

不同规模玉米种植技术效率差异分析

——基于随机前沿生产函数与农户微观数据的研究

瞿若频, 吴永常, 张琳

(中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100000)

摘要: 基于黑龙江、辽宁、河北和山东4个省的372组调研数据, 运用倾向得分匹配法和随机前沿模型得到玉米种植农户生产效率模型, 依据最大似然检测判断不同规模玉米种植户的生产效率模型, 分别估算农户生产效率模型和生产效率水平。结果表明, 匹配前的大规模农户效率高于小规模农户, 匹配后结果相反。以研究结论为基础, 本文为难以改变或不愿意改变玉米种植面积的农户提供效率水平提升的参考依据和建议。

关键词: 玉米; 技术效率; 随机前沿模型; 倾向得分匹配

中图分类号: S513

文献标识码: A

Analysis on Technical Efficiency Difference of Maize Farmers

—Evidence from Stochastic Frontier Analysis and Farmers' Micro Data

QU Ruo-pin, WU Yong-chang, ZHANG Lin

(Institute of Agricultural Economics and Research, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100000, China)

Abstract: This paper is based on 372 sets of survey data from four provinces in China: Heilongjiang, Liaoning, Hebei, and Shandong. The propensity score matching method and stochastic frontier model are used to obtain a production efficiency model for maize farmers. Based on a maximum likelihood detection, production efficiency models for different sizes of maize farmers are determined, and the production efficiency model and level of farmers are estimated separately. The results indicate that the efficiency of large-scale farmers before matching is higher than that of small-scale farmers, while the results after matching are opposite. Based on the research conclusions, this paper provides reference and suggestions for improving the efficiency levels of farmers who are reluctant or unwilling to change the area of maize cultivation.

Key words: Maize; Technical efficiency; Stochastic production frontier model; Propensity score matching

玉米是重要的粮食作物,也是畜禽饲料的主要原料。国家统计局数据显示,2019年我国玉米种植面积为6.2亿 hm^2 ,产量达2 607.8亿kg,占全球玉米总产量的1/5^[1]。纵观我国玉米70年生产面积变化,1949年以来总体呈上升趋势,2015年峰值达到6.7亿 hm^2 。2016年国家玉米临时收储政策改革,玉米播种面积下滑。多年来,我国粮食以传统生产方式为主,随着劳动力、种子、化肥等生产资料价格不断提高,农户种植积极性有所下降。在此背景下,提

高农户生产积极性和生产效率是保障玉米产量的有效途径之一。

玉米生产技术效率是农业经济领域的研究重点,部分学者对玉米种植技术效率开展了时间序列演变研究,表明我国玉米生产技术效率整体呈增长趋势^[2-4],研究表明,玉米生产技术效率平均90%,水平较高,不存在明显的效率损失^[5,6]。赵贵玉等^[7]结合两种模型分析全要素生产效率,认为生产效率呈周期性变化,且每一周期的技术效率对不同产区的玉米生产率影响不同,部分地区技术效率仍有待提升。针对玉米生产效率的要素影响,学者们开启了玉米最佳经营规模的探索。早期研究认为,扩大土地经营规模有助于提升产量,追加肥料、种子和使用农机对提升产量的效果有限^[8]。近期研究发现,玉米生产效率与种植规模之间呈先上升后下降的倒“U”型关系^[9-11]。进一步研究表明,生产面积小于

录用日期: 2022-08-08

基金项目: 2022年创新工程项目(10-IAED-07-2022)、2022年基本科研业务费(1610052022005)

作者简介: 瞿若频,女,博士,主要研究方向为农业经济管理。

E-mail: tsqr@126.com

张琳为本文通信作者。E-mail: zhanglin03@caas.cn

6.67 hm²时,经营规模与技术效率的倒“U”形关系才成立^[12]。还有学者提出,玉米的最佳种植规模为873.3~966.7 hm²,资源配置合理的条件下,适度扩大种植规模能有效提升农业生产效率^[13]。也有学者关注农户兼业与农村互联网应用对生产效率的影响,表明农户的兼业对玉米生产效率有负影响,互联网发展则能显著提升玉米的全要素生产率^[14,15]。可见,有关玉米生产效率的研究视角广、成果多,生产规模是生产效率问题的重点与难点。我国农民多以小农生产为主,本文重点研究无法改变或不愿改变种植面积的玉米户生产效率,提出效率提升建议。

随着乡村振兴战略的实施与供给侧结构性改革的推进,适度规模经营、提升技术效率和保障农户的生产积极性成为三农问题的重点和难点。在此背景下,本文利用随机前沿模型(SFA),分析种植面积大的农户(以下称大户)与种植面积小的农户(以下称小户)之间的效率差异,基于分析结果得出大户与小户提升效率的建议。由于农业生产效率对随机误差和天气条件的变化非常敏感,本文将非效率项分配给随机错误与无效项的SFA模型以获取更有效的结果。同时,为了更正由年龄、性别、受教育程度等因素产生的非效率,本文将采用倾向得分匹配法(PSM)来纠正两类农户由自身条件产生的效率差异。现有文献对玉米生产技术效率的研究已有丰富成果,普遍针对地域差异或时间差异的调查,对玉米生产规模与生产效率之间关系的研究集中在同一生产技术水平下的效率差异,未将不同规模农户之间存在的技术差异进行区分。本文对4个玉米主产省的农户调研数据进行实证研究,进一步完善已有研究成果。

1 模型设定

Aigner、Lovell 和 Schmidt(1977)^[16]提出的 SPF 模型:

$$y_i = f(x_i, \beta) \xi_i e^{v_i} \quad (1)$$

$$e^{v_i} = v_i - u_i$$

将所有的投入与产出用统一的货币单位表示,每项投入的替代性强,极大似然值测试后,选Cobb-Douglas函数作为生产函数,两边取对数展开如下:

$$\ln(Y_i) = \beta_0 + \sum_{j=1}^6 \beta_j \ln x_i + \omega_i \quad (2)$$

其中,ln是自然对数, Y_i 是第*i*个农户种植玉米每667 m²的收益。对于玉米未全部售出的农户,按照该农户销售价格计算收益。收益以货币单位计算,有助于区分农户之间玉米质量的差异以及不同

规模农户之间议价能力的差异。 x_i 是总投入,由化肥、农药、种子、播种、灌溉、翻土、收获、其他投入8类构成,按每667 m²成本(元)计算。 β_0 是常数项; β_j 是待估参数; ω_i 是服从指数分布的随机扰动项。

根据模型,技术效率由以下公式得出:

$$TE_i = \frac{Y_i}{e^{f(x_i, \beta) + v_i}} = \exp(-U_i) = Y_i / Y_i^* \quad (3)$$

式中, Y_i 表示第*i*个农户的实际收益, Y_i^* 被称为“前沿”,使用相同的投入项时最大可能收益。当误差项为0时,第*i*个农户的效率为1。

模型基于一个基本假设,即所有农户共用同一生产前沿,事实可能并非如此。如接受过农业合作社技术指导的农户与未加入合作社的农户具有不同的生产前沿。根据Bravo Ureta等^[17]检验技术差距的公式,可采用似然比检验,公式如下:

$$LR = -2 \times [\ln Lp - (\ln Ls + \ln Lp)] \quad (4)$$

式中,lnLp表示所有样本的对数似然值;lnLs表示大户的对数似然值;lnLs表示小户的对数似然值,原假设为所有农户的技术水平相同,而拒绝原假设即技术水平不同,需为两类农户估算各自的技术前沿。估算公式:

$$\text{大户: } \ln(Y_i) = \partial_0 + \sum_{j=1}^6 \partial_j \ln x_i + \alpha_i \quad (5a)$$

$$\text{小户: } \ln(Y_i) = \eta_0 + \sum_{j=1}^6 \eta_j \ln x_i + \tau_i \quad (5b)$$

式中, Y_i 和 x_i 的定义如上描述; α_i 和 τ_i 是随机扰动项; η_j 和 ∂_j 是待估参数; ∂_0 和 η_0 是常数项。

种植规模的是自主选择的结果,同一个农户种植不同面积时的效率无法比较,效率是农户自身条件和面积共同作用的结果。倾向得分匹配法可消除自身原因内生性,将自身条件相似、生产规模不同的农户匹配起来,消除自身条件的影响,检验生产面积大小引起的效率差异,公式如下:

$$S_i^* = \alpha Z_i + e_i \quad (6)$$

式中, S_i^* 是第*i*个农户的倾向得分; α 是待估参数; Z_i 是该农户的自身条件因素,由农户的年龄(年)、性别(虚拟变量)、受教育年限(年)、家庭劳动力数量(个)、有无兼职(虚拟变量)组成。处理变量为种植面积大小,为虚拟变量,大户取1,小户取0, e_i 为随机扰动项。

通过匹配,更好地观察不同种植面积的净效应。在PSM应用中,使用二元选择模型(本文选用的logit模型)生成一个分数,得分相似的农户表示具有相似特征,在效率研究中匹配他们的分数更具说服力。

在实现PSM时,可使用多种技术来匹配农户的分数^[17]。以往的研究中,最近邻匹配技术是PSM模型最常用的技术^[18,19],能有效地减少选择偏差,本文选择1次匹配4个临近农户,卡尺设定0.01,确保邻居倾向性得分间差异不超过1%。为减少遗漏样品数量,可接受替换,每个农户可多次被匹配。

2 数据来源

我国玉米主产区相对集中,以东北、华北地区为主,国家统计局显示,黑龙江、辽宁、山东和河北4个省的玉米种植面积占全国的1/4。本文选择这4个省的玉米种植农户展开分析。

2018、2019年对农户进行实地调研,调研人员由中国农业科学院、山东、辽宁、河北省农业科学院以及东北农业大学的科研人员组成,通过入户调查对农户进行面对面访谈,2018年开展预调研,2019年5–11月进行调研。调研发现,4个省的玉米种植机械化程度较高,种植工艺与所需人工较为相似。受气候影响,东北的播种时间早于华北,但收获季节接近,对生产效率并未产生显著影响,因此可以将4个省进行统一对比。调研通过随机抽样的方式在黑龙江、吉林、山东和河北4个省,每个省抽两个县,每

个县抽1个乡镇5个村,每个村抽10个玉米生产农户,完成400份问卷,其中有效问卷372份,问卷包括农户2018、2019年粮食生产和销售情况。

3 描述性统计与结果分析

3.1 描述性统计

根据国家统计局和第3次全国国土调查数据显示,2020年4个省的农村人均耕地面积占有量分别为23.7、6.6、2.6和3.0 hm²,按每户2~3人计算,户均耕地面积约20 hm²。结合调研结果,19.5 hm²以上和19.5 hm²以下农户数量相当,将小于或等于19.5 hm²的农户归为小户,其他归为大户,小户和大户数量分别为187个和185个。使用logit模型生成倾向得分,产生302个匹配样本,包括149个大户和153个小户。倾向得分匹配的指标描述性统计结果如下(表1和表2)。为确保信息的一致与准确性,描述性统计是指户主的数据。

倾向得分指标描述性统计结果显示,匹配前小户户主年龄更大、男性参与种植更多、家庭劳动力更少。匹配后除兼职外其他指标的差值均有不同程度的缩小,且0.1%和1%的水平上仍然显著。调查农户平均年龄52岁以上,老龄化程度较高;小户的受

表1 倾向得分的各指标描述性统计(匹配前)

Table 1 Descriptive statistics of propensity scores for each indicator(before matching)

变量名称 Variable name	小户(均值) Small farmer(average)	大户(均值) Large farmer(average)	均 差 Average differences	t 值 t value
户主年龄(岁)	57.436	52.452	4.984***	4.593
性别(男=1,女=0)	0.697	0.930	-0.233***	-6.048
受教育年限(年)	3.146	3.011	0.135	0.544
家庭劳动力(个)	1.676	1.914	-0.239***	-2.680
兼职(有=1,无=0)	0.319	0.364	-0.045	-0.908
样本量	185	187		

注:*表示 $P<0.05$,**表示 $P<0.01$,***表示 $P<0.001$ 水平上差异显著。下表同。
Note: *, **, *** denote significant differences level at $P<0.05$, $P<0.01$, $P<0.001$, respectively. The same below.

表2 倾向得分的各指标描述性统计(匹配后)

Table 2 Descriptive statistics of propensity scores for each indicator(after matching)

变量名称 Variable name	小户(均值) Small farmer(average)	大户(均值) Large farmer(average)	均 差 Average differences	t 值 t value
户主年龄(岁)	57.224	53.954	3.270***	2.922
性别(男=1,女=0)	0.784	0.919	-0.135***	-3.347
受教育年限(年)	3.092	3.181	-0.090	-0.318
家庭劳动力(个)	1.699	1.859	-0.160*	-1.666
兼职(有=1,无=0)	0.294	0.349	-0.055	-1.019
样本量	153	149		

教育年限在匹配前高于大户,匹配后则相反,但差异不显著,从受教育年限来看均不超过4年,未达到小学毕业水平;匹配前后小户家庭劳动力数量均少于大户。受访农户中兼业情况较为普遍,占调研农户的30%;从种植人员性别来看,两组数据均显示男性参与玉米种植多于女性。

得分倾向匹配的共同支撑假设检测结果(图1、图2)和平衡性假设检测结果(图3)显示,得分倾向匹配后共同支撑区域大幅增长,各项变量匹配后差异有所降低,满足得分倾向匹配共同支撑假设和平衡性假设,匹配成功且有效。

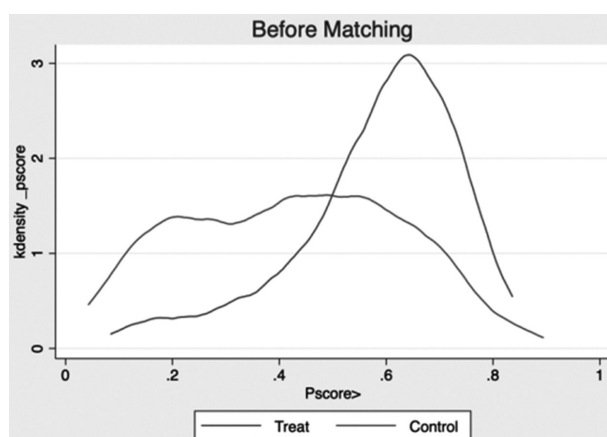


图1 匹配前核密度

Fig.1 Kernel density before matching

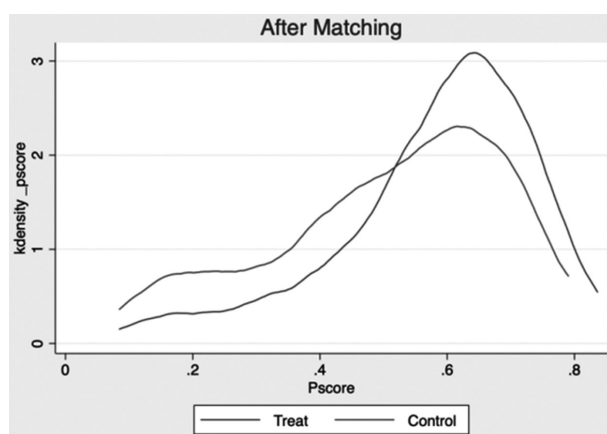


图2 匹配后核密度

Fig.2 Kernel density after matching

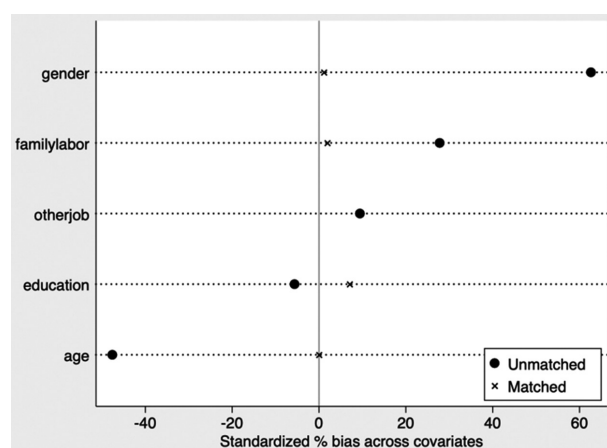


图3 匹配后平衡性检测

Fig.3 Balance test after matching

效率估算的变量描述性统计结果(表3、表4)显示,匹配前后小户在农药、播种、灌溉和收获方面的支出显著高于大户,但在种苗、翻土和其他方面的支出则显著偏低,两组农户每亩玉米收益和肥料支出差异不显著。匹配后的均差在程度上较匹配前整体

缩小,但正负不变。可见,玉米种植亩均收益与农户种植面积大小相关性较弱,要素投入却与种植面积相关性较强。不管是大户还是小户均可通过调整生产资料投入结构提升种植效率。

表3 随机前沿生产函数的各指标描述性统计(匹配前)
Table 3 Descriptive statistics of various indicators of random frontier production function (before matching)

变量名称 Variable name	小户(均值) Small farmer (average)	大户(均值) Large farmer(average)	均 差 Average differences	t 值 t value
每亩收益(元/ln)	6.663	6.718	-0.055	-1.235
肥料(元/ln)	4.917	4.897	0.020	0.338
农药(元/ln)	3.395	2.946	0.450***	5.579
种子(元/ln)	3.820	3.967	-0.147**	-1.991
播种(元/ln)	3.162	2.647	0.516***	4.854
灌溉(元/ln)	3.090	1.350	1.740***	9.028
翻土(元/ln)	1.380	2.525	-1.145***	-6.467
收获(元/ln)	4.158	3.837	0.320***	3.174
其他(元/ln)	0.254	1.112	-0.858***	-6.057
样本量	181	179		

表4 随机前沿生产函数的各指标描述性统计(匹配后)
Table 4 Descriptive statistics of various indicators of random frontier production function (after matching)

变量名称 Variable name	小户(均值) Small farmer (average)	大户(均值) Large farmer(average)	均 差 Average differences	t 值 t value
每亩收益(元/ln)	6.673	6.721	-0.048	-0.974
肥料(元/ln)	4.939	4.893	0.046	0.741
农药(元/ln)	3.395	3.010	0.386***	4.288
种子(元/ln)	3.792	3.986	-0.194**	-2.292
播种(元/ln)	3.135	2.698	0.437***	3.827
灌溉(元/ln)	3.156	1.337	1.819***	8.531
翻土(元/ln)	1.321	2.549	-1.228***	-6.318
收获(元/ln)	4.178	3.919	0.259**	2.529
其他(元/ln)	0.294	0.963	-0.670***	-4.394
样本量	149	142		

3.2 实证结果分析

运用Stata15.0进行随机前沿生产函数对相关参数进行极大似然值估计,结果表明(表5),在对所有数据进行了极大似然值估计后,首先用极大似然值检测模型适用性,统一组的极大似然值为-179.320,而线性模型下的极大似然值为-192.044,根据公式(4)进行检验,得到结果-25.446,可以在0.001的水平上拒绝随机前沿模型和线性模型相同的假设,证明随机前沿生产函数的适用性,同时由 $\sigma^2_{(v)}$ 和 $\sigma^2_{(u)}$ 值也可证明生产非效率来自非效率项和扰动项,无效率项显著造成了效率低下,适合使用SFA进行估算;其

次,对不同规模农户分别进行极大似然值估算,依次得到极大似然值-56.170和-101.281,根据公式(4)进行计算,得到检验值90.221,可以在0.001的水平上拒绝不同规模农户的技术水平相同的假设,得到不同规模农户技术水平不同的结论,即大户与小户有不同的“生产前沿”,并依据公式(5a)和(5b)分别对两类农户的生产技术效率参数进行估算。

对不同规模农户生产技术效率参数进行估算,结果表明,匹配前后小户与统一组的参数正负向较为一致,而两类农户的参数指向则截然不同(表5)。小户增加肥料投入显著降低了效率,而大户则可提

高效率,尤其是匹配后的大农户。增加农药投入使得小户提高了效率,而大户影响则不显著。种子和播种投入在匹配前均能提高大户的效率、降低小户的效率,匹配后显著程度则消失。灌溉对所有农户的效率都呈显著负向影响,对匹配后的小户影响不显著,说明玉米种植户在灌溉上投入偏多,降低了效率。翻土、收获和其他费用对效率的影响则不显著。

表5 各组农户生产技术效率参数估计
Table 5 Estimation of production technology efficiency parameters for each group of farmers

	匹配前 Before matching			匹配后 After matching		
	统一组 Pooled	大农户 Large farmer	小农户 Small farmer	统一组 Pooled	大农户 Large farmer	小农户 Small farmer
肥料(ln)	-0.140*** (-3.41)	0.121 (1.87)	-0.153** (-2.83)	-0.135** (-2.64)	0.142* (2.10)	-0.153* (-2.08)
农药(ln)	0.0738** (2.70)	-0.00175 (-0.05)	0.0924* (2.07)	0.0829** (2.85)	0.0194 (0.76)	0.105* (2.14)
种子(ln)	-0.0271 (-0.89)	0.109* (2.34)	-0.0407 (-1.03)	-0.0572 (-1.69)	0.0655 (1.64)	-0.0634 (-1.36)
播种(ln)	-0.00137 (-0.07)	0.0233 (1.19)	-0.136* (-2.14)	-0.00358 (-0.15)	0.0134 (0.83)	-0.110 (-1.60)
灌溉(ln)	-0.0517*** (-4.11)	-0.0342* (-2.18)	-0.0502* (-2.38)	-0.0435** (-3.11)	-0.0329** (-2.79)	-0.0450 (-1.83)
翻土(ln)	-0.00708 (-0.48)	-0.0173 (-0.94)	-0.0104 (-0.43)	0.00739 (0.45)	0.00802 (0.45)	-0.00476 (-0.17)
收获(ln)	0.0248 (1.19)	0.0392 (1.56)	0.00748 (0.22)	0.00712 (0.28)	0.0118 (0.49)	-0.000829 (-0.02)
其他(ln)	0.0204 (1.37)	0.0102 (0.65)	0.0515 (1.50)	0.00978 (0.59)	-0.0144 (-0.98)	0.0526 (1.43)
常数项	7.529*** (32.39)	5.779*** (15.31)	8.046*** (25.13)	7.653*** (28.68)	5.934*** (16.60)	8.037*** (21.17)
$\sigma^2_{\nu}(\ln)$	-2.359*** (-19.13)	-2.721*** (-16.31)	-2.081*** (-12.32)	-2.481*** (-17.88)	-4.216*** (-12.07)	-2.029*** (-11.24)
$\sigma^2_{\omega}(\ln)$	-2.694*** (-11.83)	-3.085*** (-9.81)	-2.896*** (-7.02)	-2.589*** (-11.31)	-2.613*** (-10.29)	-2.812*** (-6.55)
样本量	370	179	181	291	142	149

注:括号中是t值。
Note: t value is in parentheses.

根据表5给出的生产效率公式,适当减少肥料投入、有效增加农药投入、大幅降低灌溉投入可提高玉米种植农户生产效率。适当增加肥料、农药和种子投入,降低灌溉投入可有效提升大户生产效率。小户提升效率的方式与统一组类似,差异是小户还应适当减少播种投入。由于本文所有投入产出均以每667 m²进行衡量,分析结果显示,肥料和灌溉因用量投入过多致使效率偏低,其可能的原因有两种,一是化肥和灌溉投入过多,二是化肥和灌溉投入成本相对该农户过高。通过适当增加投入以提高效率的变量,一种可能是该变量的价格对农户来说偏低,增

加投入不等同追加用量,可以从提升变量的质量角度来进行调整。用每667 m²花销作为投入项能反映农户的玉米质量和议价能力,因此对不同规模农户来说对比更加鲜明。在实际运用中,应考虑该农户投入量与购买价格,以更好的提高效率。

针对每组技术效率函数估算出的平均技术效率水平(表6),统一组的平均技术效率在匹配前后均未达到0.8,其中,大户的效率在匹配前后均高于小户,但差异不显著。当分别估算两类农户的技术效率函数并预测技术效率时,大户的效率在匹配前显著高于小户,而在匹配后则显著低于小户。不同规模农

户拥有独立的“生产前沿”,其平均效率是相对各自的“前沿”而言的,不能在对方的前沿下做对比,大户匹配前的效率于小户。匹配后,则相反,表明排除农户自身条件因素后,小户效率更高,精耕细作的经营方式更接近生产前沿。

表6 平均技术效率水平
Table 6 Average technical efficiency level

项 目 Item		统一组 Pooled	大农户 Large farmer	小农户 Small farmer	均 差 Average differences
匹配前	统一组	0.796	0.800	0.796	0.003
	分别组		0.826	0.811	0.015**
匹配后	统一组	0.788	0.791	0.785	0.006
	分别组		0.789	0.805	-0.017**

4 结论与讨论

本文基于玉米主产区黑龙江、辽宁、河北和山东4个省的372组调研数据分别估算了两类农户的生产效率模型和生产效率水平,结果表明,统一估算玉米种植户的技术效率时,农户的技术效率水平无显著差异,分别估算农户的效率模型时,倾向得分匹配前的大户效率优于小户,而匹配后则刚好相反。基于实证检验结果,本文得出以下结论:

不同规模农户所面对的生产前沿不同,即便小户更加接近自己的生产前沿,也存在由于大户技术前沿高于小户,与本身生产前沿相比得分有较低的可能。

影响农户技术效率的因素主要是肥料、农药与灌溉成本,不同农户匹配前后的效率差异也可能由农户的年龄与劳动力差异产生。在现有技术水平上提高效率,大户应适当增加肥料支出、减少灌溉支出,小户应当减少肥料和灌溉的支出,增加农药的支出。

研究以每667 m²的支出作为基本单位,增加支出不等同于追加农药和肥料的用量,而是要根据实际情况,考虑是提高用量还是提高投入品质量。尽管本文采取了得分倾向匹配法来降低不同规模农户间自身条件之间的差异,但差异仍然存在。因此,不能忽略年龄、性别和家庭劳动力对生产效率所造成的影响。

类似研究中,有学者对比过苹果种植户中,合作社成员与非合作社成员的技术效率差异,根据合作社提供的服务类型不同,对技术效率的改善程度也不同^[20];参与合作社技术效率更高^[21]。研究中以货币衡量技术效率,表明提高苹果种植户的市场议价能力并不能显著提升技术效率。本文同样用货币衡

量农户技术效率,无法明确提升农户的技术水平或市场议价能力可有效提升技术效率,这一问题将作为今后研究的重点。综上分析,针对无法改变种植面积的玉米种植户提出了以下的建议:

加强合作社服务内容和质量管理,鼓励农户参与合作社,合作社致力于解决农户生产销售过程中现实问题,以有效提升农户技术效率。

加大政策扶植力度,鼓励年轻人从事粮食生产,提高玉米种植户自身农业经营能力和专业玉米种植农户的比重,提高种植户综合素质以增强效率。

持续推进高标准农田建设,完善耕地基础设施建设,减少因灌溉费用过高导致大幅降低玉米种植效率。

实证分析结果表明,不同规模农户的效率水平均高于0.78,接近理想的生产前沿,因此,加快玉米科技研发、改善玉米种植的生产技术也是提高效率的有效措施。

参考文献:

[1] 《中国统计年鉴-2018》编委会和编辑出版人员《中国统计年鉴-2018》编委会和编辑出版人员[Z].中国统计年鉴,2018 .

[2] 吴 园,李 波,郝艳睿. 基于随机前沿模型的中国玉米种植业技术效率实证研究[J]. 玉米科学,2019,27(4):181-188 .
WU Y, LI B, HAO Y R. Empirical study on technical efficiency of China's corn planting industry based on stochastic frontier models [J]. Corn Science, 2019, 27(4): 181-188. (in Chinese)

[3] 钟 鑫,张忠明,王 琛,等. 中国玉米核心优势区技术效率及技术进步模式研究——基于2000-2013年的省际面板数据[J]. 玉米科学,2016,24(1):166-172 .
ZHONG X, ZHANG Z M, WANG C, et al. Research on the technical efficiency and technological progress model of China's corn core advantage areas: Based on provincial panel data from 2000 to 2013[J]. Journal of Maize Sciences, 2016, 24(1): 166-172 (in Chinese)

[4] 赵红雷,贾金荣. 中国玉米生产技术效率分析:2001-2008——基于随机前沿生产函数[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版),

- 2011, 11(5): 56-61.
- ZHAO H L, JIA J R. Analysis of technical efficiency of corn production in China: 2001-2008- based on stochastic frontier production function[J]. Journal of Northwest A&F University(Social Science Edition), 2011, 11(5): 56-61. (in Chinese)
- [5] 郭志超. 我国玉米生产函数及技术效率分析[J]. 经济问题, 2009, 363(11): 74-78.
- GUO Z C. Analysis of corn production function and technical efficiency in China[J]. Economic Issues, 2009, 363(11): 74-78. (in Chinese)
- [6] 谭晓婷, 李洪鑫, 王凤山. 土地托管对玉米生产技术效率的影响研究[J]. 玉米科学, 2020, 28(3): 173-179.
- TAN X T, LI H X, WANG F S. Research on the impact of land trusteeship on corn production technology efficiency[J]. Journal of Maize Sciences, 2020, 28(3): 173-179. (in Chinese)
- [7] 赵贵玉, 王 军, 张越杰. 基于参数和非参数方法的玉米生产效率研究——以吉林省为例[J]. 农业经济问题, 2009, 350(2): 15-21, 110.
- ZHAO G Y, WANG J, ZHANG Y J. Research on corn production efficiency based on parametric and non-parametric methods: a case study of Jilin province[J]. Agricultural Economic Issues, 2009, 350(2): 15-21, 110. (in Chinese)
- [8] 亢 霞, 刘秀梅. 我国粮食生产的技术效率分析——基于随机前沿分析方法[J]. 中国农村观察, 2005(4): 25-32.
- KANG X, LIU X M. Analysis of technical efficiency in grain production in China: Based on stochastic frontier analysis method[J]. China Rural Observation, 2005(4): 25-32. (in Chinese)
- [9] 张忠明, 钟 鑫. 耕地细碎化对不同规模农户生产技术效率的影响分析——基于辽宁省新民市 266 户农户数据[J]. 广东农业科学, 2017, 44(4): 152-159.
- ZHANG Z M, ZHONG X. Analysis of the impact of farmland fragmentation on the production technology efficiency of farmers of different scales: based on data from 266 households in Xinmin city, Liaoning province[J]. Guangdong Agricultural Science, 2017, 44(4): 152-159. (in Chinese)
- [10] 周书灵, 张英彦. 玉米生产效率的微观测度及对比分析——基于玉米主产区 868 个地块的调研[J]. 玉米科学, 2018, 26(2): 15.
- ZHOU S L, ZHANG Y Y. Micro measurement and comparative analysis of corn production efficiency: Based on a survey of 868 main corn production areas[J]. Journal of Maize Sciences, 2018, 26(2): 15. (in Chinese)
- [11] 孙 艳, 石志恒, 孙鹏飞. 规模经营能否提高种植大户的经营效率——以甘肃玉米种植大户为例[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(3): 78-84.
- SUN Y, SHI Z H, SUN P F. Can Scale management improve the operating efficiency of large corn planters in Gansu province[J]. China Agricultural Resources and Zoning, 2019, 40(3): 78-84. (in Chinese)
- [12] 张清学, 李佳辰, 周慧秋. 农户玉米生产技术效率及影响因素研究——基于黑龙江省农村固定观察点数据[J]. 玉米科学, 2021, 29(5): 178-183, 190.
- ZHANG Q X, LI J C, ZHOU H Q. Research on the technical efficiency and influencing factors of corn production by farmers - based on fixed observation point data in rural areas of Heilongjiang province[J]. Journal of Maize Sciences, 2021, 29(5): 178-183, 190. (in Chinese)
- [13] 姜宇博, 李 爽. 粮食主产区农机合作社生产效率与适度规模经营研究——以黑龙江省玉米生产为例[J]. 农业现代化研究, 2016, 37(5): 902-909.
- JIANG Y B, LI S. Research on production efficiency and moderate scale operation of agricultural machinery cooperatives in major grain production areas: taking corn production in Heilongjiang province as an example[J]. Agricultural Modernization Research, 2016, 37(5): 902-909. (in Chinese)
- [14] 顾冬冬. 兼业降低了农户玉米生产的技术效率吗?——来自河南省 511 个玉米种植户的证据[J]. 资源开发与市场, 2020, 36(9): 981-987.
- GU D D. Has part-time farming reduced the technical efficiency of farmers' corn production—— Evidence from 511 corn growers in Henan province[J]. Resource Development and Market, 2020, 36(9): 981-987. (in Chinese)
- [15] 王 博, 张永强, 宫思羽, 等. 农村互联网发展对中国玉米全要素生产率的影响[J]. 浙江农业学报, 2021, 33(12): 2435-2445.
- WANG B, ZHANG Y Q, GONG S Y, et al. The impact of rural internet development on China's total factor productivity of corn[J]. Acta Agriculturae Zhejiangensis, 2021, 33(12): 2435-2445. (in Chinese)
- [16] AIGNER D, LOVELL C A K, SCHMIDT P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models[J]. Journal of Econometrics, 1977, 6(1): 21-37.
- [17] WEBBER, DON J. Handbook on impact evaluation: quantitative methods and practice[J]. Economic Issues, 2011.
- [18] A M G, D B U B C, F D S E, et al. The impact of high value markets on smallholder productivity in the Ecuadorian Sierra: a stochastic production frontier approach correcting for selectivity bias[J]. Food Policy, 2014, 44(2): 237-247.
- [19] ABDULAI A N, ABDULAI A. Examining the impact of conservation agriculture on environmental efficiency among maize farmers in Zambia[J]. Environment & Development Economics, 2017, 22 (PT.2): 177-201.
- [20] QU R, WU Y, CHEN J, et al. Effects of agricultural cooperative society on farmers' technical efficiency: evidence from stochastic frontier analysis[J]. Sustainability, 2020, 12.
- [21] MA W, RENWICK A, YUAN P, et al. Agricultural cooperative membership and technical efficiency of apple farmers in China: An analysis accounting for selectivity bias[J]. Food Policy, 2018.

(责任编辑: 栾天宇)