

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

向云^{1,2} 祁春节^{1,2*} 王伟新³

(1. 华中农业大学 经济管理学院, 武汉 430070;

2. 湖北农村发展研究中心, 武汉 430070;

3. 浙江工商大学 经济学院, 杭州 310018)

摘要 为探究柑橘生产的要素替代关系及增长路径,基于我国7个主产区1997—2014年柑橘成本收益的面板数据,采用超越对数生产函数对柑橘生产要素之间的替代关系进行实证分析,在此基础上探讨我国柑橘生产的技术进步与增长路径。研究得出:劳动力和农业机械的产出弹性相对比较稳定,化肥和其他要素的产出弹性波动较大;化肥、农业机械与其他要素对劳动力的替代关系较为显著,化肥与农业机械对其他要素的替代关系较为稳定,化肥与农业机械要素之间还存在一定的互补关系;柑橘生产过程中劳动节约型技术进步明显,土地节约型技术进步也不断发展,未来柑橘生产的增长路径选择应该以节约劳动的农业机械技术导向为主,以节约土地的生物化学技术导向为辅。最后,基于研究结论得到的启示包括:根据生产要素禀赋优势来选择柑橘技术进步的发展方向;重点发展省力省工的柑橘生产机械技术;合理使用化肥、农药、农膜、无病毒苗木等土地节约型的生物化学技术。

关键词 要素替代;增长路径;超越对数生产函数;随机效应模型;柑橘类水果

中图分类号 F326

文章编号 1007-4333(2017)07-0200-10

文献标志码 A

Key factor substitution and growth path of citrus production: An empirical analysis based on the panel data of main production area

XIANG Yun^{1,2}, QI Chunjie^{1,2*}, WANG Weixin³

(1. College of Economics & Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

2. Hubei Rural Development Research Center, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China;

3. College of Economics, Zhejiang Gongshang University, Hangzhou 310018, China)

Abstract To explore key factor substitution and growth path of citrus production based on the panel data on the cost-benefit of citrus from 1997 to 2014 in seven main production areas in China. An empirical analysis of the substitution relationship among the citrus production factors to investigate the technical progress and growth path of citrus production in China was conducted by using transcendental logarithmic production function. The results showed that: The output elasticity of labor force and agricultural machinery was relatively stable, and the output elasticity of chemical fertilizer and other factors was fluctuant; The substitution relationships of chemical fertilizer to labor, agricultural machinery to labor, and other factors to labor force were significant, The substitution relationships of chemical fertilizer and agricultural machinery to other factors were stable; There also existed a complementary relationship between fertilizer and agricultural machinery factors; In the process of citrus production, the labor-saving technical progress was obvious, and the land-saving technical progress is developing constantly. The future growth path of citrus production should be mainly in the direction of labor-saving agricultural machinery technology and aided in the direction of land-saving biochemical technology. In conclusion, the choice of the development direction of citrus technical progress should

收稿日期: 2016-09-02

基金项目: 中央财政科技计划专项(CARS-27-08B); 浙江省高校人文社科重点研究基地(浙江工商大学应用经济学)资助
第一作者: 向云, 博士研究生, E-mail: xiangyunwoshi@163.com

通讯作者: 祁春节, 教授, 主要从事农业经济、农产品价格与市场、园艺经济与贸易等研究, E-mail: qichunjie@126.com

be made bases on its endowment advantage of production factors; Focuses should be on the development of labor-saving citrus production machinery technology and reasonable application of the land-saving biochemical technology including chemical fertilizer, pesticide, plastic film, and free-virus seedling wood.

Keywords factor substitution; growth path; transcendental logarithmic production function; random effect model; citrus fruits

柑橘是中国栽培面积最大的水果作物,2014年柑橘栽培面积达252.14 hm²,总产量为3 492.70万t,占全球柑橘产量的1/3以上,柑橘产业已经成为关乎我国民生的重要农业产业。近年来,随着农村青壮劳动力不断外流,柑橘生产“用工荒”现象频现并呈蔓延之势。柑橘产业作为典型的劳动密集型产业,劳动力短缺及青壮劳动力大量外流导致带来的劳动力成本上涨,以及劳动力“老龄化”、“妇女化”、“兼业化”和农地抛荒等问题,已成为制约其进一步发展的因素。此外,对近年来我国柑橘生产的成本构成进行分析发现,除劳动力成本上升外,化肥、农业机械、土地和农药、灌溉等要素投入成本的份额也发生了较大变化。柑橘生产要素禀赋结构变化已是不争的事实,预计未来相当长时期内,要素组合方式及要素相对价格还将不断调整。如何应对要素禀赋变化带来的影响是未来柑橘产业健康发展的重要课题。

自Hicks提出要素替代弹性概念以来,要素替代关系的研究一直是学术热点,要素禀赋结构变化与技术变革的关系研究更是备受关注。速水等^[1]发展了Hicks的诱导创新理论,提出技术变革的方向和速度是对要素禀赋变化和需求增长的一种动态反应,并创造性地提出“诱致性技术创新理论”,强调经济体初始要素禀赋条件对技术进步的约束,从理论上分析了诱导的农业技术进步过程;之后,Nghiep^[2]、Kuroda^[3]、Khatri^[4]及何爱等^[5]采用不同方法对诱致性创新假说进行了验证。Binswanger^[6]研究认为在要素自由流动前提下各经济体的要素禀赋差异决定了其在替代稀缺要素的技术路径选择上的差异。林毅夫等^[7]研究发现不管是完全市场经济还是缺乏土地和劳动力要素市场的经济,要素禀赋状况对技术需求的影响完全一致,且验证了人为政策扭曲之下农业技术选择也由要素禀赋决定。已有研究明显反映出要素禀赋对技术变革的限制,同时要素禀赋结构变化引起的技术变革也反映出不同的农业增长路径。全炯振^[8]指出中国农业增长路径属于典型的土地生产率导向的亚洲型增长路径;吴丽

丽等^[9]和周晓时等^[10]的研究进一步提出随着我国劳动力成本的不断上升,我国的农业增长已由土地生产率导向的亚洲型增长路径转为劳动生产率导向的新大陆型增长路径。

近年来,我国农业生产要素禀赋结构变化对农业生产的影响越来越显著,魏金义等^[11]提出农业要素禀赋结构是分析我国有关农业经济问题的逻辑起点,也是决定农业经济增长的基础因素。相关研究也表明,生产要素之间的替代在农业生产增长中发挥着重要作用^[12-13],要素之间的替代效应能够有效降低劳动力净流出可能给生产带来的损害^[14]。随着劳动力成本上升,国内学者关于农业生产要素之间替代关系及要素替代弹性方面的研究成果不断丰富。例如,尹朝静等^[15]研究认为油菜生产投入要素间存在一定的替代效应,特别是机械和中间投入对劳动的替代效应十分明显。胡浩等^[16]指出在劳动力市场不断完善、农业劳动成本不断增加的背景下,化肥与劳动显现出替代关系,劳动成本增加对化肥施用具有促进作用。易福金等^[17]研究发现江苏省的劳动力比较容易被其他生产要素替代,劳动力价格上升反而促进了江苏省农户扩大水稻播种。王林辉等^[18]、袁礼构建了包含土地与劳动要素的CES生产函数,发现我国农业土地与劳动的要素替代弹性 <1 ,技术进步整体偏向于丰裕要素劳动。

已有研究反映出农业生产要素禀赋变化已成为学术界普遍认可的事实,关于要素禀赋变化带来的要素替代关系及要素替代弹性方面的研究成果也很丰富。但现有研究大多探讨其他生产要素对劳动力要素的替代,鲜有对农业生产要素之间替代关系及其大小进行研究的,尤其是针对劳动力、农业机械、化肥与其他要素之间相互替代关系及其大小测算的具体分析相对较少。另外,现有研究大多以粮食、油料等大田作物为研究对象,缺乏针对水果作物的研究,柑橘产业作为典型的劳动密集型产业,劳动力外流和成本上升带来的可持续发展问题也日益突出,柑橘要素之间替代关系的大小及其准确测算对柑橘生产过程中要素资源配置和柑橘生产的增长路

径选择具有重要意义,对柑橘生产的要素替代关系及其增长路径的研究也有助于为其他水果作物的生产技术进步和增长路径选择提供借鉴。因此,本研究拟借助7个柑橘主产区1997—2014年的相关数据,构建柑橘生产的超越对数生产函数模型,探讨柑橘生产要素之间的相互替代关系及其大小,并基于要素替代视角探究柑橘生产的技术进步方向与增长路径选择,以期优化柑橘生产要素投入结构,促进柑橘产业可持续发展提供有益的参考依据。

1 测度指标与数据来源

1.1 测度指标

1)超越对数生产函数。

李谷成等^[14]和尹朝静等^[12]在研究中指出超越对数生产函数模型在测算农业生产要素投入的产出弹性方面具有显著优越性,具体比较过程本文不再赘述。基于研究目的和数据可得性,为较好考察柑橘生产过程中农业生产要素之间的替代关系,本研究构建柑橘生产的超越对数生产函数模型如式(1)。

$$\begin{aligned} \ln Y_{i,t} = & \beta_0 + \beta_L \ln L_{i,t} + \beta_F \ln F_{i,t} + \\ & \beta_M \ln M_{i,t} + \beta_O \ln O_{i,t} + \beta_{LL} (\ln L_{i,t})^2 + \beta_{FF} (\ln F_{i,t})^2 + \\ & \beta_{MM} (\ln M_{i,t})^2 + \beta_{OO} (\ln O_{i,t})^2 + \\ & \beta_{LF} (\ln L_{i,t}) (\ln F_{i,t}) + \beta_{LM} (\ln L_{i,t}) (\ln M_{i,t}) + \\ & \beta_{LO} (\ln L_{i,t}) (\ln O_{i,t}) + \beta_{FM} (\ln F_{i,t}) (\ln M_{i,t}) + \\ & \beta_{FO} (\ln F_{i,t}) (\ln O_{i,t}) + \beta_{MO} (\ln M_{i,t}) (\ln O_{i,t}) + \mu \end{aligned} \quad (1)$$

式中: $Y_{i,t}$ 表示*i*省份第*t*年的柑橘单位面积产量, $L_{i,t}$ 表示对应的劳动力投入, $F_{i,t}$ 表示对应的化肥投入, $M_{i,t}$ 表示对应的农业机械投入, $O_{i,t}$ 表示除劳动力、化肥、农业机械以外的其他要素投入, μ 为随机干扰项。

2)农业生产要素投入的产出弹性。

根据超越对数生产函数可计算出劳动力要素的产出弹性 η_L 、化肥要素的产出弹性 η_F 、农业机械要素的产出弹性 η_M 和其他要素的产出弹性 η_O 。

$$\begin{aligned} \eta_L = & \frac{dY}{dL} = \frac{d \ln Y}{d \ln L} = \beta_L + 2\beta_{LL} \ln L_{i,t} + \\ & \beta_{LF} \ln F_{i,t} + \beta_{LM} \ln M_{i,t} + \beta_{LO} \ln O_{i,t} \quad (2) \\ \eta_F = & \frac{dY}{dF} = \frac{d \ln Y}{d \ln F} = \beta_F + 2\beta_{FF} \ln F_{i,t} + \end{aligned}$$

$$\beta_{LF} \ln L_{i,t} + \beta_{FM} \ln M_{i,t} + \beta_{FO} \ln O_{i,t} \quad (3)$$

$$\eta_M = \frac{\frac{dY}{Y}}{\frac{dM}{M}} = \frac{d \ln Y}{d \ln M} = \beta_M + 2\beta_{MM} \ln M_{i,t} +$$

$$\beta_{LM} \ln L_{i,t} + \beta_{FM} \ln F_{i,t} + \beta_{MO} \ln O_{i,t} \quad (4)$$

$$\eta_O = \frac{\frac{dY}{Y}}{\frac{dO}{O}} = \frac{d \ln Y}{d \ln O} = \beta_O + 2\beta_{OO} \ln O_{i,t} +$$

$$\beta_{LO} \ln L_{i,t} + \beta_{FO} \ln F_{i,t} + \beta_{MO} \ln M_{i,t} \quad (5)$$

3)农业生产要素之间的替代弹性。

柑橘生产过程中主要生产要素之间的替代弹性计算公式如式(6)所示。

$$\begin{aligned} \sigma_{XY} = & \frac{\frac{d(X/Y)}{X/Y}}{\frac{d(MP_Y/MP_X)}{MP_Y/MP_X}} = \\ & \frac{\eta_Y^2 - \eta_Y \eta_X}{\eta_Y^2 - \eta_Y \eta_X - \beta_{YX} \eta_Y + 2\beta_{YX} \eta_X} \quad (6) \end{aligned}$$

式中: X 和 Y 泛指2种柑橘生产要素。 X 和 Y 代表不同生产要素, MP_X 和 MP_Y 分别表示 X 生产要素和 Y 生产要素投入的边际产出, σ_{XY} 表示生产要素之间的替代弹性值,相应的替代弹性包括农业机械与劳动力的替代弹性、化肥与劳动力的替代弹性、其他要素与劳动力的替代弹性等。

1.2 数据来源

我国柑橘主产区是湖南、广东、广西、湖北、四川、福建、江西、浙江和重庆9个省市。考虑到数据可获性,选取1997—2014年浙江、福建、湖北、湖南、广东、广西和重庆这7个柑橘主产区的柑橘成本收益等相关面板数据。其中,2014年这7个主产区的柑橘产量和种植面积分别占到全国的62.54%和69.07%,数据具有较强的代表性。柑橘投入产出数据包括:单位面积产量,劳动力、农业机械、化肥和其他要素等的投入,以及土地生产率和劳动生产率。其中,柑橘单位面积产量根据《中国农业统计资料》(1998—2014)中柑橘产量和相应年份的种植面积计算得到,对于产量和种植面积的个别缺失数据,根据《中国统计年鉴》(1998—2015)、国家统计局官方数据和各省(自治区、直辖市)统计局官方数据补齐。柑橘生产过程中劳动力、农业机械、化肥和其他生产要素等的投入,以及柑橘土地生产率和劳动生产率等指标数据,根据《全国农产品成本收益资料汇编》(1998—2015)中相关统计指标计算得到。对于柑橘

生产要素投入数据,均折算为1997年的不变价格。

其中,柑橘单产的单位为 kg/hm^2 ;柑橘生产过程中的劳动力投入以每 hm^2 人工成本表示,单位为元/ hm^2 ;柑橘生产过程中的化肥投入以每 hm^2 化肥成本表示,化肥成本包括农家肥和化肥,单位为元/ hm^2 ;柑橘生产过程中的农业机械投入以农机租赁作业费、排灌费等表示,单位为元/ hm^2 ;柑橘生产过程中其他要素投入包括土地、果苗、农药、农膜、技术服务、固定资产折旧、管理费、保险费等费用支出,单位为元/ hm^2 ;土地生产率以每 hm^2 柑橘主产品产值表示,根据柑橘主产品产值除以土地数量计算得到,单位为元/ hm^2 ;劳动生产率以每 hm^2 柑橘果园中每个劳动力所创造的主产品产值表示,根据柑橘主产品产值除以劳动用工数量计算得到,单位为元/日;

地劳比率以土地生产率与劳动生产率的比值表示,单位为日/ hm^2 。

2 柑橘生产要素之间替代关系的实证分析

2.1 实证分析与结果

采用 STATA 12.0 软件,分别使用混合 OLS 估计方法、固定效应模型和随机效应模型对柑橘生产的超越对数生产函数模型进行估计和检验,检验结果如表 1 所示。通过 F 检验表明,固定效应模型优于混合 OLS 估计方法;通过 LM 检验表明,随机效应模型优于混合 OLS 估计方法;通过 Hausman 检验表明,随机效应模型优于固定效应模型。因此,我们选择拟合度最好的随机效应模型对柑橘生产要素之间的替代关系进行实证分析。

表 1 不同估计方法的检验及选择

Table 1 Inspection and selection of different estimation methods

估计方法 Estimation method	检验方法 Test method	检验结果 Test result
混合 OLS Mixed OLS 固定效应 Fixed effects	F 检验: $F(14,105)=5.39$; $\text{Prob}>F=0.000\ 0$	固定效应模型优于混合 OLS 估计方法
混合 OLS Mixed OLS 随机效应 Random effects	LM 检验: $\chi^2(1)=0.00$; $\text{Prob}>\chi^2(1)=1.000\ 0$	随机效应模型优于混合 OLS 估计方法
固定效应 Fixed effects 随机效应 Random effects	Hausman 检验: $\chi^2(1)=0.11$; $\text{Prob}>\chi^2(1)=1.000\ 0$	随机效应模型优于固定效应模型

观察随机效应模型的估计结果(表 2),考虑到随机效应模型 R^2 中不具实际意义,在此仅作参考。同时,从估计参数的符号来看,劳动力、化肥、农业机械和其他要素投入均对柑橘单位面积产量有正向影响,与模型的预期设定较为吻合,说明模型变量选择和参数估计结果较为合理,能够较大程度反映各生产要素对柑橘单位面积产量的影响。

2.2 生产要素的产出弹性

根据要素的产出弹性计算式(2)~(5),结合表 2 的参数估计值,分别计算得到 1997—2014 年我国柑橘生产的劳动力产出弹性 η_L 、化肥产出弹性 η_F 、农业机械产出弹性 η_M 和其他要素弹性 η_O ,明显可看出我国柑橘各生产要素产出弹性的变化趋势存在较大差异,具体见图 1。需要注意的是,化肥和农业机械部分年份的产出弹性出现负值,原因可能在于单位生产面积上的化肥和农业机械投入在部分年份

出现急剧下降,导致要素的边际产出为负,由此计算的产出弹性也就为负值。

第一,劳动力产出弹性值基本保持在 0.25 左右,且是产出弹性中最大的一项投入,说明劳动力投入在我国柑橘生产中的作用举足轻重。近年来劳动力产出弹性值略有下降,柑橘生产的劳动力缺失问题逐渐显现,部分农户因为年龄问题管理柑橘力不从心,而青壮劳动力大多外出“打工”,不愿也不懂管理果园,这可能是导致上述问题的重要因素。第二,化肥产出弹性值呈先升后降的总体趋势,且产出弹性值一直处于较低水平,2007 年之后总体呈现下降趋势,这初步说明化肥在柑橘生产中的地位和作用存在下降趋势。原因可能在于通过加大化肥投入促进柑橘单产增长的潜力已经基本释放殆尽,持续增加化肥投入对柑橘单产影响不大。第三,农业机械产出弹性值一直处于较低水平,基本是在 0 值附近

变动,可能是由于柑橘果园大多位于丘陵山区,农业机械的使用并不是很便捷,目前农业机械在我国柑橘生产过程中的应用并不普遍。2007年后农业机械产出弹性值逐渐提升,农业机械产出弹性值由2007年的-0.013 8增加到2014年的0.040 6,表明随着农业劳动力成本上升和农业劳动力减少,农业机械投入持续增加。这也从侧面反映出农业机械在柑橘生产中的作用日益重要,尤其是柑橘施肥、喷药,以及山地果园生产资料的运输和果实运输等,对柑橘机械的依赖日益增强,预计柑橘生产过程中农业机械产出弹性值还会继续增长。这与当前我国柑橘生产过程中面临的一般形势基本一致,随着农业劳动力的持续流失和劳动力成本的不断上涨,使用

农业机械替代一部分劳动力将是柑橘生产持续发展的必然结果。第四,其他要素产出弹性值呈现出缓慢下降之后又快速上升的整体趋势,由1997年的0.191 2下降到2007年的0.096 9,降幅为49.32%,然后由2007年的0.096 9增长到2014年的0.343 7,涨幅达254.70%。柑橘生产过程中其他要素产出弹性值基本在0.20左右,反映出其他要素投入在柑橘生产过程中的地位和作用不断提升。可能的原因包括柑橘经济效益与粮食生产效益之间的差距越来越大,土地在柑橘生产过程中的重要性开始凸显,农药、农膜等物质生产资料的使用一定程度上能够提升柑橘产量和质量,在柑橘生产过程中的作用也开始引起重视。

表2 随机效应模型估计结果

Table 2 The results of Random-effect model estimation

变量 Variable	估计参数 Estimated parameter	标准误 Standard Error	<i>t</i> 值 <i>t</i> value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value
<i>C</i>	4.591 9***	0.367 3	12.500 0	0.000 0
ln <i>L</i>	0.086 3***	0.033 5	2.570 0	0.010 0
ln <i>F</i>	0.043 9	0.081 0	0.540 0	0.588 0
ln <i>M</i>	0.000 7	0.028 1	0.020 0	0.980 0
ln <i>O</i>	0.082 0	0.078 6	1.040 0	0.297 0
ln <i>L</i> * ln <i>L</i>	-0.046 4**	0.020 9	-2.220 0	0.026 0
ln <i>F</i> * ln <i>F</i>	-0.069 8	0.095 5	0.730 0	0.465 0
ln <i>M</i> * ln <i>M</i>	-0.018 1	0.014 7	1.230 0	0.218 0
ln <i>O</i> * ln <i>O</i>	0.124 6*	0.075 2	1.660 0	0.098 0
ln <i>L</i> * ln <i>F</i>	0.156 4	0.106 4	1.470 0	0.141 0
ln <i>L</i> * ln <i>M</i>	0.021 8	0.036 1	0.600 0	0.546 0
ln <i>L</i> * ln <i>O</i>	-0.034 8	0.112 3	0.310 0	0.757 0
ln <i>F</i> * ln <i>M</i>	0.148 2**	0.069 9	2.120 0	0.034 0
ln <i>F</i> * ln <i>O</i>	-0.111 0	0.132 7	0.840 0	0.403 0
ln <i>M</i> * ln <i>O</i>	-0.161 8**	0.075 3	2.150 0	0.032 0
Adj- <i>R</i> ²		0.610 3		
年数 Number of years		18		
样本数 Number of samples		126		

注:***、**、*分别表示在1%、5%和10%的置信水平上显著。

Note:***, ** and * denote the significance in the 1%, 5% and 10% levels, respectively.

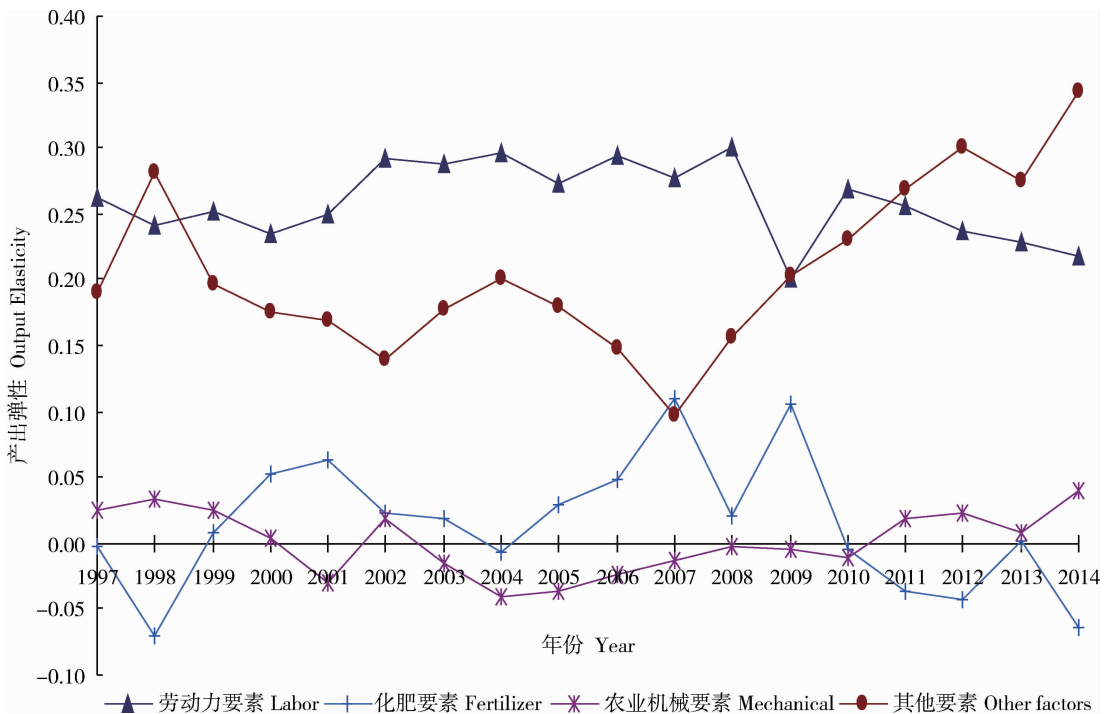


图1 1997—2014年中国柑橘生产要素的产出弹性

Fig. 1 Output elasticity of productive factors in citrus production from 1997 to 2014

2.3 生产要素之间的替代弹性

根据式(6)计算得到1997—2014年柑橘生产要素之间的替代弹性值(表3)。总体而言,化肥、农业机械、其他要素与劳动力之间的要素替代性较强,替代弹性的平均值分别为2.54、1.11和1.05,存在较为显著的替代关系。化肥、农业机械与其他要素之间的替代关系并不十分明显,化肥、农业机械与其他要素之间的替代弹性平均值分别为0.69和0.55。化肥与农业机械之间的替代弹性平均值为-0.14,表明两者存在一定的互补关系。柑橘生产过程中生产要素之间的替代关系由强到弱依次为:化肥与劳动力、农业机械与劳动力、其他要素与劳动力、化肥与其他要素、农业机械与其他要素、化肥与农业机械。

具体而言,从柑橘生产要素之间替代弹性的平均值来看,各投入要素之间的替代关系及大小如下所示:第一,化肥与劳动力之间存在显著的替代关系,1997年以来两者的替代弹性值一直较为稳定,平均值为2.54,表明我国柑橘生产的土地生产率不断提高,主要得益于长期以来持续应用化学肥料技术,化肥对劳动力形成有效替代,化肥投入促进了柑橘单位面积产量提高,在一定程度上有效弥补了劳动力外流和果园管理水平下降对柑橘生产带来的产

量损失。第二,农业机械与劳动力之间存在较强的替代关系,两者之间替代弹性的平均值为1.11,反映出柑橘生产过程中农业机械对劳动力的替代较为明显,尤其是随着农业劳动力的不断转移和劳动力成本的不断上涨,这种替代关系日益凸显。第三,其他要素与劳动力也存在明显的替代关系,2种生产要素替代弹性的平均值为1.05,反映出农药、农膜等生产资料的使用在一定程度上替代了劳动力,但其替代强度略低于化肥和农业机械对劳动力的替代。第四,化肥、农业机械与其他要素之间替代弹性的平均值分别为0.69和0.55,且它们之间的替代关系较为稳定,反映出柑橘生产过程中化肥投入和农业机械投入对其他要素投入有一定的替代作用。尽管这两种生产要素分别代表土地节约型技术和劳动节约型技术的应用,考虑到其他要素投入包括土地、农药、农膜等物质生产资料,化肥对其他要素的替代体现在化肥要素投入在一定程度上能够弥补土地资源不足带来的产量损失,农业机械对其他要素的替代表现为柑橘生产过程中农业机械投入的增加能够减少农药、果苗、农膜、果园管理等投入。例如,柑橘果园喷药机械的应用,会有效降低单位面积农药等的浪费情况。

表3 1997—2014年中国柑橘生产要素之间的替代弹性值

Table 3 Substitution elasticity of productive factors for citrus from 1997 to 2014

年份 Year	化肥- 劳动力 Fertilizer- labor	农业机械- 劳动力 Mechanical- labor	其他要素- 劳动力 Other factors- labor	化肥- 农业机械 Fertilizer- mechanical	化肥- 其他要素 Fertilizer- other factors	农业机械- 其他要素 Mechanical- other factors
1997	2.43	1.15	1.88	-0.23	0.63	0.56
1998	1.71	1.20	0.35	0.34	0.67	0.65
1999	2.94	1.16	2.21	-0.10	0.65	0.57
2000	3.07	1.11	1.72	0.07	0.77	0.52
2001	2.78	1.04	1.53	0.16	0.85	0.49
2002	2.57	1.11	1.07	0.02	0.63	0.49
2003	2.54	1.06	1.25	0.05	0.65	0.51
2004	2.03	1.03	1.41	0.18	0.63	0.53
2005	3.16	1.03	1.38	0.26	0.68	0.50
2006	3.32	1.05	1.09	0.29	0.77	0.46
2007	3.06	1.06	0.99	-1.12	0.07	0.36
2008	2.41	1.07	1.10	-0.45	0.64	0.49
2009	2.37	1.11	0.78	-0.16	1.25	0.55
2010	2.29	1.07	0.56	0.03	0.67	0.58
2011	1.96	1.14	0.18	-0.54	0.68	0.63
2012	2.00	1.17	0.44	-1.29	0.70	0.66
2013	3.28	1.13	0.38	-0.04	0.71	0.63
2014	1.84	1.28	0.53	0.03	0.72	0.70
平均值 Mean	2.54	1.11	1.05	-0.14	0.69	0.55

最后,需要指出的是化肥与农业机械之间存在一定的互补关系,化肥与农业机械之间替代弹性的平均值为-0.14,2007年以来的大部分年份柑橘生产过程中化肥与农业机械的替代弹性值为负值,反映出两者近年来存在一定的互补性。具体分析可知,近年来柑橘生产水、肥、药一体化发展迅速,果园一般采用大型的喷雾器等农业机械进行施肥、灌溉、打药,使得化肥要素投入与农业机械要素投入存在一定的互补关系。另外,化肥投入多少和农业机械大小在一定程度上也与果园规模大小(土地面积)直接相关,柑橘生产过程中农业机械使用也需要考虑施肥多少。

3 基于要素替代视角的技术进步与增长路径

根据1997—2014年柑橘生产要素之间替代弹性值的变化趋势而言,化肥、农业机械、其他要素对劳动力要素均有显著的替代关系,反映出我国柑橘生产技术进步方向主要为劳动节约型。另外,化肥

与其他要素之间替代弹性值基本保持在0.69左右,表明我国柑橘生产过程中化学技术的应用也较为普遍,土地节约型技术也得到了一定发展。为了更清晰地反映1997年以来我国柑橘生产的增长路径趋势,本研究借鉴吴丽丽等^[4]采用土地生产率和劳动生产率配合轨迹及其斜率值(K 值)来判断农业增长路径的方法,得到了柑橘土地生产率与劳动生产率的配合轨迹 K 值(表4)。

一般而言,农业增长的路径主要有生物化学技术(BC 技术)增长路径、农业机械技术(M 技术)增长路径和“中性”技术导向路径这3种类型^[6]。根据1997—2014年我国柑橘土地生产率、劳动生产率和增长路径的 K 值变化趋势,我国柑橘生产主要为农业机械技术增长路径,柑橘发展方向以提升劳动生产率为手段来实现柑橘生产的增长。1997年以来,我国柑橘土地生产率和劳动生产率均大幅提升,分别由1997年的29 210.16元/hm²和36.74元/d增长到2014年的97 038.15元/hm²和339.06元/d,各

表4 1997—2014年中国柑橘的土地、劳动生产率及增长路径K值变化趋势

Table 4 Land productivity and Labor productivity change of the Citrus from 1997 to 2014

年份 Year	土地生产率/ (元/hm ²) Land productivity	土地生产率 增长率/% Growth rate of land productivity	劳动生产率/ (元/d) Labor productivity	劳动生产率 增长率/% Growth rate of labor productivity	地劳比率/ (d/hm ²) Land to labor ratio	K 值 K value
1997	29 210.16	3.64	36.74	(-4.96)	795.00	(-0.73)
1998	35 295.54	20.83	40.24	9.53	877.05	2.19
1999	43 867.32	24.29	64.37	59.96	681.45	0.41
2000	47 696.52	8.73	72.76	13.03	655.50	0.67
2001	53 103.00	11.34	80.64	10.83	658.50	1.05
2002	54 774.66	3.15	60.06	(-25.52)	912.00	(-0.12)
2003	54 201.96	(-1.05)	51.40	(-14.42)	1054.50	0.07
2004	48 116.94	(-11.23)	51.64	0.46	931.80	(-24.24)
2005	47 579.82	(-1.12)	99.34	92.38	478.95	(-0.01)
2006	47 641.56	0.13	77.69	(-21.79)	613.20	(-0.01)
2007	53 677.65	12.67	103.63	33.39	517.95	0.38
2008	55 358.85	3.13	99.45	(-4.04)	556.65	(-0.78)
2009	60 998.79	10.19	127.00	27.70	480.30	0.37
2010	71 027.10	16.44	186.13	46.56	381.60	0.35
2011	74 933.70	5.50	193.33	3.87	387.60	1.42
2012	76 037.20	1.47	216.91	12.20	350.55	0.12
2013	83 719.35	10.10	275.48	27.00	303.90	0.37
2014	97 038.15	15.91	339.06	23.08	286.20	0.69

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

Note: Data in bracket is negative; K=Growth rate of land productivity/Growth rate of labor productivity, K>1, K<1 and K=1 represent the growth path of BC technology, M technology and “neutral” respectively.

增加了2.32和9.23倍，反映出我国柑橘生产的劳动生产率和土地生产率均得到大幅提升，且劳动生产率的增长远远高于土地生产率。同时，我国柑橘生产地劳比率的微弱改善也在一定程度上反映出农业机械技术的应用与推广有效节约了柑橘生产过程中的劳动力投入，进而促进了柑橘劳动生产率的提高，表明我国柑橘生产的增长以提升劳动生产率为主要手段，柑橘生产的技术进步类型主要为劳动节约型。从柑橘增长路径的K值来看，除1998年、2001和2011年，其他年份我国柑橘的K值均小于1，反映出我国自1997年以来柑橘生产基本上处于通过提升劳动生产率来实现增长的导向路径。2002—2008年间K值大多为负值或处于0值左右，

主要原因在于这一阶段柑橘生产的土地生产率与劳动生产率变化方向相反，两者没有很好地匹配，但是并不影响结果判断的准确性。例如，柑橘生产的土地生产率由2003年的54 201.96元/hm²下降到2004年的48 116.94元/hm²，但是劳动生产率却由2003年的51.40元/日上升到2004年的51.64元/日，导致农业增长路径K值为负值，但是从侧面反映出2004年单位面积的柑橘果园劳动投入减少了，可以理解为采用了劳动节约型技术，与总体判断一致。

综合来看，从我国柑橘生产过程中的要素替代关系和生产技术进步方向可以推测，长期以来我国柑橘生产兼有生物化学技术和农业机械技术的应用与推广，分别对土地和劳动等生产要素形成了有效

替代,柑橘生产的增长得益于劳动生产率和土地生产率的共同提升,柑橘生产不断由传统要素带动增长向现代要素带动增长方向转变。同时,考虑到目前我国柑橘生产的机械化应用还并不普遍,我国柑橘生产过程中的农业机械要素投入还有很大的增长潜力。尤其是随着劳动力外流速度加快和成本不断上涨,未来我国柑橘生产的增长路径选择应该以节约劳动的农业机械技术导向为主,以节约土地的生物化学技术导向为辅。

4 研究结论与政策启示

借助我国7个柑橘主产区1997—2014年成本收益资料的面板数据,构建了柑橘生产的超越对数生产函数,采用随机效应模型进行了实证分析,在此基础上测算了我国柑橘各生产要素的产出弹性和生产要素之间的替代弹性,并基于要素替代视角分析了我国柑橘生产的技术进步与增长路径。得出的主要结论如下:

第一,从生产要素产出弹性值的变动趋势而言,劳动力产出弹性和农业机械产出弹性相对比较稳定,化肥产出弹性和其他要素产出弹性波动较大。具体而言,柑橘生产过程中劳动力产出弹性值基本保持在0.25左右;农业机械产出弹性值一直处于较低水平,部分年份为负值;化肥产出弹性值呈先升后降的总体趋势,且产出弹性值一直处于较低水平;其他要素产出弹性值呈现出缓慢下降之后又快速上升的整体趋势。

第二,从柑橘各生产要素之间的替代弹性值而言,柑橘生产过程中各要素之间的替代关系由强到弱的顺序依次为:化肥与劳动力、农业机械与劳动力、其他要素与劳动力、化肥与其他要素、农业机械与其他要素、化肥与农业机械。其中,化肥与劳动力、农业机械与劳动力、其他要素与劳动力之间替代弹性的平均值分别为2.54、1.11和1.05,存在较为显著的替代关系;化肥、农业机械与其他要素之间的替代关系较为稳定,化肥与其他要素、农业机械与其他要素之间的替代弹性平均值分别为0.69和0.55;值得注意的是,化肥与农业机械之间还存在一定的互补关系。

第三,我国柑橘生产过程中的节约劳动型技术进步明显,土地节约型技术进步也不断发展,未来我国柑橘增长路径选择应该以节约劳动的农业机械技术导向为主,以节约土地的生物化学技术导向为辅。

综合以上结论,研究得到的政策启示主要有:一是根据生产要素禀赋优势来选择柑橘生产技术进步的发展方向。与生产要素替代弹性相适应的技术进步才是促进柑橘产业持续增长的动力,我国柑橘技术进步方向应以节约劳动型技术为主、土地节约型技术为辅。二是重点发展省力省工的柑橘生产机械技术。随着我国农村劳动力转移和劳动力成本不断上涨,必须加快发展节约劳动型技术,使用省力、省工的农业机械技术来替代相对昂贵的劳动力已是迫在眉睫;大力发展柑橘生产机械技术,尤其是适合在山地丘陵进行作业的柑橘机械,是柑橘产业持续健康发展的必要保证。三是重视化肥、农药、农膜、无病毒苗木等生物化学技术在柑橘生产过程中的应用,但在使用农药、化肥等的同时要注重绿色环保和食品安全,尽可能使用低毒、无残留的农药,化肥施用应该科学、合理、无害。

参考文献 References

- [1] 速水佑次郎,拉坦.农业发展的国际分析[M].郭熙保,张进铭译.北京:中国社会科学出版社,2000
Hayami Y J, Ruttan V W. *Agricultural Development: An International Perspective* [M]. Guo X B, Zhang J M, translated. Beijing: China Social Sciences Publishing House, 2000 (in Chinese)
- [2] Nghiep L T. The structure and changes of technology in prewar Japanese agriculture [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1979, 61(4): 687-693
- [3] Kuroda Y. The production structure and demand for labor in postwar Japanese agriculture, 1952—1982 [J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1987, 69(2): 328-337
- [4] Khatri Y, Thirtle C G, Townsend R F. Testing the induced innovation hypothesis: An application to UK agriculture, 1953—90 [J]. *Economics of Innovation and New Technology*, 1998, 6(1): 1-28
- [5] 何爱,徐宗玲.菲律宾农业发展中的诱致性技术变革偏向: 1970—2005 [J]. *中国农村经济*, 2010(2): 84-91, 95
He A, Xu Z L. The induced technological change biases in Philippine agricultural development: 1970—2005 [J]. *Chinese Rural Economy*, 2010(2): 84-91, 95 (in Chinese)
- [6] 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(1): 377-386
- [7] 林毅夫,蔡昉.我国经济改革顺序的思考和突破口的选择 [J]. *经济社会体制比较*, 1989(3): 1-7
Lin Y F, Cai F. The thinking of China's economic reform order

- and choice of breakthrough [J]. *Comparative Economic & Social Systems*, 1989(3): 1-7 (in Chinese)
- [8] 全炯振. 中国农业的增长路径: 1952—2008年[J]. 农业经济问题, 2010(9): 10-16
Quan J Z. China's agricultural growth path: 1952—2008 [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2010(9): 10-16 (in Chinese)
- [9] 吴丽丽, 李谷成, 周晓时. 要素禀赋变化与中国农业增长路径选择[J]. 中国人口·资源与环境, 2015(8): 144-152
Wu L L, Li G C, Zhou X S. Change of factor endowment and China agricultural growth path selection [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015(8): 144-152 (in Chinese)
- [10] 周晓时, 李谷成, 吴丽丽. 转型期我国农业增长路径与技术进步方向的实证研究: 基于大陆 28 省份的经验证据[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2015(5): 40-47
Zhou X S, Li G C, Wu L L. Study on agricultural growth paths and direction of technical progress during transition: An empirical test based on 28 provinces in mainland China [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2015(5): 40-47 (in Chinese)
- [11] 魏金义, 祁春节. 农业技术进步与要素禀赋的耦合协调度测算[J]. 中国人口·资源与环境, 2015(1): 90-96
Wei J Y, Qi C J. Coupling coordination degree analysis of the agricultural technology progress and factor endowment in China [J]. *China Population, Resources and Environment*, 2015(1): 90-96 (in Chinese)
- [12] 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 Sciences Edition*, 2014(2): 16-23 (in Chinese)
- [13] 赵文, 程杰. 农业生产方式转变与农户经济激励效应[J]. 中国农村经济, 2014(2): 4-19
Zhao W, Cheng J. Changes in modes of agricultural production and the economic incentive effects to farmers' households in China [J]. *Chinese Rural Economy*, 2014(2): 4-19 (in Chinese)
- [14] 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)
- [15] 尹朝静, 范丽霞, 李谷成, 吴丽丽. 劳动力成本上升背景下油菜生产发展方式转型研究[J]. 中国农业大学学报, 2015(6): 297-304
Yin C J, Fan L X, Li G C, Wu L L. Research on the transformation of rape production mode as the growth of labor cost [J]. *Journal of China Agricultural University*, 2015(6): 297-304 (in Chinese)
- [16] 胡浩, 杨泳冰. 要素替代视角下农户化肥施用研究: 基于全国农村固定观察点农户数据[J]. 农业技术经济, 2015(3): 84-91
Hu H, Yang Y B. Study on farmer's application of chemical fertilizer from the perspective of factor substitution: Based on the household data of national rural fixed observation point [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015(3): 84-91 (in Chinese)
- [17] 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)
- [18] 王林辉, 袁礼. 要素丰裕度、技术进步偏向性与中国农业部门要素收入分配结构[J]. 东北师大学报: 哲学社会科学版, 2015(1): 70-80
Wang L H, Yuan L. Factor abundance, directed technical change and the factor income distribution structure of agricultural in China [J]. *Journal of Northeast Normal University: Philosophy and Social Sciences*, 2015(1): 70-80 (in Chinese)

责任编辑: 王岩