展，因此，在目前要素结构不断发生变化的背景下，以该地区为研究对象分析生产要素间替代关系具有代表性。

调查采用分层抽样与随机抽样相结合的方法，首先选出所调查地区主要生产区县，在选出每个区县进行随机抽样乡与村，最后确定调研样本。剔除问题及无效问卷，有效问卷 602 份，其中，北京市包括 5 个区县、22 个乡镇、45 个村落，共计 186 个农户；山东省包括 2 个区县、4 个乡镇、10 个村落，共计 85 个农户；辽宁省包括 4 个区县、12 个乡镇、38 个村落，共计 160 个农户；天津市包括 6 个区县、12 个乡镇、22 个村落，共计 96 个农户；河北省包括 2 个区县、5 个乡镇、10 个村落，共计 59 个农户。

其中，农户在生产中投入包括耕地、劳动时间、种子、机耕、化肥、农药、大棚建设费、农膜、水电等在内的 9 项生产要素，可归为土地、劳动和资本 3 类要素。本研究中产出为 2017 年农户蔬菜产值；在联立方程模型中，自变量包括家庭劳动力数量、是否参加政府技术培训、蔬菜种植面积、种菜年限、蔬菜收入占总收入比重、户主受教育程度。统计描述性分析见表 1。

表1 主要变量的描述性统计

Table 1 Descriptive statistics of the main variables

变量 Variable	平均值 Mean	标准差 Standard deviation
超越对数随机前沿生产函数模型 Stochastic frontier production function		
蔬菜产值/元 Vegetable production value	29 152.94	40 816.78
土地/hm <sup>2</sup> Land	0.08	0.04
劳动/d Labor	240.41	166.11
资本/元 Capital	10 532.57	10 776.47
联立方程模型 Simultaneous equations model		
家庭劳动力数量/人 Labor size	2.43	0.97
参加政府技术培训 Technique training	0.08	0.27
蔬菜种植面积/hm <sup>2</sup> Vegetable planting area	0.37	0.36
种菜年限/年 Planting time	18.47	8.75
蔬菜收入占总收入比重 Proportion of vegetable income in total income	0.87	0.23
户主受教育程度/年 Education of households	8.31	2.72

蔬菜投入产出情况,其中土地投入均值为0.08 hm<sup>2</sup>,劳动力投入均值为240.4 d,资本投入均值为10 532.57元,蔬菜产值均值为29 152.94元。替代关系影响因素统计情况,家庭劳动力的均值为2.43人;参加政府培训次数为每年每户0.08次,说明接受过相关培训较少;蔬菜种植面积平均为0.37 hm<sup>2</sup>,说明并不是所有蔬菜种植都是采用设施蔬菜技术方式;种菜年限平均为18.47年,说明种植蔬菜年限普遍较长,种菜有经验;蔬菜收入占总收入比重为0.87,说明蔬菜产业是家庭收入的重要来源;户主受教育程度的均值为8.31年,说明户主受教育水平平均为初中二年级。

## 2 模型估计结果与分析

### 2.1 超越对数随机前沿生产函数模型估计

利用随机前沿生产函数模型进行估计,结果如表2所示。其中, $\gamma$ 值均在0.7左右,说明随机扰动项中主要来自于技术非效率项,同时采用单边似然比对 $\gamma$ 是否为0进行显著性检验,检验统计量LR渐进服从于混合 $\chi^2$ 分布,LR单边检验值分别为18.95,大于显著性水平为1%时的临界值(6.63),说明随机扰动项中一定存在技术非效率,因此,采用随机前沿生产函数是必要的。

根据回归系数和式(7)可以求出要素间的平均替代弹性。从表3可见,要素间平均替代弹性均 $>0$ ,说明要素间呈现一定替代关系。具体对于两个要素间相互替代弹性比较而言: $0 < \sigma_{KL} < 1 < \sigma_{LK}$ ,即劳动和资本要素之间存在双向替代关系,且呈现劳动对资本替代富有弹性; $0 < \sigma_{LS} < 1 < \sigma_{SL}$ ,即土地对劳动的替代大于劳动对土地的替代; $0 < \sigma_{KS} < 1 < \sigma_{SK}$ ,即土地对资本的替代大于资本对土地的替代。

### 2.2 替代关系变化的影响因素

因变量选择3个要素6个替代关系,考察生产要素间替代关系发生变化的影响因素,结合表4说明影响因素作用机制。

家庭劳动力数量在资本对劳动替代弹性方程中回归系数为负,表明在劳动力资源较少情况下,资本对劳动替代弹性会提高,在这种情景下,增加要素组合中资本投入数量,会优于之前要素组合比例,进而产生更高的生产绩效;是否参加过政府组织的技术培训在土地对劳动替代弹性方程中回归系数为正,接受过技术培训的农户在生产要素选择中越倾向于增加土地投入,增加生产规模;蔬菜种植面积在劳动对资本、土地对资本替代弹性方程中回归系数均为正,随着农户生产规模越大,劳动和土地生产要素对资本替代弹性越大,在要素组合中越容易替代资本

表 2 随机前沿生产函数模型的估计结果

Table 2 Regression results of stochastic frontier production function

变量 Variable	参数估计 Estimation	t 统计量 t statistics
土地投入 Land input	3.70***	2.70
劳动投入 Labor input	-0.24	-0.23
资本投入 Capital input	-1.38*	-1.79
土地投入二次项 Quadratic term of land input	0.02	0.15
劳动投入二次项 Quadratic term of labor input	0.12**	2.10
资本投入二次项 Quadratic term of capital input	0.18***	5.15
土地投入×劳动投入 Land input×Labor input	-0.23	-1.56
土地投入×资本投入 Land input×Capital input	-0.25***	-2.61
劳动投入×资本投入 Labor input×Capital input	0.05	0.83
常数项 Constant term	0.96	6.08
技术非效率项的占比 The percentage	0.74	
似然函数值 Likelihood function value	-705.29	
LR 单边检验误差 LR unilateral test error	18.95	

注：\*\*\*、\*\*、\* 分别表示 1%、5%、10% 显著性水平下显著  
 Note: \*\*\*, \*\* and \* represent the significance in the level of 1%, 5%, 10%

表 3 各投入要素之间的平均替代弹性

Table 3 Factors' average substitution elasticity in the vegetable production

要素 j Factor j	要素 m Factor m		
	劳动 Labor	资本 Capital	土地 Land
劳动 Labor	1	1.152 5	0.821 8
资本 Capital	0.748 5	1	0.966 0
土地 Land	1.299 4	1.186 5	1

注：替代弹性表示要素 j 对要素 m 的替代  
 Notes: Substitution elasticity means that factor j could substitute factor m

表4 要素替代弹性的影响因素(3SLS)

Table 4 Factors affecting regression results of substitution elasticity(3SLS)

替代 Substitution	影响因素 Influencing factors					
	家庭劳动 力数量 Labor size	参加政府 技术培训 Technique training	蔬菜种植面积 Vegetable planting area	种菜年限 Planting time	蔬菜收入占 总收入比重 Proportion	户主受教育 程度 Education
1)资本-土地 Capital-Land	0.018 7 (0.22)	-0.190 5 (-0.64)	0.004 4 (0.30)	0.010 7 (1.14)	-1.252 0*** (-3.43)	-0.038 7 (-1.28)
2)资本-劳动 Capital-Labor	-0.003 1* (-2.38)	0.001 8 (0.40)	-0.000 3 (-1.26)	0.000 2 (1.40)	-0.006 2 (-1.09)	0.000 5 (0.98)
3)劳动-土地 Labor-Land	-0.001 9 (-0.10)	-0.037 6 (-0.56)	0.002 8 (0.81)	0.000 6 (0.28)	-0.073 3 (-0.89)	0.008 6 (2.39)
4)劳动-资本 Capital-Labor	-0.010 9 (-1.36)	-0.034 0 (-1.20)	0.003 8*** (2.68)	-0.000 2 (-0.23)	0.001 6 (0.05)	0.004 0 (1.41)
5)土地-劳动 Capital-Land	0.053 6 (1.29)	0.479 6*** (3.26)	0.008 5 (1.15)	-0.002 4 (-0.15)	0.230 1 (1.29)	0.027 1* (1.81)
6)土地-资本 Labor-Land	0.009 1 (1.21)	-0.045 3 (-1.69)	0.004 4*** (3.30)	0.000 2 (0.23)	0.008 3 (0.25)	0.002 3 (0.86)

注:替代关系以劳动-土地为例,表示要素劳动对要素土地的替代;括号内为  $t$  值。

Notes: Taking an example of labor-land, substitution means that factor labor could substitute factor land.  $t$  statistics are shown in parentheses.

要素;种植年限对要素之间替代关系影响不显著;蔬菜收入占总收入比重在资本对劳动替代弹性方程中回归系数为负,当蔬菜生产占家庭收入比重较小阶段,资本对土地投入替代弹性会提高,在这个时期,增加资本要素的投入要优于土地要素;户主受教育程度在土地对劳动替代弹性方程中回归系数为正,受教育程度高的农户,更愿意扩大生产规模,提高土地对劳动要素投入的替代。

将不同情景下,农户生产要素选择优先序汇总在表5。要素替代关系影响因素分析所揭示的是农户在不同情境下生产要素选择的优先序。按照不同要素进行情景分类。关于劳动力要素,当劳动力资源较少时,优先考虑增加资本要素,当劳动力素质提高时,如户主受教育程度程度较高或是接受过相关技术培训,均会优先增加土地要素投入;关于土地要素,当种植规模扩大时,优先考虑增加劳动、土地要素;关于资本要素,当蔬菜收入占总收入比重减少时,优先考虑增加资本要素。

### 3 研究结论与政策建议

本研究通过生产要素间替代关系来揭示地区生产潜力,分别构建了北京及其供给主产地区蔬菜超越对数随机前沿生产函数基础上,测算了劳动、资本、土地3种要素间替代弹性,并通过联立方程组分析了影响这种替代弹性变化的主要因素,以此分析地区生产潜力。主要研究结论概括如下:

第一、根据生产函数测算的结果,3个要素之间均存在替代作用,并且综合来看,土地对其他要素的替代富有弹性,资本对其他要素的替代缺乏弹性。

第二、通过联立方程进行影响因素分析,要素优化组合会形成不同的生产潜力,并且此潜力在具有不同经营特征以及要素禀赋的蔬菜种植户之间具有异质性。对于要素禀赋处于劣势的农户,当劳动力资源较少时,增加资本要素投入比例,会获得相对较高的收益;当蔬菜收入在总收入中比重越小时,其生产潜力更多来自资本要素投入。

表5 不同情景下农户生产要素选择优先序

Table 5 The priority order of farmers' production factors under different scenarios

不同情景 Different scenarios	优先序 The priority order
劳动力要素相关:Related to labor factors	
1)劳动力资源较少 Labor size	资本>劳动
2)参加政府组织的技术培训 Technique training	土地>劳动
3)户主受教育程度提高 Education	土地>劳动
土地要素相关:Related to land factors	
4)蔬菜种植面积扩大 Planting area	劳动>资本 土地>资本
资本要素相关:Related to capital factors	
5)蔬菜生产在农户家庭生产经营中所占比重减少 Proportion	资本>土地

第三、对于要素禀赋处于优势的农户,当户主受教育程度较高、接受过相关蔬菜种植技术培训时,增加土地要素投入比例,会获得相对较高收益;当种植规模扩大时,农户更重视劳动和土地要素作用。

基于主要研究结论,提出的政策建议如下:第一,针对具有不同经营特征以及要素禀赋的农户选择适合的要素投入组合,对于要素禀赋处于劣势的农户,其生产潜力更多来自资本要素投入,侧重产业发展的“深化”,需要激发资本对生产效率提高的活力,即对现有机械设施改造提升,提升产出率,同时加快新型肥料的应用,适当增加化肥施用,发展精准施肥、氮肥深施等措施提高化肥利用率,注重资本投入针对性,避免普惠式的投入与补贴,鼓励资本进入机械和施肥社会化服务中,进而减少田间管理环节的土地、劳动投入;第二,对于要素禀赋相对处于优势阶段的农户,其生产潜力更多来自土地要素投入,侧重产业发展的“广化”,随着外出劳动力增多,需要从增加劳动的有效供给入手,加大劳动力素质培训投入等,从而加强农户人力资本的提升,同时通过土地托管、土地股份合作等方式将土地成本内部化,积极推动土地流转,鼓励农户发展适度规模经营<sup>[17]</sup>。

## 参考文献 References

[1] 钟甫宁,陆五一,徐志刚. 农村劳动力外出务工不利于粮食生产吗:对农户要素替代与种植结构调整行为及约束条件的解析[J]. 中国农村经济, 2016(7): 36-47  
Zhong F N, Lu W Y, Xu Z G. Did outward employment harm

the grain production: An analysis of the adjustment of factor substitution and planting structure and constraints[J]. *Chinese Rural Economy*, 2016(7): 36-47 (in Chinese)

- [2] 宁泽逵. 农户种植业生产及其要素替代分析:基于联立方程模型[J]. 西安财经学院学报, 2012, 25(4): 87-92  
Ning Z K. Crop planting and factor substitution of Chinese agricultural household: Based on SEM regression[J]. *Journal of Xi'an University of Finance and Economics*, 2012, 25(4): 87-92 (in Chinese)
- [3] 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  
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, 13(2): 16-23 (in Chinese)
- [4] 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  
Gao D M, Wang L H, Tian Z H. Research on the factor substitution relationships of wheat production[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2018, 23(6): 169-176 (in Chinese)
- [5] 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. Agricultural technological progress and factor demand and substitution of wheat production[J]. *Chinese Rural Economy*, 2013(9): 18-30 (in Chinese)
- [6] 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 mechanization



- and substitution effect between machinery and labor; Based on the analysis of provincial panel data [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2016(6): 4-12 (in Chinese)
- [7] 朱丽莉. 农村劳动力流动、要素结构变动与农业生产效率研究[D]. 南京:南京农业大学, 2013  
Zhu L L. A study on the relationship of the rural labor flow, variation of factors structure and agricultural production efficiency[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2013 (in Chinese)
- [8] 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)
- [9] 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  
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 (in Chinese)
- [10] 李光泗, 朱丽莉. 农村劳动力流动背景下我国粮食生产技术变动分析[J]. 中国科技论坛, 2014(7): 143-148  
Li G S, Zhu L L. Study on the change of China's grain production technology with the rural labor flow[J]. *Forum on Science and Technology in China*, 2014(7): 143-148 (in Chinese)
- [11] 胡瑞法, 冷燕. 中国主要粮食作物的投入与产出研究[J]. 农业技术经济, 2006(3): 2-8  
Hu R F, Leng Y. Study on input and output of major grain crops in China[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2006(3): 2-8 (in Chinese)
- [12] 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)
- [13] 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)
- [14] 王建浩, 徐子轩. 要素替代、技术进步与蔬菜生产:以露地西红柿生产为例[J]. 农林经济管理学报, 2018, 17(1): 15-22  
Wang J H, Xu Z X. Factor substitution, technological progress and vegetable production: A case study of open field tomatoes [J]. *Journal of Agro-Forestry Economics and Management*, 2018, 17(1): 15-22 (in Chinese)
- [15] 张新民. 有机菜花生产技术效率及其影响因素分析:基于农户微观层面随机前沿生产函数模型的实证研究[J]. 农业技术经济, 2010(7): 60-69  
Zhang X M. Analysis on technical efficiency of organic cauliflower production and its influencing factors: An empirical study based on stochastic frontier production function model at the micro level of farmers [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2010(7): 60-69 (in Chinese)
- [16] 李霖, 王军, 郭红东. 产业组织模式对农户生产技术效率的影响:以河北省、浙江省蔬菜种植户为例[J]. 农业技术经济, 2019(7): 40-51  
Li L, Wang J, Guo H D. The impact of industrial organization models on farmers' production technical efficiency: Based on vegetable farmers in Hebei and Zhejiang provinces [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2019(7): 40-51 (in Chinese)
- [17] 刘余, 卢华, 周应恒. 中国农业生产土地成本的演变趋势及影响分析[J]. 江西财经大学学报, 2019(2): 48-61  
Lu Y, Lu H, Zhou Y H. An analysis of the evolution of land cost of agricultural production in China and its impact [J]. *Journal of Jiangxi University of Finance and Economics*, 2019(2): 48-61 (in Chinese)

责任编辑:王岩