

农产品质量安全生产技术对要素替代弹性的影响

康婷¹, 穆月英^{1*}, 侯玲玲²

(1. 中国农业大学经济管理学院, 北京 100083; 2. 北京大学现代农业学院, 北京 100871)

摘要:农产品质量安全受到各界高度关注,为促进质量安全生产技术的可持续采用,该文侧重对质量安全生产技术的作用机制进行研究。首先对质量安全技术通过要素产出和替代弹性作用于质量安全的机制进行理论分析,在此基础上,结合农户调研混合数据,采用随机前沿超越对数生产函数和联立方程组模型进行实证检验。主要研究结论为:第一,质量安全技术通过作用于要素产出弹性和要素替代弹性两方面发挥要素配置效应,保障农产品质量安全,此外,质量安全技术通过产出弹性进而间接作用于要素替代弹性的影响路径未得到实证结果的支持;第二,生产过程控制类质量安全技术,如高温熏(闷)棚和土壤消毒,能通过有效提高化肥产出弹性从而减少化肥的使用,此外高温熏(闷)棚技术能降低农药对土地的替代从而减少农药使用;第三,质量安全技术的作用更加显著地体现为抑制产量波动而非提高产量,如病虫害预防类技术(防虫网和防虫板)等作用于产量的方差,但无法显著提高产量的均值,因此对化肥和农药的产出弹性造成负向作用。研究结果为生产实践中质量安全生产技术的推广和促进质量安全生产技术可持续采用提供了实证依据和对策参考。

关键词:农产品; 质量控制; 安全生产技术; 要素产出弹性; 要素替代弹性; 随机前沿生产函数

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.21.034

中图分类号: F326.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2019)-21-0280-09

康婷, 穆月英, 侯玲玲. 农产品质量安全生产技术对要素替代弹性的影响[J]. 农业工程学报, 2019, 35(21): 280-288. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.21.034 <http://www.tcsae.org>

Kang Ting, Mu Yueying, Hou Lingling. Effects of agricultural products safety production technologies on elasticity of substitution[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2019, 35(21): 280-288. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2019.21.034 <http://www.tcsae.org>

0 引言

保障农产品质量安全是把控食品安全的首要前提,提升农产品质量安全的关键在生产环节,促进质量安全生产技术采用是确保生产环节乃至全产业链农产品质量安全的关键。农产品多具有鲜食性和易腐性特征,保障生产环节的农产品质量是“从田间到餐桌”全产业链质量安全管控的基础。面临农产品供需结构性失衡的挑战,加强农产品质量安全生产、稳定优质农产品供应有利于实现农业产业结构升级,满足居民对安全优质农产品的需求。促进质量安全生产技术采用是保障生产环节农产品质量安全的有效途径。投入品使用被定义为质量安全生产的重要组成部分,尤其化肥、农药的使用与农产品质量安全有密切关系^[1-5]。理论上讲,质量安全生产技术与农药和化肥等影响农产品质量安全的生产要素间存在相互作用^[6-7],即质量安全生产技术通过作用于农药和化肥等生产要素投入及生产要素间互补替代关系影响到农产品质量安全。

在农户质量安全生产技术的采用过程中,容易因信息不对称而导致“逆选择”问题^[8],因此厘清质量安全技术对生产要素及要素间互补替代关系的作用有助于明确农户采用质量安全技术时所受到的要素投入制约。实际生产中,防虫网、防虫板等病虫害物理防控技术、测土配方施肥等投入品管理技术、高温熏闷棚和土壤消毒等生产过程控制技术得到各级政府的大力推广。然而,由于农产品具有“信任品”特征,生产和销售过程中存在的严重信息不对称问题使得农产品“优质优价”难以实现,农户缺乏采用质量安全生产技术的内生动力,进而导致质量安全生产技术的可持续采用难以实现,农户角度的技术障碍制约农产品质量安全水平的进一步提升^[9]。通过质量安全生产技术对生产要素及生产要素间互补替代关系的影响揭示质量安全生产技术的作用机制,有利于明确农户视角下质量安全生产技术采用的要素制约条件,为促进农产品质量安全生产技术可持续采用、确保农产品质量安全提供参考。

关于质量安全生产技术的定义,根据《中国食品安全报告(2007)》,保障农产品质量安全的生产技术包括安全投入品及管理技术、产地环境调节技术、生产过程控制技术、产地溯源技术和安全性评价检测技术五类^[10]。当前阶段,现代信息技术、现代生物技术和可追溯体系等先进农业技术为全产业链的农产品质量安全保障做出了突出贡献^[11-13],但生产环节仍存在农药投入过量^[14]、化肥投入过量和有机肥使用不足的情况^[15-16],对农产品质量安全造成威胁。在生产环节影响农产品质量安全的诸多因素中,技术因素与农户生产行为的联系更加紧密^[17]。已

收稿日期: 2019-05-07 修订日期: 2019-08-06

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

作者简介: 康婷, 博士生, 主要从事农业经济理论与政策方面的研究。

Email: kangting@cau.edu.cn

*通信作者: 穆月英, 博士, 博士生导师, 主要从事农业经济理论与政策方面的研究。Email: yueyingmu@cau.edu.cn

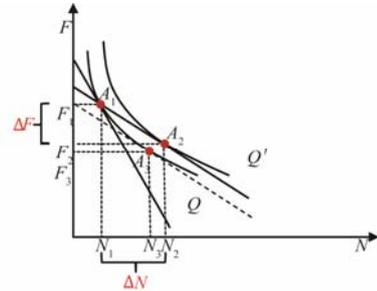
有大量文献说明，质量安全技术对投入品使用产生极大影响^[18-21]。就农药而言，技术信息和技术指导能够从农户购药、用药行为和农药用量等方面影响农药使用^[15,22-24]。就化肥来说，技术培训和技术的了解程度影响农户是否采用测土配方施肥及平衡肥的施用频率，有效促进农户安全施肥^[25-27]；科学施肥技术的缺乏是导致化肥过量施用的主要原因。就其他方面来看，质量安全生产技术还通过提高农户参与可追溯体系的意愿^[28]、带来正向的经济效应和环境外部性以及降低用户道德风险作用于农产品质量安全^[29-30]。在质量安全技术采用方面，农户个人、家庭和生产特征^[31]，农户对技术的认知和是否参与技术培训是影响农户采用质量安全生产技术的内部因素^[32]；行业标准和私人标准^[33-34]、政府扶持和管制^[18]是关系质量安全生产技术采用的外部因素。

由此可见，以往文献充分说明了质量安全技术对投入品使用产生的重要作用及技术采用的影响因素，但大多研究仅从质量安全生产技术对农药、化肥等要素投入量和农户生产要素投入行为 2 个方面展开研究。实际上农药和化肥要素的投入往往受到其他要素的影响和制约，而以往研究中少见关于质量安全技术对要素间作用关系的深入探讨。此外，少有区分不同质量安全技术之间作用机制差异的研究，有待就不同技术对农药、化肥产出弹性和农药、化肥与其他要素间的替代弹性的不同作用进行深入分析和对比。基于此，本研究从质量安全生产技术的要素配置效应切入，研究质量安全生产技术对农药、化肥产出弹性和农药、化肥与其他要素间替代弹性的影响，明确质量安全技术对农产品质量安全的作机制，具有以下边际贡献：第一，在考虑质量安全生产技术对农药、化肥作用的基础上，对质量安全生产技术对农药、化肥与其他投入要素间替代关系的作用进行分析，补充了关于质量安全生产技术对要素间相互作用的文献；第二，考虑要素生产和替代弹性间的作用关系，采用联立方程组控制内生性问题得到技术对二者的准确影响。

1 理论基础

首先对质量安全生产技术的作用机制进行理论分析，并构建理论框架。近年来，农业技术的偏向性已经在理论和实证方面均得到可靠验证^[35-37]。在实际生产中，防虫网、防虫板等病虫害物理防控技术、测土配方施肥等投入品管理技术、高温熏闷棚和土壤消毒等生产过程控制技术能优化要素投入结构、有效确保农产品质量安全^[38-40]，得到各级政府的大力推广，因此本研究关注防虫网、防虫板、高温熏（闷）棚、土壤消毒和测土配方施肥 5 项质量安全生产技术如何通过影响要素生产和替代弹性从而减少化肥和农药的用量。为简化说明，此处以高温熏（闷）棚技术对化肥（ F ）和劳动力（ N ）的影响为例说明质量安全生产技术发挥作用的理论机制，将这一过程抽象为图 1。图 1 中， Q 代表应用质量安全技术前的生产情况，此时利润最大化的均衡点为 A_1 ，最要素施用量分别为 F_1 和 N_1 ；应用质量安全生产技术后，生产曲线变为 Q' ，此时，新的均衡状态在 N_2 点实现，分别对

应 F_2 的化肥投入和 N_2 的劳动力投入。根据偏性技术进步，有质量安全生产技术应用前后利润最大化时的要素边际技术替代率存在（切线斜率）明显不同。在这种非中性技术的作用下，节约的化肥量为 $\Delta F = F_1 - F_2$ ，同时增加了劳动投入 $\Delta N = N_1 - N_2$ 。



注： N 表劳动力投入， N_1 和 N_2 分别代表采用质量安全生产技术前后的劳动力投入； F 代表化肥投入， F_1 和 F_2 分别代表采用质量安全生产技术前后的化肥投入； Q 和 Q' 分别为采用质量安全生产技术前后的生产曲线； A_1 和 A_2 为采用质量安全生产技术前后的均衡点； A_3 为中性技术进步假定下采用质量安全生产技术的均衡点， N_3 和 F_3 为中性技术进步假定下采用质量安全生产技术后的劳动力和化肥投入。

Note: N denotes labor, N_1 and N_2 are quantities of labor input before and after the adoption of food safety production technologies; F denotes fertilizer, F_1 and F_2 are quantities of fertilizer input before and after the adoption of food safety production technologies; Q and Q' are isoquant curves before and after the adoption of food safety production technologies; A_1 and A_2 are equilibrium points before and after the adoption of food safety production technologies; A_3 is the equilibrium point after adopting quality safety production technologies under the assumption of neutral technological progress, N_3 and F_3 are quantities of labor and fertilizer inputs after adopting quality safety production technologies under the assumption of neutral technological.

图 1 质量安全技术对要素配置的影响

Fig.1 Impact of safety-ensured technologies on factor allocation

由图 1，质量安全生产技术通过优化要素配置减少化肥投入从而保障农产品质量安全，具体有 2 个方面的作用路径：首先是偏性技术进步带来的替代效应，具体为 A_1 点到 A_3 点的变化，引起的化肥投入变动为 $\Delta F = -|F_1 - F_2|$ ；其次是要素生产率提高带来的产出效应，在图 1 中表现为均衡状态从 A_3 点到 A_2 点的变动，此时引起的化肥投入变动为 $\Delta F_2 = F_2 - F_3$ 。同理，其他 4 项质量安全生产技术可以通过提高要素生产率进而引致要素间替代弹性的改变从而减少化肥和农药的投入量，保障农产品质量安全；既有研究也表明质量安全生产技术等农业技术可提高化肥等要素的生^[41]，基于此可以构建理论框架如图 2 所示。

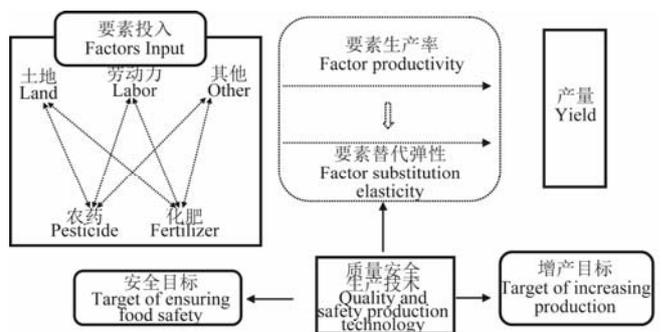


图 2 质量安全技术要素配置路径的理论框架

Fig.2 Theoretical framework of food safety production technologies factor allocation path

进而, 得到以下理论假说:

H1: 质量安全生产技术可能提高农药、化肥的产出弹性。

H2: 质量安全生产技术可能直接降低化肥和农药对其他要素的替代弹性。

H3: 质量安全生产技术可能通过有效提高化肥和农药的产出弹性而降低化肥和农药对其他要素的替代弹性。

2 模型构建

以下从要素产出、替代弹性计算和质量安全生产技术的作用路径分析两个方面构建实证模型, 并说明本研究的数据来源和实证分析中的指标选取情况。

2.1 实证模型构建

2.1.1 要素产出弹性及替代弹性的估算

为深入挖掘质量安全生产技术的作用机制, 需首先估算化肥和农药的产出弹性及化肥、农药与其他要素的替代弹性。

$$\begin{aligned} \ln y = & \beta_0 + \beta_s \ln s + \beta_l \ln l + \beta_f \ln f + \beta_p \ln p + \beta_o \ln o + \frac{1}{2} \beta_{ss} (\ln s)^2 + \frac{1}{2} \beta_{ll} (\ln l)^2 + \frac{1}{2} \beta_{ff} (\ln f)^2 \\ & + \frac{1}{2} \beta_{pp} (\ln p)^2 + \frac{1}{2} \beta_{oo} (\ln o)^2 + \beta_{sl} \ln s \ln l + \beta_{sf} \ln s \ln f + \beta_{sp} \ln s \ln p + \beta_{so} \ln s \ln o + \beta_{lf} \ln l \ln f \\ & + \beta_{lp} \ln l \ln p + \beta_{lo} \ln l \ln o + \beta_{fp} \ln f \ln p + \beta_{fo} \ln f \ln o + \beta_{po} \ln p \ln o + D + v - u \end{aligned} \quad (2)$$

式中 y 表示棚均蔬菜产量(kg), s 、 l 、 f 、 p 和 o 分别表示农户棚均蔬菜播种面积(m^2)、该茬口劳动力投入(d)、化肥投入(kg)、农药投入金额(元)和其他投入(元)(由于肥料和农药种类繁多, 此处借鉴以往文献中的做法用化肥投入金额和农药投入金额代表两种要素的有效投入; 其他投入中包含种苗费、机耕费、农膜费、水电费和耕地机折旧); β 为一组待估计参数, D 为农户生产年份的虚拟变量。

进行模型估计后, 可计算各要素的产出弹性及替代弹性, 此处以化肥和农药的产出弹性(η_f 和 η_p)及化肥对劳动的替代弹性(σ_{lf})为例进行说明:

$$\eta_f = \frac{\partial \ln y}{\partial \ln f} = \beta_f + \beta_{ff} \ln f + \beta_{fs} \ln s + \beta_{fl} \ln l + \beta_{fp} \ln p + \beta_{fo} \ln o \quad (3)$$

$$\eta_p = \frac{\partial \ln y}{\partial \ln p} = \beta_p + \beta_{pp} \ln p + \beta_{ps} \ln s + \beta_{pl} \ln l + \beta_{pf} \ln f + \beta_{po} \ln o \quad (4)$$

式中 η_f 为化肥产出弹性, η_p 为农药产出弹性; 在得到要素产出弹性的基础上, 化肥对劳动的替代弹性可表示为如下形式:

$$\sigma_{lf} = \frac{d(\frac{l}{f})}{\frac{l}{f}} / \frac{d(\frac{MP_l}{MP_f})}{\frac{MP_l}{MP_f}} = \left[1 - (\beta_{fl} - \beta_{ff} \frac{\eta_l}{\eta_f})(-\eta_l + \eta_f)^{-1} \right]^{-1} \quad (5)$$

$$\eta_f = \alpha_0^1 + \alpha_1^1 T_1 + \alpha_2^1 T_2 + \alpha_3^1 T_3 + \alpha_4^1 T_4 + \alpha_5^1 T_5 + \alpha_6^1 income + \alpha_7^1 ex + \alpha_8^1 edu + \alpha_9^1 ytech + \varepsilon_{1i}^1 \quad (6)$$

$$\sigma_{lf} = \alpha_0^2 + \alpha_1^2 \eta_f + \alpha_2^2 \eta_l + \alpha_3^2 T_1 + \alpha_4^2 T_2 + \alpha_5^2 T_3 + \alpha_6^2 T_4 + \alpha_7^2 T_5 + \alpha_8^2 alpl + \alpha_9^2 ex + \alpha_{10}^2 edu + \alpha_{11}^2 wage + \varepsilon_{2i}^1 \quad (7)$$

$$\sigma_{sf} = \alpha_0^3 + \alpha_1^3 \eta_f + \alpha_2^3 \eta_s + \alpha_3^3 T_1 + \alpha_4^3 T_2 + \alpha_5^3 T_3 + \alpha_6^3 T_4 + \alpha_7^3 T_5 + \alpha_8^3 income + \alpha_9^3 vegland + \varepsilon_{3i}^1 \quad (8)$$

$$\sigma_{of} = \alpha_0^4 + \alpha_1^4 \eta_f + \alpha_2^4 \eta_o + \alpha_3^4 T_1 + \alpha_4^4 T_2 + \alpha_5^4 T_3 + \alpha_6^4 T_4 + \alpha_7^4 T_5 + \alpha_8^4 income + \alpha_9^4 co + \varepsilon_{4i}^1 \quad (9)$$

超越对数随机前沿生产函数具有一定优势: 首先, 超越对数(Translog)生产函数为变弹性生产函数模型, 能更加灵活体现出要素间的替代关系; 其次, 采用随机前沿生产函数可将误差项分解为随机误差项和技术损失误差项, 能更加真实反映出样本的特征。一般的随机前沿生产函数形式如下

$$Y = f(x, \beta) \exp(v - u) \quad (1)$$

式中 Y 为产量, x 为一组投入要素, β 为待估计参数; v_i 为随机误差项, 包括观测误差和其他随机因素等, 且服从正态分布, 即 $v_i \sim N(0, \sigma_v)$; u_i 为技术损失误差项, 包括可控因素, 且服从截断正态分布, 即 $u_i \sim N(m, \sigma_u)$; 此外, v_i 与 u_i 相互独立。

根据理论基础, 将生产投入要素划分为土地、劳动力、化肥、农药和其他要素, 结合超越对数函数的具体形式, 待估计模型可表示为

以上定义下, 当 $\sigma < 0$ 时, 要素之间呈现互补关系。当 $\sigma > 0$ 时, 要素之间为替代关系。具体的, 又可以有 3 种不同情形: 1) $0 < \sigma < 1$, 要素间缺乏弹性, 替代较困难; 2) $\sigma = 1$, 生产函数可以简化为 C-D 生产函数形式; 3) $\sigma > 1$, 要素间富有弹性, 易于替代。

2.1.2 质量安全生产技术的影响机制

根据理论分析, 质量安全生产技术通过直接作用于要素替代弹性和间接通过要素产出弹性而作用于要素替代弹性两条路径影响农产品质量安全, 采用单一方程估计可能会造成遗漏重要变量的问题从而导致参数估计结果的不一致, 因此采用联立方程组模型对因果关系进行检验。由于化肥和农药投入具有可分性, 分别构建两个方程组进行实证分析, 即每个方程组中均包含 1 个产出弹性方程和 3 个替代弹性方程(由于化肥和农药投入具有可分性, 分别建立两个联立方程组进行分析, 且每个方程组中包含化肥(农药)产出弹性方程、化肥(农药)对土地的替代弹性方程、化肥(农药)对劳动的替代弹性方程和化肥(农药)对其他投入的替代弹性方程 4 个方程)。则质量安全技术对化肥作用路径的方程组(以下简称化肥方程组)可分别表示为如下形式

式中 T_1 至 T_5 分别代表不同的质量安全生产技术， α 为化肥方程组中的一系列待估计参数，控制变量的具体含义

$$\eta_p = \gamma_0^1 + \gamma_1^1 T_1 + \gamma_2^1 T_2 + \gamma_3^1 T_3 + \gamma_4^1 T_4 + \gamma_5^1 T_5 + \gamma_6^1 income + \gamma_7^1 ex + \gamma_8^1 edu + \gamma_9^1 ytech + \varepsilon_{1i}^1 \quad (10)$$

$$\sigma_{ip} = \gamma_0^2 + \gamma_1^2 \eta_p + \gamma_2^2 \eta_i + \gamma_3^2 T_1 + \gamma_4^2 T_2 + \gamma_5^2 T_3 + \gamma_6^2 T_4 + \gamma_7^2 T_5 + \gamma_8^2 alpl + \gamma_9^2 wage + \varepsilon_{2i}^1 \quad (11)$$

$$\sigma_{sp} = \gamma_0^3 + \gamma_1^3 \eta_p + \gamma_2^3 \eta_s + \gamma_3^3 T_1 + \gamma_4^3 T_2 + \gamma_5^3 T_3 + \gamma_6^3 T_4 + \gamma_7^3 T_5 + \gamma_8^3 vegland + \gamma_9^3 land + \varepsilon_{3i}^1 \quad (12)$$

$$\sigma_{op} = \gamma_0^4 + \gamma_1^4 \eta_p + \gamma_2^4 \eta_o + \gamma_3^4 T_1 + \gamma_4^4 T_2 + \gamma_5^4 T_3 + \gamma_6^4 T_4 + \gamma_7^4 T_5 + \gamma_8^4 income + \gamma_9^4 co + \varepsilon_{4i}^1 \quad (13)$$

式中 γ 为农药方程组的待估计参数，控制变量详见变量选取部分。

2.2 数据来源及变量选取

2.2.1 数据来源

实证分析使用的数据来自课题组于 2017 年和 2018 年 4—7 月在环渤海蔬菜主产区的调研数据，实证分析时将 2a 的截面数据作为混合数据使用。根据《全国蔬菜产业发展规划（2011—2020）》，选取六大蔬菜优势产区之一的环渤海设施蔬菜主产区作为调研地点，具体包括辽宁、山东、北京、河北和天津五省市。采取两阶段抽样的方式，将分层抽样和随机抽样进行有机结合：第一阶段在每个指定县（区、市）抽取 2~8 个村庄，第二阶段在每个村庄内部随机抽取农户样本。调研涵盖农户基本特征（户主年龄、受教育程度、种植经验和家庭收入等）、成本收益情况（蔬菜生产成本和收益）、技术采用情况（生产中采用的增产增效性、环境保护型和质量安全型技术采用情况）和质量安全生产情况（质量安全生产技术采用和农户对质量安全的认知），两年回收问卷合计 1 158 份，其中有效问卷 1 089 份。

2.2.2 变量选取

根据模型设定，表 1 和表 2 汇总了随机前沿超越对数生产函数及化肥和农药两个联立方程组中所涉及变量的含义及描述性统计情况。

表 1 SFA 模型变量含义及描述性统计

Table1 Variable meaning and descriptive statistics of SFA model

变量名称 Variable name	变量说明 Variable meaning	均值 Mean	标准差 Standard deviation
蔬菜产量 Vegetable yield y/kg	所调查棚产量	9 949.78	8 288.14
蔬菜播种面积 Vegetable planting/ m^2	所调查棚播种面积	796.98	504.72
劳动力投入 Labor input l/d	蔬菜生产劳动力投入	405.11	247.06
化肥投入 Fertilizer input $f/\text{元}$	化肥投入	3 339.88	3 916.51
农药投入 Pesticides input $p/\text{元}$	农药投入	1 059.93	1 307.87
其他投入 Other Input $o/\text{元}$	其他投入	3 664.57	3 439.76

详见变量选取部分。类似地，质量安全技术对农药的作用路径方程组形式如下：

表 2 联立方程组模型变量含义及描述性统计

Table2 Variable meaning and descriptive statistics of simultaneous equations

变量名称 Variable name	变量说明 Variable Meaning	均值 mean	标准差 Standard deviation
防虫网 Insect proof net T_1	是否采用(是=1; 否=0)	0.43	0.50
防虫板 Insect proof board T_2	是否采用(是=1; 否=0)	0.55	0.50
高温熏(闷)棚 Greenhouse fumigation T_3	是否采用(是=1; 否=0)	0.69	0.46
土壤消毒 Soil disinfection T_4	是否采用(是=1; 否=0) Whether to adopt soil disinfection	0.56	0.50
测土配方施肥 Formulafertilization T_5	是否采用(是=1; 否=0)	0.33	0.47
家庭收入 Household income $incomel$ 元	上年家庭总收入	79 666.66	78 976.27
蔬菜生产经验 Experience for vegetable plantation ex	从事设施蔬菜生产的年数	15.38	7.71
受教育程度 Education edu/a	上学年限	8.72	2.26
增产技术 Yield increasing technique $ytech$	增产技术采用项数	3.96	2.10
劳均蔬菜面积 Vegetable planting area per labor $alpl/m^2$	劳均蔬菜种植面积	2 048.09	3 163.83
雇工工资 Wage $wage/(\text{元} \cdot d^{-1})$	雇工工资	107.08	56.44
家庭蔬菜播种面积 Total vegetable planting area $vegland/m^2$	农户家庭菜地播种总面积	3 988.08	5 945.08
家庭农业种植面积 Total agricultural sown area $land/m^2$	农户家庭播种总面积(含蔬菜和粮食作物)	6 843.73	6 050.53
合作社 Cooperatives co	是否加入合作社	0.38	0.49

3 结果与分析

3.1 要素产出及替代弹性测算结果

根据随机前沿超越对数生产函数的估计结果(表 3)，

$$\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2} \text{ 和 } \mu \text{ 在 } 1\% \text{ 的水平下显著，表明采用随机前}$$

沿函数具备合理性。基于此，可根据式(3)~(5)计算得到化肥和农药的产出弹性及化肥和农药对其他要素的替代弹性(表 4)。

表3 随机前沿超越对数生产函数估计结果
Table 3 Estimation results of stochastic frontier transcendental logarithmic production function

变量 Variable	系数 Coefficient	变量 Variable	系数 Coefficient
lns	3.442*** (0.544)	lnslnl	-0.138* (0.079)
lnl	-0.260 (0.474)	lnslnf	-0.002 (0.029)
lnf	-0.379* (0.221)	lnslnp	0.023 (0.029)
lnp	-0.021 (0.192)	lnslno	0.138* (0.084)
lno	-0.898* (0.517)	Lnclnf	0.035 (0.026)
0.5(lns) ²	-0.540*** (0.128)	lnclnp	-0.007 (0.020)
0.5(lnl) ²	0.007 (0.079)	lnl/lno	0.153** (0.066)
0.5(lnf) ²	0.037*** (0.008)	lnf/lnp	0.008 (0.006)
0.5(lnp) ²	0.005 (0.008)	lnf/lno	0.001 (0.019)
0.5(lno) ²	-0.078 (0.068)	lnplno	-0.021 (0.021)
常数项 Constant	-0.078 (0.068)	σ ²	1.176*** (0.237)
时期虚拟 变量 D	0.568 (1.495)	γ	0.816*** (0.049)
		μ	-1.959*** (0.656)
似然函数 值 log likelihood	-933.629	单位 LR 检验值 Unit LR test value	22.131

注：括号中为标准误，“*”、“**”和“***”分别表示在 10%、5%和 1%的显著性水平下通过检验， $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2}$ 表中， μ 和 σ 为 u_i 分布的参数 $u_i (\mu, \sigma)$ 。

Note: Standard errors in parentheses, "*", "**" and "***" indicate significant levels of 10%, 5% and 1% respectively. $\gamma = \frac{\sigma_u^2}{\sigma_u^2 + \sigma_v^2}$, $\mu \sim N$ and σ are parameter of distribution of u_i , $u_i \sim N (\mu, \sigma)$ 。

根据表 4，就产出弹性而言，化肥的产出弹性为负，农药的产出弹性为正，且绝对值均接近于 0，表明目前农产品生产中存在化肥过量施用的问题，且农药的作用体现为降低产量损失。就化肥和农药对其他生产要素的替代来看，除化肥对劳动的替代弹性为负外，其他 5 对替代弹性均为正，表明化肥和劳动间为互补关系；化肥与土地和其他要素间呈现替代关系，且化肥对土地的替代弹性大于对其他投入的替代弹性。农药对土地、劳动和其他要素的替代弹性均为正，其中农药对劳动的替代弹性最大，且大于 1；其次分别为农药对土地和对其他要素的替代，表明农药和劳动间的替代最易发生。

3.2 联立方程组估计结果

得到要素产出及替代弹性的基础上，对化肥和农药两个联立方程组进行估计，结果汇总为表 4。就化肥方程组来说（表 5），从化肥的产出弹性角度来看，防虫网对化肥的产出弹性具有负向影响；考虑到防虫网的使用和病虫害的发生具有相关性，而病虫害爆发会导致产量下降，在化肥投入不变的情况下，化肥的产出弹性下降，因此呈现

出防虫网技术对化肥产出弹性具有负向影响的特征。高温熏（闷）棚和土壤消毒对化肥产出弹性具有正向影响，且高温熏（闷）棚技术前的系数绝对值更大，说明高温熏（闷）棚技术的作用更加明显，假说 H1 得到验证。从化肥对劳动、土地和其他要素的替代弹性角度说，5 项质量安全生产技术均未显著作用于化肥对土地和其他生产要素的替代弹性，结合实际生产中土地和其他生产要素（种苗费、机耕费、农膜费和耕地机折旧等）的投入具有难以在短期内进行调整的特点，表明土地和其他生产要素是农户采用质量安全生产技术时的紧约束。在五项质量安全生产技术中，防虫板对化肥与劳动的替代弹性有着显著的正向影响。由于使用防虫板对产量的影响主要表现在降低产量的波动（即减小产量的方差）而非增加产量（即提高产量的均值），且悬挂防虫板等需要大量劳动投入，因此会导致劳动产出弹性的降低，而提高化肥的产出弹性，进而表现出促进了化肥对劳动进行替代的特征。这一结果表明，防虫板技术呈现劳动密集型特征，在进行相应技术推广服务时有必要考虑农户劳动力的可得性。

表 4 化肥和农药的产出弹性及化肥和农药对其他要素的替代弹性

Table 4 Output elasticity of fertilizers and pesticides and substitution elasticity of fertilizers and pesticides for other elements

指标 Index	化肥产出弹性 Output elasticity of fertilizer	化肥对土地的替代 Elasticity of substitution of fertilizer on land	化肥对劳动的替代 Elasticity of substitution of fertilizer on labor	化肥对其他要素的替代 Elasticity of substitution of fertilizer on other input
化肥 Fertilizer	-0.023 9	0.332 1	-0.938 6	0.202 3
指标 Index	农药产出弹性 Output elasticity of pesticides	农药对土地的替代 Elasticity of substitution of pesticides on land	农药对劳动的替代 Elasticity of substitution of pesticides on labor	农药对其他要素的替代 Elasticity of substitution of pesticides on other input
农药 Pesticide	0.016 8	0.332 1	1.755 7	0.222 2

注：根据替代弹性的定义，替代弹性是无量纲的值。
Note: According to the definition of elasticity of substitution, the elasticity of substitution is a dimensionless value.

以下对农药方程组的估计结果进行分析。就农药产出弹性来看，采用防虫网会显著降低农药产出弹性，出现这一结果的机制与防虫网采用降低化肥产出弹性的机制类似，防虫网技术的采用与病虫害的发生具有较强相关性，导致产出降低，因此对农药产出弹性带来负向影响。就农药与其他生产要素的替代弹性来看，5 项质量安全生产技术均未显著作用于农药对劳动力和其他要素的替代弹性，但作用机制有所区别。具体来说，劳动力与农药间存在替代关系，质量安全生产技术未能对农药与劳动力的替代弹性产生影响表明劳动力是农户采用质量安全生产技术时遇到的约束条件；而质量安全生产技术对农药与其他要素的替代弹性的作用不显著是由于农药与其他生产要素的替代弹性较小，要素间相互替代难度较大。高温熏（闷）棚技术能够显著降低农药对土地的替代，

与预期相符，表明该项质量安全生产技术通过棚室消毒有效预防病虫害，提高产量进而提高土地产出弹性，也有效降低了农药投入，假说 H2 得到验证。

由此可以看出，质量安全生产技术对化肥、农药及化肥、农药对其他生产要素的作用机制有所不同。在 5 项技术中，防虫网对化肥和农药的产出弹性均有负向作用，高温熏（闷）棚和土壤消毒正向作用于化肥产出弹性；通过就农药、化肥对其他 3 类要素的替代弹性进行分析可知，化肥方程组中，化肥对土地和其他要素的替

代弹性方程不显著，说明土地投入和其他要素投入是质量安全生产技术作用于化肥投入时的紧约束；类似的，劳动力投入是质量安全生产技术作用于农药投入时的紧约束。此外，理论分析部分关注的 1 个重点是质量安全生产技术是否可以通过作用于要素产出弹性进而作用于要素替代弹性从而起到降低化肥和农药投入的作用，即 2 个方程组中替代弹性方程的农药和化肥产出弹性系数是否显著，实证结果中，农药产出弹性和化肥产出弹性前的系数不显著，未提供对该条影响路径的有力支撑。

表 5 化肥及农药联立方程组估计结果

Table 5 Estimated results of simultaneous equations for chemical fertilizers and pesticides

方程组 Equation	指标 Index	化肥产出弹性 Output elasticity of fertilizer	化肥替代劳动 Elasticity of substitution of fertilizer on labor	化肥替代土地 Elasticity of substitution of fertilizer on land	化肥替代其他 Elasticity of substitution of fertilizer on other input	
化肥方程组 Fertilizer equations	T_1	-0.019*** (-0.003)	0.920 (-7.472)	4.022 (-6.207)	-5.801 (-4.822)	
	T_2	-0.002 (-0.003)	9.100** (-4.068)	-0.581 (-1.609)	-1.161 (-1.238)	
	T_3	0.020*** (-0.003)	-10.320 (-7.623)	-6.494 (-6.530)	5.426 (-5.045)	
	T_4	0.006* (-0.003)	-4.257 (-4.071)	-0.055 (-2.086)	1.936 (-1.615)	
	T_5	0.002 (-0.003)	-4.837 (-3.947)	1.395 (-1.521)	0.013 (-1.178)	
	化肥产出弹性 The output elasticity of fertilizer			335.750 (-326.213)	225.894 (-323.173)	-313.842 (-249.881)
	劳动产出弹性 The output elasticity of labor			-1.529 (-20.810)		
	土地产出弹性 The output elasticity of land				-0.285 (-2.741)	
	其他产出弹性 The output elasticity of other input					2.049 (-2.820)
	农药方程组 Pesticides equations	T_1	-0.003** (-0.002)	-0.594 (-1.189)	-0.451 (-1.663)	-3.770 (-7.405)
T_2		-0.002 (-0.001)	-0.112 (-0.850)	-1.408 (-1.310)	0.782 (-5.844)	
T_3		0.001 (-0.001)	0.303 (-0.916)	-2.452* (-1.409)	7.200 (-5.607)	
T_4		0.002 (-0.001)	0.432 (-0.930)	0.980 (-1.383)	6.948 (-5.951)	
T_5		0.001 (-0.001)	-0.423 (-0.908)	1.865 (-1.363)	2.821 (-6.009)	
农药产出弹性 The output elasticity of pesticides				-92.407 (-261.633)	-39.913 (-338.683)	-1240.985 (-1493.567)
劳动产出弹性 The output elasticity of labor				-2.032 (-3.080)		
土地产出弹性 The output elasticity of land					-0.299 (-2.931)	
其他产出弹性 The output elasticity of other input						1.090 (-26.370)

注：括号中为标准误，“*”、“**”和“***”分别表示在 10%、5%和 1%的显著性水平下通过检验，表中省略控制变量的参数估计结果

Note: Standard errors in parentheses, “*”, “**” and “***” indicate significant levels of 10%, 5% and 1%, respectively. The results of parameter estimation of control variables are omitted in the table

4 结 论

本研究利用 2016 和 2017 年农户调研混合数据,采用随机前沿超越对数生产函数和联立方程组模型分析了质量安全生产技术对农药、化肥产出弹性及农药、化肥对其他要素的替代弹性的作用机制,得到以下主要研究结论:

1)化肥产出弹性为负,表明目前农产品生产存在化肥过量投入的问题;农药的产出弹性绝对值均接近于 0,表明农药的主要作用体现为平抑产量波动。化肥对劳动的替代为负,体现出化肥和劳动的互补关系;农药与劳动间,化肥、农药与劳动和其他要素间均呈现替代关系。

2)质量安全生产技术同时直接作用于要素产出弹性和替代弹性,充分说明质量安全技术通过要素产出和要素替代两条途径发挥要素配置效应、确保农产品质量安全;此外,质量安全生产技术通过农药、化肥产出弹性进而间接作用于要素替代弹性的影响路径未得到实证检验的支持。

3)不同质量安全生产技术对要素产出弹性的作用各有不同。高温熏(闷)棚和土壤消毒技术能通过有效提高化肥产出弹性,同时高温熏(闷)棚技术能有效降低农药对土地的替代,从而减少化肥和农药的使用。

4)质量安全技术的效应具有非显性特征,病虫害预防类技术,如防虫网和防虫板,作用于产量的方差,但无法显著提高产量的均值,因此对部分要素产出弹性造成负向作用。

5)质量安全生产技术的应用需要资本和劳动等要素的联合投入,一方面导致技术的作用无法通过要素产出弹性而传导至要素替代弹性;另一方面也加剧化肥对劳动的替代。土地和其他要素投入制约了质量安全生产技术对化肥投入的作用,劳动力投入制约了质量安全生产技术对农药投入的作用。

根据以上研究结论,提出以下对策建议:第一,帮助农户树立科学施肥、合理用药的观念,深入推进质量安全生产技术的推广,优化肥料投入结构、在农药投入方面“以防代治”;第二,促进社会化生产服务的普及,如病虫害“统防统治”,有效解决农业生产优质劳动力流失和质量安全生产技术应用需要投入更多劳动力之间的矛盾;第三,农业技术推广服务需明确不同质量安全生产技术的作用条件和作用机制,促进农户对质量安全生产技术作用的正确认知,引导农户根据自身需求及生产实际进行技术采用决策。

[参 考 文 献]

- [1] 华红娟,常向阳. 供应链模式对农户食品质量安全生产行为的影响研究:基于江苏省葡萄主产区的调查[J]. 农业技术经济, 2011(9):108-117.
- [2] 胡定寰,陈志钢,孙庆珍,等. 合同生产模式对农户收入和食品安全的影响:以山东省苹果产业为例[J]. 中国农村经济, 2006(11):17-24.
- [3] 朱丽娟. 食品生产者质量安全行为研究[D]. 杭州:浙江大学, 2004.

- [4] 娄博杰. 基于农产品质量安全的农户生产行为研究[D]. 北京:中国农业科学院, 2015.
Lou Bojie. Study on the Farmer's Production Behavior Based on the Quality and Safety of Agricultural Products[D]. Beijing: Chinese Academy of Agricultural Sciences, 2015.(in Chinese with English abstract)
- [5] Wang Xianxia, Zhang Yunxi. Farmers' dual roles in food safety: Perceptions and countermeasures[J]. Journal of Resources and Ecology, 2018, 9(1): 78-84.
- [6] 周洁红. 生鲜蔬菜质量安全管理问题研究[D]. 杭州:浙江大学, 2005.
- [7] 杨天和. 基于农户生产行为的农产品质量安全问题的实证研究[D]. 南京:南京农业大学, 2006.
Yang Tianhe. Study on Demonstration of Quality and Safety of Agro-products Based on The Farming Household's Production Behavior: With Rice Production of Jiangsu Province as The Example[D]. Nanjing: Nanjing Agricultural University, 2006.(in Chinese with English abstract)
- [8] 孙艳香. 中国农产品安全生产的技术进步方向[D]. 杭州:浙江大学, 2014.
Sun Yanxiang. Directed Technical Change of China's Agriculture Product Safety[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014.(in Chinese with English abstract)
- [9] 周荣荣. 美国农产品质量安全控制管理体系的考察与思考[J]. 农业技术经济, 2003(4):60-63.
Zhou Rongrong. A study on quality control and management system for safety of agricultural products in the United States[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2003(4):60-63.(in Chinese with English abstract)
- [10] 韩俊. 中国食品安全报告[M]. 北京:社会科学文献出版社, 2007.
- [11] 章力建, 胡育骄. 关于农产品质量安全的若干思考[J]. 农业经济问题, 2011, 32(5):60-63.
Zhang Lijian, Hu Yujiao. Reflections on the quality safety of agricultural products[J]. Issues in Agricultural Economy, 2011, 32(5):60-63.(in Chinese with English abstract)
- [12] 董玉德, 丁保勇, 张国伟, 等. 基于农产品供应链的质量安全可追溯系统[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1):280-285.
Dong Yude, Ding Baoyong, Zhang Guowei, et al. Quality and safety traceability system based on agricultural product supply chain[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(1): 280-285. (in Chinese with English abstract)
- [13] 蒋雪松, 王维琴, 许林云, 等. 农产品/食品中农药残留快速检测方法研究进展[J]. 农业工程学报, 2016, 32(20):267-274.
Jiang Xuesong, Wang Weiqin, Xu Linyun, et al. Review on rapid detection of pesticide residues in agricultural and food products[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(20): 267-274. (in Chinese with English abstract)
- [14] Widawsky D, Rozelle S, Jin S, et al. Pesticide productivity, host-plant resistance and productivity in China[J]. Agricultural Economics of Agricultural Economists, 2014, 19(1/2):203-217.
- [15] 代云云. 我国蔬菜质量安全管理现状与调控对策分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2013(s2):66-69.
Dai Yunyun. Analysis of the status quo of vegetable quality and safety management and regulation countermeasures in

- China[J].China Population, Resources and Environment, 2013(s2):66—69.
- [16] 刘钦普. 中国化肥施用强度及环境安全阈值时空变化[J]. 农业工程学报, 2017, 33(6):214—221.
Liu Qinqu. Spatio-temporal changes of fertilization intensity and environmental safety threshold in China[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(6): 214—221. (in Chinese with English abstract)
- [17] 冯忠泽, 李庆江. 农户农产品质量安全认知及影响因素分析[J]. 农业经济问题, 2007, 28(4):22—26.
Feng Zhongze, Li Qingjiang. Farmer's acknowledgement on safety of agricultural products and influencing factor analysis[J]. Issues in Agricultural Economy, 2007, 28(4):22—26. (in Chinese with English abstract)
- [18] 宋英杰. 政府管制对农产品质量安全技术扩散影响的实证研究[J]. 科研管理, 2013, 34(7):61—70.
Song Yingjie. The effect of government control on the quality safety technology diffusion of agricultural products[J]. Science Research Management, 2013, 34(7):61—70. (in Chinese with English abstract)
- [19] Beceanu D. Aspects of food safety correlated with conventional or ecological production technologies[J]. Cercetări Agronomice În Moldova, 2009, 1(137):61—69.
- [20] Huang J, Hu R, Rozelle S, et al. Insect-resistant GM rice in farmers' fields: Assessing productivity and health effects in China[J]. Science, 2005, 308(5722): 688—690.
- [21] Huang J, Hu R, Pray C, et al. Biotechnology as an alternative to chemical pesticides: A case study of Bt cotton in China[J]. Agricultural Economics, 2015, 29(1):55—67.
- [22] 陈琦. 陕西省苹果种植户安全用药行为影响因素分析[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2013.
Chen Qi. The Analysis of Influence Factors in Pesticides Use From Apple Growers in Shaanxi Province[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [23] Zhou J, Jin S. Safety of vegetables and the use of pesticides by farmers in China: Evidence from Zhejiang province[J]. Food Control, 2009, 20(11):1043—1048.
- [24] 黄季焜, 齐亮, 陈瑞剑. 技术信息知识、风险偏好与农民施用农药[J]. 管理世界, 2008 (5) :71—76.
- [25] 褚彩虹, 冯淑怡, 张蔚文. 农户采用环境友好型农业技术行为的实证分析: 以有机肥与测土配方施肥技术为例[J]. 中国农村经济, 2012(3):68—77.
- [26] 徐家鹏. 蔬菜种植户产销环节纵向协作与质量控制研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2011.
Xu Jiapeng. Study on Vertical Coordination and Quality Control of Vegetable Grower in Process of Production and Sale[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2011. (in Chinese with English abstract)
- [27] 江激宇, 柯木飞, 张士云, 等. 农户蔬菜质量安全控制意愿的影响因素分析: 基于河北省藁城市 151 份农户的调查[J]. 农业技术经济, 2012(5):35—42.
- [28] 陈丽华, 张卫国, 田逸飘. 农户参与农产品质量安全可追溯体系的行为决策研究: 基于重庆市 214 个蔬菜种植农户的调查数据[J]. 农村经济, 2016(10):106—113.
- [29] Popp, József, Pet, et al. Pesticide productivity and food security: A review[J]. Agronomy for Sustainable Development, 2013, 33(1):243—255.
- [30] 张利国. 农户有机食品生产中的道德风险分析[J]. 经济问题, 2008(12):89—92.
Zhang Ligu. Analysis on the moral hazard in farmers' organic food production[J]. On Economic Problems, 2008(12):89—92. (in Chinese with English abstract)
- [31] 陈凤霞, 吕杰. 农户采纳稻米质量安全技术影响因素的经济学分析: 基于黑龙江省稻米主产区 325 户稻农的实证分析[J]. 农业技术经济, 2010(2):84—89.
Chen Fengxia, Lv Jie. Economic analysis on the factors affecting rice farmers' adoption of quality safety technology: Empirical analysis based on 325 rice farmers in the main rice-producing areas in Heilongjiang Province[J]. Journal of Agrotechnical Economics, 2010(2):84—89. (in Chinese with English abstract)
- [32] 唐博文, 罗小锋, 秦军. 农户采用不同属性技术的影响因素分析: 基于 9 省 (区) 2110 户农户的调查[J]. 中国农村经济, 2010(6):49—57.
- [33] Handschuch C, Wollni M, Villalobos P. Adoption of food safety and quality standards among Chilean raspberry producers — Do smallholders benefit?[J]. Food Policy, 2013, 40:64—73.
- [34] Minten B, Randrianarison L, Swinnen J F M. Global retail chains and poor farmers: Evidence from Madagascar[J]. World Development, 2009, 37(11):1728—1741.
- [35] 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.
- [36] Acemoglu, Daron. Directed technical change[J]. Review of Economic Studies, 2002, 69(4):781—809.
- [37] Vincent D P. Factor substitution in Australian agriculture[J]. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics, 1977, 21(2):119—129.
- [38] 李宝芹. 设施蔬菜病虫害绿色综合防控技术[J]. 现代农业科技, 2010(2):194—197.
- [39] 王欣. 不同土壤肥力水平下甘蓝的氮肥效应[J]. 中国土壤与肥料, 2008(5):80—81.
- [40] 李建勇, 李珍珍, 朱恩, 等. 芦笋连作障碍克服方法[J]. 上海交通大学学报: 农业科学版, 2014, 32(4):19—23.
Li Jianyong, Li Zhenzhen, Zhu En, et al. Method for overcoming asparagus continuous cropping barrier[J]. Journal of Shanghai Jiaotong University: Agricultural Science, 2014, 32(4):19—23. (in Chinese with English abstract)
- [41] 崔晓, 张屹山. 中国农业环境效率与环境全要素生产率分析[J]. 中国农村经济, 2014(8):4—16.

Effect of agricultural products safety production technologies on elasticity of substitution

Kang Ting¹, Mu Yueying^{1*}, Hou Lingling²

(1. College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China;

2. School of Advanced Agricultural Sciences, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Food safety is related to public health and has been highlighted worldwide. In order to motivate peasants to adopt food safety production techniques sustainably, what is the relationship between food safety production technologies and production factors and how these technologies work on food safety are important but still remain to be answered. This study explores the mechanism how food safety production techniques improve food safety and quality by factor allocation effect which can be decomposed into factor substitution effect and factor output effect. In order to address these problems, we constructed a theoretical framework based on biased technological change and explained how food safety production technologies affect factor output and substitution elasticity, especially output elasticity of fertilizer and pesticides and factor substitution elasticity between them and other factors. On the basis of theoretical framework, empirical model was constructed using a two-year pooled-data of household survey gathered from main vegetable production areas around Bohai bay. The survey was conducted in Beijing, Tianjin, Hebei, Shandong and Liaoning covering household characteristics, cost-benefit situation and food safety production technology adoption. By employing stochastic frontier translog production function, accurate output elasticity of fertilizer and pesticide and substitution elasticity between them and three other kinds of input factors (labor, land and other input) could be estimated accurately. In order to eliminate endogenous problems induced by indirect path of food safety production technologies on factor substitution elasticity through factor output elasticity, simultaneous equations was adopted. The result showed that: 1) according to the result of stochastic frontier translog function, output elasticity of fertilizer was negative which proved that fertilizer had been overused. Output elasticity of pesticides was near zero indicating that pesticide had damage abatement effect rather than production increasing effect. 2) Food safety production technologies reduced fertilizer and pesticide use through increasing output elasticity and substitution elasticity of fertilizer or pesticide to other input factor. For example, insect proof net decreased the output elasticity of fertilizer and pesticides, greenhouse fumigation had negative effect on substitution elasticity of pesticide to land. This indicates that the food safety production techniques do have factor allocation effect and this factor allocation effect can be decomposed into factor output effect and factor substitution effect, but the indirect path working on substitution elasticity through output elasticity of fertilizers or pesticides has not been supported. 3) Greenhouse disinfection by high temperature and smoke could reduce fertilizer and pesticide input effectively through increasing the output elasticity and decreasing the substitute elasticity of pesticide to land, soil disinfection significantly could also improve output elasticity of fertilizer thus reduce fertilizer use. 4) The effect of some safety-ensured and quality-promoted technologies, for instance, insect proof net, is to stabilizing volatilities of yield, but not increasing yield, thus can induce the negative effect on output elasticity of fertilizer and pesticide. 5) Application of quality and safety production technology needs a supplementary input of capital, labor and other factors. On the one hand, this induced that the indirect path of food safety production technologies on factor substitution effect through factor output effect is not significant; on the other hand, this also intensifies the substitution of fertilizer for labor.

Keywords: agricultural products; quality control; safety production technologies; output elasticity; elasticity of substitution; stochastic frontier translog function