

引用格式:张永强,蒲晨曦,王珏,等. 化肥投入效率测度及归因——来自20个玉米生产省份的面板证据[J]. 资源科学, 2018, 40(7): 1333-1343. [Zhang Y Q, Pu C X, Wang Y, et al. The efficiency estimation of fertilizer input and attribution——panel evidence from 20 corn producing provinces[J]. *Resources Science*, 2018, 40(7): 1333-1343.] DOI :10.18402/resci.2018.07.02

化肥投入效率测度及归因 ——来自20个玉米生产省份的面板证据

张永强, 蒲晨曦, 王珏, 王荣, 彭有幸

(东北农业大学经济管理学院, 哈尔滨 150030)

摘要:在保障粮食安全的现实背景下,如何通过化肥的减量施用来保证粮食生产效率不变乃至有所提高是本文研究的目的。本文基于中国20个玉米生产省份2004—2015年的面板数据,运用超越对数函数模型测算出全国以及各省玉米生产中的化肥投入效率,并利用Tobit模型进一步对全国、东、中、西部地区化肥投入效率影响因素进行分析比较,研究结果表明:全国玉米生产效率为0.754,化肥投入效率均值为0.448,节肥潜力巨大;中国玉米种植规模、化肥价格、农业补贴与玉米化肥投入效率显著正相关,而农业保护政策与玉米化肥投入效率显著负相关。分区域而言,东部地区化肥价格与化肥投入效率正相关,玉米种植规模与化肥投入效率负相关;中部地区化肥价格、农业补贴与化肥投入效率正相关,非农劳动就业率与化肥投入效率负相关;西部地区化肥价格与玉米化肥投入效率正相关,农业保护政策与玉米化肥投入效率负相关。

关键词:玉米生产;超越对数函数;化肥投入效率;区域差异化

DOI :10.18402/resci.2018.07.02

1 引言

2015年3月,农业部提出“化肥使用量零增长”的发展目标,通过有机肥代替化肥,优化施肥结构,改善施肥方式等措施来提高科学施肥水平。2017年中央一号文件也指出深入推进化肥零增长行动,促进农业“清洁生产”。当前化肥的过量施用制约了粮食生产能力的发展,过量施用化肥不仅会引起土壤板结,导致土地生产能力下降,土壤残留的化肥还会随着雨水的冲刷流入河流,引起水体富营养化。2015年,中国农用化肥折纯量达到6022.60万t,化肥投入达到362.06kg/hm²,是国际化肥安全施用上限(225kg/hm²)的1.6倍。化肥最开始是粮食安全并促进其持续增产的重要保障,由于中国耕地地力有限,化肥的施用对粮食增产的贡献率在40%左右^[1]。然而近年来化肥施用对粮食增产影响不再显著^[2]。例如1998—2013年全国小麦主产区的化肥投入效

率维持在45%左右^[3]。针对化肥施用过量的问题,学者们展开了讨论,纪月清等检验了小麦、水稻、玉米三种粮食作物施用化肥是否显著过量,发现小麦化肥过量施用程度最高,水稻次之,玉米最低^[4]。史常亮等研究得出目前农户的实际化肥施用量已经超过了经济意义上的最优水平^[5]。栾江通过计量模型的相关测算,发现农户过量施用化肥的行为虽然不符合经济理性人的研究假设,但是已经成为了种植业的一种常态^[6]。郑微微等经过研究江苏省的小麦和稻谷的化肥施用量,得出在保证农户经济利益的前提下,小麦和稻谷各能实现14.13%和44.15%的化肥减量目标^[7]。因此无论是从粮食安全的角度还是从生态环境保护的角度,农户过量施肥都存在较大的危害。

本文在化肥施用过量的理论和现实双重背景下,对2004—2015年全国以及20个玉米生产省的

收稿日期:2017-10-23;修订日期:2018-03-07

基金项目:国家软科学项目(2014GXS2D017);哈尔滨市科技局软科学重点项目(2017AC9QT010);黑龙江省软科学研究项目(GC15D111)。

作者简介:张永强,男,内蒙古包头人,博士,教授,博士生导师,主要研究方向为农业经济管理。E-mail: zyqlss@126.com

玉米化肥投入效率进行测算,与已有文献相比,增加了时效性,侧重于供给侧改革背景下如何在保障粮食安全的同时实现资源有效利用并有效控制面源污染持续恶化的现状,从农户个人禀赋和外部环境两个角度进行分析,总结7个影响化肥投入效率的因素,利用Tobit模型进一步得出化肥投入效率的主要影响因素并分析得出引起东中西三大区域间存在差异化的影响因素。

2 研究方法与研究假设

2.1 研究方法

参照Reinhard^[8]的思想,化肥的投入效率主要是指按照当前生产要素的投入水平下作物产出数量不变,生产时化肥最小可能投入量与化肥实际投入量的比值,从而计算出化肥最大可能削减率。在现实情况中,玉米的投入和产出并不总在最优状态下,进行普通的回归只能得到平均的玉米生产技术效率。由于前沿生产函数所有投入产出都位于生产前沿面,投入要素处于成本最小的状态,产出也处于现有技术条件下的最优规模。因此前沿生产函数往往处于传统生产函数的上方。由图1可以得出,假设玉米生产函数有两种生产要素投入(化肥投入和其它投入)一个产出(y)。SS'是生产前沿曲线,AA'为等产量线,Q与Q'都是生产前沿面的点,Q'点是效率最优点,在这一点上产量最优,成本最小。P点由于不处于生产前沿面上,是效率无效点,因此玉米生产技术效率为 OQ'/OP 。当玉米产量达到最优状态,且其它投入水平不变,化肥投入量 F 的下降会引起产量发生变化,玉米最优产量随之下降至实际的产量水平。因此,该化肥投入量 F^c 为生产

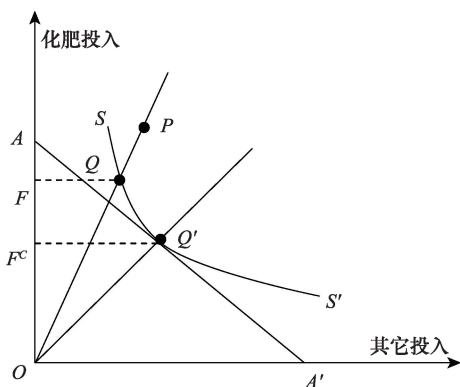


图1 生产投入要素的技术效率

Figure 1 Production factors' technical efficiency

玉米所需要的最小投入量,与实际化肥投入量相比,则可计算出化肥的投入效率。

2.2 研究假设

农户作为理性经济人,会在自身特征与外部环境的约束下,有效配置资源,达到生产最大化。然而外部性的相关理论却表明,化肥作为一种负外部性的生产投入要素,私人的最优施用量往往会高于社会最优施用量。因此,从社会效益来说,农业生产存在化肥过量施用的现象。化肥施用的行为与农户个人条件、生产及社会环境密不可分,当前针对化肥投入效率的影响因素研究集中于:①研究生产环境对化肥投入效率影响。气温和降水量的变化对于不同区域的化肥投入效率存在不同的影响^[9]。农户耕地质量也是影响农户施肥量的重要因素^[10]。②讨论个人及家庭禀赋对化肥投入效率影响,肖新成等从农户微观的角度证明了种植榨菜的农户对于过量施肥危害的认知和规避意愿越高,越趋向于减少施肥量^[11]。此外,史常亮等、仇焕广等、诸培新等学者分别研究了农户风险规避、受教育年限、技术培训次数、家庭经营耕地规模、转入的土地经营规模以及土地流转期限都会影响到化肥的投入效率^[13,12,13]。此外,农户的非农就业也会提高化肥的消费强度,从而加剧面源污染^[14]。③探讨市场环境对化肥投入的影响。化肥价格的差异化以及农资市场信息的不对称导致“理性无知”的农户选择过量施用化肥^[4]。在化肥价格补贴政策的引导下,农户当前使用化肥的成本远低于化肥的实际成本,农户倾向于用化肥要素替代其它生产要素,从而导致化肥的过度施用^[15]。垂直协作方式^[16](农户和经销商签订联系紧密的合约)、农产品上年价格以及农药、农机的价格都对农户施用化肥量具有显著的正向作用^[17]。另外,农业补贴政策对化肥投入效率的影响也引起了学者们的讨论,李海鹏等认为农资综合补贴政策激励农户过量施肥,加剧了对环境的污染^[18]。也有研究认为,农业补贴政策并没有使化肥面源污染情况更加恶化^[19]。

从上述研究中可以看出农户化肥投入行为作为一种生产性投资行为,受到众多综合性的因素影响。本文基于经验分析与已有的研究结论、数据的可得性,主要从两方面讨论影响农户化肥投入的因素:

2018年7月

(1)内部影响因素。主要是指农户的基本特征,包括非农就业率,玉米种植规模,农户收入水平。

非农就业率,即农业劳动力向非农劳动力转变的过程中出现了农业劳动力老龄化、女性化的倾向,为了保证粮食生产的稳定,农户会选择投入更多的化肥替代劳动力。同时由于玉米生产过程中施肥次数较多,劳动成本要求更高,为了减少劳动成本,农户往往选择减少施肥次数,增加施用量。因此假设劳动力的非农就业率越高,单位面积化肥投入量随之增加,化肥投入效率降低。

玉米种植规模,随着种植面积的增加,农户兼业的可能性越小,玉米生产的集约化程度越高,农户可能会选择更合理高效的生产方式,有利于节肥技术的推广,单位面积的生产成本得到控制,从而减少单位面积化肥的施用量,提高化肥投入效率。

农户收入水平,农户收入提高,对化肥投入效率存在两方面的影响:一方面是农户会更倾向于购买和施用更多的化肥以期达到粮食增产的生产预期,降低化肥投入效率;另一方面则是农户作为一个理性经济人,在经济较为宽裕的情况下,会选择施用高质量的化肥,从而提高化肥投入效率。

(2)外部影响因素,主要指外部环境对农户的化肥施用行为造成的影响,包括:化肥价格、农业补贴,农业环保政策,机械费用。

化肥价格,化肥价格偏高,农户容易增加机械、农药等其它要素的投入,并且选择有机肥和农家肥等来替代化肥,有利于化肥投入效率的提高。

农业补贴,农业补贴的增加一定程度地缓解了化肥购买资金约束的情况,在没有正确政策引导的情况下,农户可能存在过量投入化肥的行为。

农业环保政策,当前针对农田化肥面源污染防治具有代表性的政策是测土配方施肥政策,该政策

2005年开始正式在全国各个省市推行,有利于引导农户培养合理施肥的意识。农户在接受化肥施用配方后,会调整化肥投入量,从而提高化肥的投入效率。

机械费用,当农业劳动力呈现出递减的趋势时,生产环节外包等社会化服务的兴起,机械能够替代劳动力进行部分的耕作,节约劳动力成本以及生产资料成本,化肥投入效率将会有所提高。

3 模型设定与数据说明

3.1 模型设定

测算单一产出生产函数的估计方法,一般含有参数估计(如SFA)和非参数估计(如DEA)两种方法。SFA是随机前沿生产函数的简称,随机前沿生产函数最开始应用于农业技术效率的研究中^[20],后来逐渐有学者将SFA引入具体一种投入要素的测算。研究对象有:农业灌溉用水效率^[21]、农药施用效率^[22]等。化肥是农业生产尤其是粮食生产的重要投入因素,将其引入SFA模型,考虑省际层面的粮食产出与化肥投入、劳动力、资本之间的关系。C-D生产函数和超越对数函数都是SFA的常用形式。由于SFA的结果高度依赖函数形式,会因为选择不同的生产函数形式而产生不同的分析结果。因此需要进行两种函数的适用性检验,一般采取的方法是广义似然比(LR)检验。检验方法为 $LR = -2 \times [\ln(H_0) - \ln(H_1)]$,并将LR统计量和混合卡方分布的临界值 $X_{1-0.05}^2(K)$ 作比较。具体检验结果参见表1。

因此,由检验1可知,随机前沿模型具有适用性,LR统计量(141.34)大于5%显著性水平下的混合卡方分布临界值(7.05),通过适用性检验,模型设定为:包含时间变量的超越对数函数,具体形式为:

表1 函数设定的假设检验

Table 1 The hypothesis testing of function specification

检验	零假设: H_0	LIF	LR	自由度K	$X_{1-0.05}^2(K)$	结果
检验1:不选择随机前沿生产函数	$H_0: r=0$	182.51	141.34	3	7.05	拒绝
检验2:采用C-D生产函数	H_0 :二次项系数全为零	248.82	8.70	3	7.05	拒绝
检验3:不存在技术变化	$H_0: \beta_r = \beta_{rr} = \beta_{rk} = \beta_{rl} = 0$	246.28	21.78	3	7.05	拒绝
检验4:技术变化不是希克斯中性	$H_0: \beta_{rk} = \beta_{rl} = 0$	253.55	-0.76	3	7.05	接受
检验5:技术效率不随时间变化	$H_0: \eta = 0$	246.72	12.90	2	5.14	拒绝

$$\begin{aligned} \ln Y_{it} = & \beta_0 + \beta_F \ln F_{it} + \beta_K \ln K_{it} + \beta_L \ln L_{it} \\ & + \beta_T T + \frac{1}{2} \beta_{FF} (\ln F_{it})^2 + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K_{it})^2 \\ & + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L_{it})^2 + \frac{1}{2} \beta_{TT} T^2 + \beta_{FK} \ln F_{it} \ln K_{it} \quad (1) \\ & + \beta_{FL} \ln F_{it} \ln L_{it} + \beta_{KL} \ln K_{it} \ln L_{it} \\ & + \beta_{TF} T \ln F_{it} + \beta_{TK} T \ln K_{it} + \beta_{TL} T \ln L_{it} \\ & + v_{it} - u_{it} \end{aligned}$$

式中 Y_{it} 为玉米产量 (kg/hm^2); F_{it} 为化肥折纯量 (kg/hm^2); K_{it} 表示除化肥费用以外的其他物质与服务费用 ($\text{元}/\text{hm}^2$); L_{it} 为单位面积人工成本 ($\text{元}/\text{hm}^2$); T 为时间变量; $\beta_0 - \beta_{TL}$ 为待估参数; $v_{it} \sim N(0, \sigma_v^2)$ 为影响生产活动的随机变量; $u_{it} \sim N(m_{it}, \sigma_u^2)$ 且 $u_{it} \geq 0$, 为技术无效率项, 主要测量的是技术非效率条件下, 实际产出 Y_{it} 与最大可能产出 $f(X_{it}, \beta)$ 之间的距离。

技术效率损失函数表示为:

$$m_{it} = Z_{it} \cdot \delta \quad (2)$$

式中 Z_{it} 为影响生产单位 i 时间 t 的技术效率水平的外生性因素; δ 为待估计的参数向量, 反映变量 Z_{it} 对技术效率的影响。为了解决随机变量 $v_{it} - u_{it}$ 的估计结果由于样本观测值的统计误差和技术效率不一致的问题, 由 Greene 等提出了最大似然估计的方法, 利用 Battese & Corra 变换, 将参数 $\sigma^2 = \sigma_v^2 + \sigma_u^2$ 以及 $\gamma = \sigma_u^2 / (\sigma_v^2 + \sigma_u^2)$ 代替了观测误差方差 σ_v^2 和技术效率方差 σ_u^2 。因此变差率 γ 的取值介于 0 和 1 之间, 通过对变差率 γ 的计算, 可以检验随机前沿生产函数的适用性, 当 γ 趋近 1 时, 生产性前沿误差主要是由技术无效率项 u_{it} 引起, 随机误差 v_{it} 的作用很小, 随机前沿模型适用性高。

$$TE_{it} = \frac{E(Y_{it} | u_{it}, X_{it})}{E(Y_{it} | u_{it} = 0, X_{it})} = \exp(-u_{it}) \quad (3)$$

式中 TE_{it} 为玉米的生产技术效率, 即代表着实际产出均值与理论最大均值的比值。

假设 $u_{it} = 0$, 即不存在无效率生产, 此时的投入产出均处于生产前沿面。倘若此时化肥投入 F_{it} 减少到最小值 F_{it}^c , 其它生产投入不变, 则产出 $Y_{it}' = f(F_{it}^c, L_{it}, K_{it})$

$$\begin{aligned} \ln Y_{it}' = & \beta_0 + \beta_F \ln F_{it}^c + \beta_K \ln K_{it} + \beta_L \ln L_{it} \\ & + \beta_T T + \frac{1}{2} \beta_{FF} (\ln F_{it}^c)^2 + \frac{1}{2} \beta_{KK} (\ln K_{it})^2 \\ & + \frac{1}{2} \beta_{LL} (\ln L_{it})^2 + \frac{1}{2} \beta_{TT} T^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + \beta_{FK} \ln F_{it}^c \ln K_{it} + \beta_{FL} \ln F_{it}^c \ln L_{it} \\ & + \beta_{KL} \ln K_{it} \ln L_{it} + \beta_{TF} T \ln F_{it}^c \\ & + \beta_{TK} T \ln K_{it} + \beta_{TL} T \ln L_{it} + v_{it} - u_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

此时 Y_{it}' 与 Y_{it} 两项产出值相等, 公式 (4) 减去公式 (1) 可得:

$$\begin{aligned} & \beta_F (\ln F_{it}^c - \ln F_{it}) + \beta_{FF} [(\ln F_{it}^c)^2 - (\ln F_{it})^2] \\ & + \beta_{FL} \ln L_{it} (\ln F_{it}^c - \ln F_{it}) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} & + \beta_{FK} \ln K_{it} (\ln F_{it}^c - \ln F_{it}) + \\ & \beta_{TF} T (\ln F_{it}^c - \ln F_{it}) + u_{it} = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \beta_F (\ln F_{it}^c - \ln F_{it}) + \beta_{FF} (\ln F_{it}^c - \ln F_{it})^2 \\ & + \beta_{FL} \ln F_{it} (\ln F_{it}^c - \ln F_{it}) \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & + \beta_{FL} \ln L_{it} (\ln F_{it}^c - \ln F_{it}) \\ & + \beta_{FK} \ln K_{it} (\ln F_{it}^c - \ln F_{it}) + u_{it} = 0 \end{aligned}$$

又因为化肥投入效率可以表示为 $\ln FE_{it} = \ln(F_{it}^c / F_{it}) = \ln F_{it}^c - \ln F_{it}$, 其中化肥的生产弹性 $\partial \ln Y_{it} / \partial \ln F_{it} = \beta_F + \beta_{FF} \ln FE_{it} + \beta_{FK} \ln K_{it} + \beta_{FL} \ln L_{it} + \beta_{TF} T = \theta_F$, 经过整理, 可得出化肥的投入效率公式 (7)。一般情况来说, 当技术效率处于有效的情况, 投入要素效率包括化肥投入效率也是有效的, 因此公式 (7) 中的根号取为正号。

$$\ln FE_{it} = \left(-\theta_F \pm \sqrt{\theta_F^2 - 2\beta_{FF} u_{it}} \right) / \beta_{FF} \quad (7)$$

3.2 数据来源与说明

本文从多投入单产出的角度上, 对中国 20 个玉米生产省份 2004—2015 年的面板数据以及全国玉米总生产数据进行实证分析, 通过构建玉米单一作物所需要的化肥、劳动力以及资本投入三种投入和最终产出之间的关系, 利用超越对数函数计算得出玉米生产效率。需要特别说明的一点是, 土地成本也是投入要素的主要组成部分, 但是由于本文的投入产出数据均是在单位土地面积的基础上计算的, 因此本次讨论不需要考虑土地投入。玉米的产出数据主要是由每公顷玉米产量来衡量的, 化肥投入、劳动力投入、资本投入则分别是以每公顷化肥折纯量、人工成本、扣除化肥以外的其他物质与服务费用 (下文简称化肥、劳动、其他费用) 来表示。其中劳动和其他费用均是价值量, 因此以 2004 年为基期进行了价格平减, 以上数据均是来自于 2005—

2018年7月

2016年的《全国农产品成本收益资料汇编》^[23]。

基于前文的研究假设,影响玉米化肥投入效率的因素为非农就业率、玉米种植规模、农户收入水平、化肥价格、农业补贴、农业环保政策、机械费用。其中,非农就业率=(乡村从业人员-第一产业从事人口数)/乡村人口。由于玉米仅仅只是一种粮食作物,种植玉米的农户无法代表所有生产粮食的农户。所以采取了2004—2015年各个省份玉米产量与总粮食产量的比例对乡村户数进行了调整,因此玉米的种植规模即为玉米播种面积/调整后的乡村户数。农户的收入水平则是以农村居民人均纯收入进行表示。化肥价格是由当期的每亩化肥金额与每亩的化肥折纯量相除所得。农业补贴则是以2004—2015年四项农业补贴(粮食直补、良种补贴、农资综合补贴、农机购置补贴)总额所表示的。机械费用则是由单位面积机械成本所表示。影响因素相关的数据来源于2005—2016年的《全国农产品成本收益资料汇编》^[23]、《中国统计年鉴》^[24]、《中国农村统计年鉴》^[25]。由于乡村户数、乡村从业人员与第一产业从事人数、农村居民人均纯收入自2012年以后没有统一的数据,均是由各个省份的统计年鉴以及调查年鉴整理得出,农业四项补贴总金额则是来自文献^[26]。为了消除价格水平波动的影响,农村居民人均纯收入、化肥价格、机械费用都以各年份和各省份的相应价格指数(2004年=100)进行折算。

4 结果分析

4.1 玉米的化肥投入效率分析

采用Frontier 4.1软件包计算玉米生产效率,该软件的运行步骤如下:首先利用OLS对技术效率进行估计,一旦发现技术无效率,则可以利用格点搜索法按照OLS法估计得出的参数值,继续进一步迭代,最终运用极大似然值估计法估计得出最终值,因此,估计结果见表2。

由于 γ 的值为0.776,说明模型总体效果较好,即混合误差项有77.62%的因素可以用技术无效率来解释,其余的部分则是因为随机误差项 u_{it} 产生。通过分析表2两种估计方法的各变量系数符号以及显著性可以得到:OLS估计结果显示,其他费用和劳动的一次项系数以及二次项系数均为显著,其中其

表2 估计结果

Table 2 The results of estimation

变量	普通OLS估计		极大似然估计	
	系数值	标准误	系数值	标准误
$\ln F_{it}$	-0.650	1.657	-1.361	0.838
$\ln K_{it}$	-3.310***	0.794	1.091	0.836
$\ln L_{it}$	1.276***	0.539	-0.424	0.564
$\ln T$	0.015	0.064	0.043	0.042
$[\ln F_{it}]^2$	-0.285	0.390	-0.113	0.276
$[\ln K_{it}]^2$	0.508***	0.120	0.038	0.108
$[\ln L_{it}]^2$	-0.156***	0.057	-0.021	0.061
$[\ln T]^2$	-0.002***	0.001	-0.001***	0.001
$\ln F_{it} \times \ln K_{it}$	0.121	0.351	-0.108	0.270
$\ln F_{it} \times \ln L_{it}$	0.401***	0.177	0.507***	0.182
$\ln L_{it} \times \ln K_{it}$	-0.264***	0.087	-0.186***	0.099
$T \times \ln F_{it}$	-0.012	0.023	-0.006	0.016
$T \times \ln K_{it}$	-0.014	0.012	0.003	0.010
$T \times \ln L_{it}$	0.025***	0.009	-0.002	0.007
常数值	10.857***	2.387	6.345**	1.311
σ^2	0.015		0.026 365 5***	0.004
γ			0.776 188 0***	14.428
似然函数值	0.015		253.177	
似然比检验 单侧值			141.342	

注:*, **, ***分别表示在10%、5%、1%的显著性水平通过t检验。

他费用的一次项系数为负,二次项系数为正,说明长期的资本投入才能有效提升玉米产量;劳动的一次项系数为正,二次项系数为负,则证明玉米生产需要的劳动投入随着时间的增长在逐渐减少。极大似然估计结果表明,化肥、其他费用、劳动一次项系数和二次项系数虽然在统计意义上并不显著,但是其系数符号仍然可以判断和玉米产量的关系。化肥一次项系数、二次项系数均为负数,证明化肥施用量的持续增加会影响玉米产量的提高;其他费用一次项系数、二次项系数均为正数,说明增加资本投入对玉米产量提高有着正向影响;劳动一次项系数、二次项系数均为正数,证明玉米生产中的劳动力投入需求量在不断减少。另外时间变量一次项系数不显著,二次项系数显著,说明在样本期间,玉米生产量变化不大;化肥与劳动的交互项系数显著且为正数,说明两者存在互补性。劳动与其他费用的交互项系数显著且为负数,说明玉米生产并不需要加大劳动以及其他费用的投入来提高产量。

对公式(4)求导,可以得出化肥的生产弹性 $\theta_F = \partial \ln Y_{it} / \partial \ln F_{it} = \beta_F + \beta_{FF} \ln F_{it} + \beta_{FL} \ln L_{it} + \beta_{FK} \ln K_{it} + \beta_{TF} T$, 其他费用生产弹性 $\theta_K = \partial \ln Y_{it} / \partial \ln K_{it} = \beta_K + \beta_{KK} \ln K_{it} + \beta_{FK} \ln F_{it} + \beta_{LK} \ln L_{it} + \beta_{TK} T$, 劳动生产弹性 $\theta_L = \partial \ln Y_{it} / \partial \ln L_{it} = \beta_L + \beta_{LL} \ln L_{it} + \beta_{FL} \ln F_{it} + \beta_{LK} \ln K_{it} + \beta_{TL} T$, 省际化肥弹性值均值为0.361, 由于20个省份是玉米主要生产省, 形成了规模生产的效应, 其弹性值高于全国化肥弹性值(0.311), 玉米生产省份的劳动生产弹性均值(0.219)也比全国的数值更高(0.192)。由图2可以发现化肥和劳动生产弹性均呈现了先升后降的趋势, 由于弹性数值小于1, 产量增加的幅度则小于两种生产要素增加的幅度, 在此时若继续追加两种投入, 将使玉米的平均产量降低。其他费用的弹性值均是负值, 总体呈现了下降的趋势, 表示其他费用的投入的增加是负效用, 不仅不能提高玉米的产量, 反而会导致其产量下降。

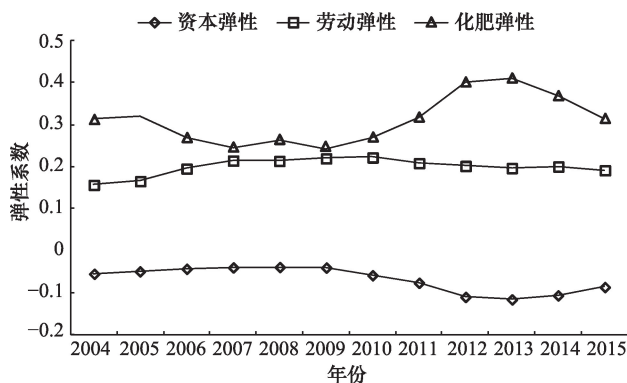


图2 2004—2015年各投入要素的产出弹性均值变化趋势

Figure 2 The variation trend of input factors' output elasticity from 2004 to 2015

通过模型估计得到全国以及20个省份的玉米生产无效率项 u_{it} , 利用公式(3)可以求出全国以及20个省份的玉米生产效率, 然后将估计的 u_{it} 值以及化肥弹性 θ_F 带入公式(7)计算得出全国以及相应省份的化肥投入效率。其中全国的玉米生产效率和化肥投入效率如图3所示, 样本期间玉米生产效率均值为0.754, 化肥投入效率均值为0.448, 与杨增旭等1996—2006年的研究结果^[27](玉米生产效率均值0.856, 化肥投入效率均值0.452)相比, 两者均有所下降。化肥投入效率波动较大, 在2004—2009年呈现缓慢下降的趋势, 2010—2013年呈现出上升的趋

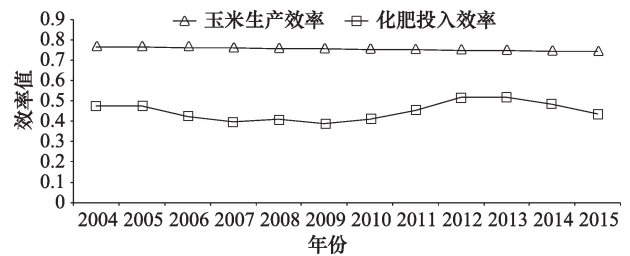


图3 2004—2015年全国玉米生产效率和化肥投入效率变化趋势

Figure 3 The variation trend of national corn production efficiency and fertilizer input efficiency from 2004 to 2015

势, 但是2013年以后化肥投入效率持续下降。

2004—2015年全国玉米化肥投入效率均值为0.448, 即从侧面证明了在当前的技术条件下还能再节约55%左右的化肥投入量, 并且当前化肥的投入效率远低于玉米的生产效率, 因此当前随着化肥投入效率的提高, 玉米的生产效率也能得到改善, 减少化肥的投入量并不会对玉米的产出造成负面的影响。

表3则显示了20个玉米生产省份以及分区域化肥投入效率的具体数值。由全国以及各个省份的数据可以发现2004年以后无论是全国还是各个省份的化肥投入效率都呈现了缓慢上升的趋势, 但是在2013年以后呈现了下降的趋势。从地区上来看, 呈现了“西高东低”的趋势。其中, 东部地区的化肥投入效率最低, 达到0.37, 中部地区的化肥投入效率为0.40, 也低于全国平均水平, 西部的化肥投入效率最高, 达到了0.58。具体原因将在化肥投入效率影响因素的分析中进行讨论。

化肥投入效率均值最高的省份是新疆(0.88), 是全国化肥投入效率均值(0.45)的2倍左右。效率均值最低的省份是黑龙江省, 效率均值为0.09。出现这一结果的原因在于新疆光热资源充足、昼夜温差大有利于玉米的生长, 新疆玉米单产在各省玉米单产产量中位居前列, 化肥的施用有利于改善氮磷养分缺失的土壤条件, 提高土地肥力。新疆的玉米化肥弹性均值为0.16, 即增加1%的化肥投入, 粮食产量随之增加16%, 再加之新疆的玉米种植有专门负责技术推广的人员进行技术指导, 故新疆玉米生产技术较全国而言更加先进, 玉米种植的化肥投入效率也较高。然而黑龙江省虽然土壤肥沃, 富含钾元素。但是, 黑龙江施肥结构却是不合理的, 2014年

2018年7月

表3 2004—2015年中国玉米生产省份化肥投入效率值

Table 3 The value of chemical fertilizer efficiency input in corn producing provinces in China from 2004 to 2015

年份	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	均值
河北	0.32	0.34	0.33	0.30	0.29	0.30	0.34	0.37	0.44	0.47	0.45	0.43	0.36
山西	0.64	0.64	0.61	0.58	0.64	0.62	0.65	0.68	0.70	0.71	0.69	0.67	0.65
内蒙古	0.43	0.45	0.28	0.28	0.37	0.35	0.27	0.37	0.42	0.38	0.29	0.22	0.34
辽宁	0.32	0.32	0.29	0.27	0.27	0.24	0.28	0.33	0.42	0.44	0.35	0.27	0.32
吉林	0.58	0.50	0.41	0.36	0.35	0.28	0.35	0.45	0.57	0.57	0.55	0.48	0.45
黑龙江	0.09	0.12	0.08	0.07	0.06	0.07	0.06	0.10	0.13	0.13	0.09	0.05	0.09
江苏	0.33	0.34	0.29	0.26	0.28	0.26	0.33	0.38	0.45	0.47	0.44	0.42	0.35
安徽	0.39	0.49	0.45	0.41	0.45	0.42	0.43	0.44	0.52	0.45	0.42	0.31	0.43
山东	0.51	0.54	0.47	0.47	0.41	0.35	0.37	0.44	0.52	0.55	0.50	0.46	0.47
河南	0.47	0.47	0.41	0.35	0.37	0.40	0.41	0.45	0.51	0.50	0.46	0.36	0.43
湖北	0.48	0.46	0.42	0.39	0.39	0.37	0.40	0.43	0.50	0.47	0.45	0.41	0.43
广西	0.30	0.31	0.30	0.32	0.30	0.29	0.33	0.37	0.43	0.43	0.39	0.36	0.34
重庆	0.58	0.60	0.59	0.58	0.58	0.56	0.57	0.59	0.62	0.62	0.61	0.58	0.59
四川	0.51	0.53	0.43	0.39	0.47	0.42	0.47	0.51	0.56	0.57	0.56	0.54	0.50
贵州	0.38	0.40	0.37	0.39	0.39	0.41	0.41	0.44	0.48	0.49	0.48	0.46	0.43
云南	0.46	0.47	0.45	0.44	0.44	0.42	0.44	0.44	0.50	0.50	0.49	0.47	0.46
陕西	0.45	0.44	0.42	0.42	0.41	0.36	0.37	0.43	0.49	0.51	0.49	0.47	0.44
甘肃	0.73	0.75	0.74	0.74	0.76	0.74	0.75	0.77	0.79	0.80	0.79	0.78	0.76
宁夏	0.64	0.61	0.59	0.58	0.62	0.61	0.61	0.63	0.69	0.64	0.62	0.58	0.62
新疆	0.92	0.91	0.90	0.88	0.90	0.89	0.92	0.89	0.93	0.91	0.89	0.61	0.88
均值	0.48	0.48	0.44	0.42	0.44	0.42	0.44	0.48	0.53	0.53	0.50	0.45	0.47
全国	0.47	0.48	0.42	0.40	0.41	0.39	0.41	0.45	0.52	0.52	0.48	0.44	0.45
东部	0.36	0.37	0.34	0.32	0.31	0.29	0.33	0.38	0.45	0.47	0.43	0.39	0.37
中部	0.44	0.45	0.38	0.35	0.38	0.36	0.37	0.42	0.48	0.46	0.42	0.36	0.40
西部	0.58	0.59	0.56	0.55	0.57	0.55	0.57	0.59	0.63	0.63	0.61	0.56	0.58

黑龙江省氮磷钾的施肥结构为1.00:0.59:0.43^[28]。黑龙江省玉米施肥一直以氮肥为主,磷肥和钾肥偏少,导致了化肥对玉米产量的增长作用不明显,化肥弹性值低,投入效率维持在9%的低水平,这与刘钦普通过计算各省化肥使用强度与环境安全阈值的比值得出新疆属于化肥施用合理,黑龙江属于化肥施用不足的结论保持一致^[29]。

4.2 影响因素分析

将上文得出的各省化肥投入效率作为因变量,化肥投入效率的影响因素作为自变量,对全国、东部地区、中部地区、西部地区分别进行分析,进一步得出各地区之间玉米化肥投入效率出现差异化的原因。由于化肥投入效率值的取值范围是[0,1],属于受限变量,为了避免结果出现有偏和不一致,利用受限因变量的面板Tobit模型代替了最小二乘法。

Tobit模型用于解决化肥投入效率的数值处于分割或片段(截断)状态,因此Tobit模型以分段函数表示为:

$$FE = \begin{cases} FE^* & 0 \leq FE^* \leq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

$$FE^* = \delta_0 + \sum_i \delta_{ii} Z_{ii} + \varepsilon_{ii}$$

式中 FE 为化肥投入效率;外生变量 Z_{ii} 为影响化肥投入效率的变量,包括了非农就业率、玉米种植规模、农户收入水平等农户内部影响因素,化肥价格、农业补贴、农业环保政策、机械费用等外部影响因素; δ_0 为待估参数; ε_{ii} 为服从正态分布的随机扰动项。其中农业环保政策是由2005年以后在全国推广的测土配方施肥政策来表示的,该变量用虚拟变量来表示(2004年变量值取0,2005—2015年变量值取1)。

表4显示了具体的回归结果,从各个变量的参数估计值及其系数符号可以得出以下结论:

表4 全国玉米化肥投入效率影响因素回归分析结果

Table 4 The regression analysis result of influencing factors of corn fertilizer input efficiency in China

变量	参数估计值	标准差	T值
非农就业率	-0.147	0.115	-1.270
玉米种植规模	0.009*	0.005	1.720
农户收入水平	0.173E-04	0.113E-04	1.520
化肥价格	0.055***	0.015	3.760
农业环保政策	-0.031**	0.014	-2.240
农业补贴	0.408E-12***	0.120E-12	3.400
机械费用	-0.130E-04	0.815E-04	-0.160
常数项	0.308***	0.092	3.360
σ_u	0.160***	0.027	5.890
σ_e	0.051***	0.002	20.850
γ	90.870		
似然比检验	110.660		

注: *、**、***分别表示在10%、5%、1%的显著性水平通过t检验。

(1)玉米种植规模与玉米化肥投入效率显著正相关,符合前文的研究假设,即种植规模越大,节肥技术更易于推广,并且由于规模生产的需要,农业专业化程度高,有利于实现资源的优化配置,提高化肥的投入效率。

(2)化肥价格与玉米化肥投入效率显著正相关,符合前文的研究假设,即化肥价格增高,农户更倾向于选择增加农药、机械等的投入或者使用农家肥以及有机肥的施用量,使化肥投入量以及施用结构趋于合理。

(3)农业补贴与玉米化肥投入效率显著正相关。农业补贴的增加促进农户购买高质量的化肥,有利于化肥投入效率的提高。这与侯玲玲等得出农业补贴政策并未显著增加化肥的投入量^[18]的研究结果一致。

(4)农业保护政策(测土配方施肥政策)与玉米化肥投入效率显著负相关,与前文的研究假设不一致。测土配方施肥政策主要是农户在农业科技人员的指导下科学使用配方肥,但是由于该政策是以全国试点性建设工作开展,并不具有广泛性和连续性,配方施肥的农户仍然多年按照同一配方施肥,或者干脆不施用配方肥,反而降低了土地的生产能力,阻碍了玉米化肥投入效率的提高。

除此之外,非农转移率、农户的收入水平、机械费用虽然在统计意义上不显著,但是系数的正负值表明其基本上符合原假设。

4.3 区域差异化分析

在对全国样本数据进行Tobit模型回归的基础上,进一步将20个玉米生产省份分为东部、中部、西部三个区域,并且逐一对其进行回归分析。

具体结果如表5所示。东部地区的玉米投入效率在三个地区中处于最低水平。其中,化肥价格与玉米化肥投入效率显著正相关,与全国的回归结果保持了一致,但是玉米的种植规模与化肥的投入效率显著负相关,区别于全国的回归结果,究其原因,主要是因为东部地区经济水平发达,玉米的播种面积及产量偏小,例如江苏省2015年玉米总产量占全省粮食产量的7.08%,因此,玉米的规模种植效应应在东部地区并不显著。

表5 分区域回归结果

Table 5 The sub-regional regression results

变量	东部	中部	西部
常数项	0.550*** (0.176)	0.164 (1.430)	0.419*** (0.138)
非农就业率	-0.014 (0.189)	-0.463* (0.243)	-0.054 (0.128)
玉米种植规模	-0.086*** (0.016)	0.010 (-0.760)	-0.007 (0.014)
农户收入水平	0.214E-04 (0.209E-04)	0.140E-04 (1.090)	-0.190E-04 (0.239E-04)
化肥价格	0.006*** (0.033)	0.025*** (3.530)	0.068** (0.021)
农业环保政策	-0.033 (-1.100)	0.025 (-1.230)	-0.022** (0.018)
农业补贴	0.240E-12 (0.209E-12)	0.216E-12*** (0.582E-12)	0.479E-12 (0.211E-12)
机械费用	0.002 (6.000E-4)	0.900E-04 (0.110)	0.000 (4.000E-4)

注:非括号内是参数估计值,括号内是标准误。*、**、***分别表示在10%、5%、1%的显著性水平通过t检验

中部地区的玉米化肥投入效率影响变量中,除了化肥价格显著正相关以外,非农就业率与化肥投入效率存在负相关的关系,即说明中部的非农劳动力的转移比例较高,从事玉米生产的人数减少,化肥投入量随之增加,从而导致化肥投入效率下降。另外,农业补贴与化肥投入效率显著正相关,中部地区种植玉米的农户倾向于购买更高质量的化肥,促使化肥投入效率有所提高。

西部地区作为玉米化肥投入效率最高的地区,常数项系数、化肥价格系数以及农业环保政策系数均存在显著性。其中农业环保政策系数为负值,说

2018年7月

明农业环保政策(测土配方施肥政策)在西部地区推行状况不好,因而与化肥投入效率呈现了显著的负相关关系。

5 结论与政策含义

本文运用超越对数函数测算出中国全国及20个玉米生产省份的玉米生产效率值与化肥投入效率值。在假设影响化肥投入效率因素的基础上,利用Tobit模型分别定量分析了全国以及东、中、西三个地区各个影响因素对玉米化肥投入效率的影响程度。本文关于玉米化肥投入效率及其影响因素区域差异化分析的研究结果表明:

(1)全国玉米生产效率为0.754,化肥投入效率均值为0.448,节肥潜力巨大。其中,全国玉米生产效率在2004—2015年呈现持续下降的趋势,全国化肥投入效率在2013年以前呈现了缓慢上升的趋势,但是在2014—2015年有所下降,根据对化肥投入效率的影响因素分析,得出2014—2015年化肥投入效率的下降主要是因为化肥价格和环保政策的影响,尤其是化肥价格受到补贴政策的抑制,处于一种持续走低的状态。在区域之间化肥投入效率表现出了“西高东低”的地区差异性,原因在于东部地区的玉米种植规模有限且地块较为分散,单位面积化肥投入量较中西部高,化肥投入效率相比之下更低。中部的非农就业率(均值0.38)高于西部地区的非农就业率(0.34),因此对化肥投入效率产生负效应高于西部地区。

(2)影响中国玉米化肥投入效率的显著性因素有玉米种植规模、化肥价格、农业补贴以及农业保护政策。玉米种植规模、化肥价格、农业补贴与玉米化肥投入效率显著正相关,而农业保护政策与玉米化肥投入效率显著负相关。

(3)通过对影响因素区域化差异分析,结合各地区的实际情况,得到影响东部、中部、西部化肥投入效率的具体因素。东部地区化肥价格与玉米化肥投入效率显著正相关,玉米种植规模与玉米化肥投入效率显著负相关,中部地区化肥价格、农业补贴与玉米化肥投入效率显著正相关,非农劳动就业率与玉米化肥投入效率显著负相关。西部地区化肥价格与玉米化肥投入效率显著正相关,农业保护政策与玉米化肥投入效率显著负相关。

上述结论具有重要的政策含义:

(1)玉米化肥投入效率普遍偏低,在不影响玉米产出的情况下,节肥潜力巨大,尤其是在当前十九大倡导绿色发展的政策背景下,提高化肥的投入效率正是推进资源全面节约和循环利用的有利措施。

(2)促进农村土地有序流转,逐渐形成以新型经营主体为主的规模经营模式,适当地调整化肥的价格补贴政策,增加有机肥的价格支持政策,并且正确引导农户合理利用农业补贴,鼓励农民购买质量高的化肥或者环保有机肥。

(3)在测土配方施肥政策的推进过程中,多开展科学施肥的技术培训和讲座,提高农户的科学施肥的意识。最后,结合农业部“化肥施用量零增长”的行动方案,根据不同地区的特点,制定有区别的科学施肥管理方案,多途径提高化肥的投入效率,实现化肥减量但粮食不减产的政策目的,从而保障国家粮食安全。

参考文献(References):

- [1] 农业部. 到2020年化肥使用量零增长行动方案[EB/OL]. (2015-05-25)[2017-10-20]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201505/t20150525_4614695.htm. [Ministry of Agriculture. Zero Growth Programme for Fertilizer Use by 2020 [EB/OL]. (2015-05-25) [2017-10-20]. http://www.moa.gov.cn/govpublic/ZZYGLS/201505/t20150525_4614695.htm.]
- [2] 张利庠, 彭辉, 靳兴初. 不同阶段化肥施用量对我国粮食产量的影响分析—基于1952—2006年30个省份的面板数据[J]. 农业技术经济, 2008, (4): 85-94. [Zhang L X, Peng H, Jin X C. Effects of chemical fertilizer application at different stages on Grain Yield in China—based on panel data of 30 provinces from 1952 to 2006 [J]. *Journal of Journal of Agrotechnical*, 2008, (4): 85-94.]
- [3] 史常亮, 朱俊峰, 栾江. 我国小麦化肥投入效率及其影响因素分析—基于全国15个小麦主产省的实证[J]. 农业技术经济, 2015, (11): 69-78. [Shi C L, Zhu J F, Luan J. Analysis on input efficiency of wheat chemical fertilizer and its influencing factors in China—based on the empirical analysis of 15 major wheat producing provinces in China [J]. *Journal of Journal of Agrotechnical*, 2015, (11): 69-78.]
- [4] 纪月清, 张惠, 陆五一, 等. 差异化、信息不完全与农户化肥过量施用[J]. 农业技术经济, 2016, (2): 14-22. [Ji Y Q, Zhang H, Lu W Y, et al. Analysis on input efficiency of wheat chemical fertilizer and its influencing factors in China—based on the empirical analysis of 15 major wheat producing provinces in China [J]. *Journal of Agrotechnical*, 2016, (2): 14-22.]

- [5] 史常亮, 郭焱, 朱俊峰. 中国粮食生产中化肥过量施用评价及影响因素研究[J]. 农业现代化研究, 2016, 37(4): 671-679. [Shi C L, Gu Y, Zhu J F. Evaluation of over fertilization in China and its influencing factors[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2016, 37(4): 671-679.]
- [6] 栾江. 农业劳动力转移与化肥施用存在要素替代关系吗? 来自我国粮食主要种植省份的经验证据[J]. 西部论坛, 2017, 27(4): 12-21. [Luan J. Does agricultural labor migration have substitution relation with fertilizer use? Experience and evidence from China's main provinces and municipalities planting crops[J]. *West Forum*, 2016, 37(4): 12-21.]
- [7] 郑微微, 何在中, 徐雪高. 江苏主要粮食生产中化肥过量施用评价及影响因素研究[J]. 农业现代化研究, 2017, 38(4): 666-672. [Zheng W W, He Z Z, Xu X G. Evaluation of over fertilization in main grain crops in Jiangsu and its influencing factors [J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2017, 38(4): 666-672.]
- [8] Reinhard S, Thijssen G. Econometric estimation of technical and environmental efficiency: an application to Dutch dairy farms[J]. *American Journal Agricultural Economics*, 1999, 81(1): 44-60.
- [9] 曹大宇, 朱红根. 气候变化对我国种植业化肥投入的影响[J]. 西部论坛, 2017, 27(1): 107-114. [Cao D Y, Zhu H G. Impact of climate change on the input of fertilizer in crop farming in China [J]. *West Forum*, 2017, 27(1): 107-114.]
- [10] 巩前文, 张俊飏, 李瑾. 农户施肥量决策的影响因素实证分析-基于湖北省调查数据的分析[J]. 农业经济问题, 2008, (10): 63-68. [Fang Q W, Zhang J L, Li J. Empirical analysis on influencing factors of farmers' applying fertilization decision -analysis based on the survey data of Hubei [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2008, (10): 63-68.]
- [11] 肖新成, 谢德体. 农户对过量施肥危害认知与规避意愿的实证分析-以涪陵榨菜种植为例[J]. 西南大学学报(自然科学版), 2016, 38(7): 138-148. [Xiao X C, Xie D T. The empirical analysis of farmers excessive fertilization hazard awareness and avoidance wishes-taking Fuling mustard cultivation as an example[J]. *Journal of Southwest University(Natural Science Edition)*, 2016, 38(7): 138-148.]
- [12] 仇焕广, 栾昊, 李瑾, 等. 风险规避对农户化肥过量施用行为的影响[J]. 中国农村经济, 2014, (3): 85-96. [Chou H G, Luan H, Li J, et al. Effect of risk aversion on farmers' excessive fertilizer application[J]. *Chinese Rural Economy*, (3): 85-96.]
- [13] 诸培新, 苏敏, 颜杰. 转入农地经营规模及稳定性对农户化肥投入的影响-以江苏四县(市)水稻生产为例[J]. 南京农业大学学报(社会科学版), 2017, 17(4): 85-94. [Zhu P X, Su M, Yan J. The influence of transfer scale and stability of farmland on farmer's fertilizer investment-taking the production of rice in four counties of Jiangsu Province as an example[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University(Social Sciences Edition)*, 2017, 17(4): 85-94.]
- [14] 史常亮, 李赟, 朱俊峰. 劳动力转移、化肥过度使用与面源污染[J]. 中国农业大学学报, 2016, 21(5): 169-180. [Shi C L, Li Y, Zhu J F. Labor transfer, excessive use of fertilizers and non-point source pollution[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2016, 21(5): 169-180.]
- [15] 葛继红, 周曙东. 要素市场扭曲是否激发了农业面源污染-以化肥为例[J]. 农业经济问题, 2012, 33(3): 92-98. [Ge J H, Zhou S D. Whether the factor market distortions triggered agricultural non-point source pollution-take fertilizer as an example[J]. *Agricultural Economy Problem*, 2012, 33(3): 92-98.]
- [16] 张利国. 垂直协作方式对水稻种植农户化肥施用行为影响分析-基于江西省189户农户的调查数据[J]. 农业经济问题, 2008, 29(3): 50-54. [Zhang L G. Effect of vertical collaboration on fertilizer application behavior of rice growing farmers-based on the survey data of 189 households in Jiangxi province[J]. *Agricultural Economy Problem*, 2008, 29(3): 50-54.]
- [17] 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 fertilizer application of farmers in the perspective of factor substitution-based on the national rural fixed observation point farmer data[J]. *Journal of Agrotechnical*, 2015, (3): 84-91.]
- [18] 李海鹏. 中国农业面源污染的经济分析与政策研究[D]. 武汉: 华中农业大学, 2007. [Li H P. The Agricultural Non-Point Source Pollution in China: An Economic Analysis and Policy Studies[D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2007.]
- [19] 侯玲玲, 孙倩, 穆月英. 农业补贴政策对农业面源污染的影响分析-从化肥需求的视角[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(4): 173-178. [Hou L L, Sun Q, Mu Y Y. Analysis on the impact of agricultural subsidy policy on agricultural non-point source pollution-from the perspective of fertilizer demand[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2012, 17(4): 173-178.]
- [20] 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 on technical efficiency of grain production in China-based on random frontier analysis[J]. *China Rural Survey*, 2005, (4): 25-32.]
- [21] 王晓娟, 李周. 灌溉用水效率及影响因素分析[J]. 中国农村经济, 2005, (7): 11-18. [Wang X J, Li Z. Analysis of irrigation water efficiency and influencing factors[J]. *China Rural Economy*, 2005, (7): 11-18.]
- [22] Zhang T, Xue B D. Environmental efficiency analysis of China's vegetable production [J]. *Biomedical and Environmental Sciences*, 2005, 18(1): 21-30.
- [23] 中国国家发展和改革委员会价格司. 全国农产品成本收益资料汇编[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005-2016. [National Bureau of Statistics National Development and Reform Commission of the People's Republic of China. Compilation of National Agricultural Product Cost and Income Data [M]. Beijing: China Statistics Press, 2005-2016.]
- [24] 中国国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2005-2016. [State Statistical Bureau of the People's Republic of China. China Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2005-2016.]
- [25] 中国国家统计局农村社会经济调查司. 中国农村统计年鉴

- [M]. 北京: 中国统计出版社, 2005–2016. [Department of Rural Social and Economic Investigation of the National Bureau of Statistics of the People's Republic of China. China's Rural Statistical Yearbook[M]. Beijing: China Statistics Press, 2005–2016.]
- [26] 于晓华, 武宗励, 周洁红. 欧盟农业改革对中国的启示: 国际粮食价格长期波动和国内农业补贴政策的关系[J]. 中国农村经济, 2017, (2): 84–96. [Yu X H, Wu Z L, Zhou J H. The implications of the reform of common agricultural policy in the EU for China: The relationship between long-term international grain price fluctuations and domestic agricultural subsidies[J]. *China Rural Economy*, 2017, (2): 84–96.]
- [27] 杨增旭, 韩洪云. 化肥施用技术效率及影响因素—基于小麦和玉米的实证分析[J]. 中国农业大学学报, 2011, 16(1): 140–147. [Yang Z X, Han H Y, Technical efficiency of fertilizer and its influencing factor: based on wheat and corn empirical study[J]. *Journal of China Agricultural University*, 2011, 16(1): 140–147.]
- [28] 邓雁云. 黑龙江省化肥施用的演变趋势及减量化对策[J]. 中国林业经济, 2016, (4): 42–45. [Deng Y Y. Countermeasures to the evolution trend of chemical fertilizer utilization in Heilongjiang Province[J]. *China Forestry Economy*, 2016, (4): 42–45.]
- [29] 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 Q P. Spatio-temporal changes of fertilization intensity and environmental safety threshold in China[J]. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2017, 33(6): 214–221.]

The efficiency estimation of fertilizer input and attribution panel evidence from 20 corn producing provinces

ZHANG Yongqiang, PU Chenxi, WANG Yao, WANG Rong, PENG Youxing

(School of Economics and Management, Northeast Agricultural University, Harbin 150030, China)

Abstract: In order to ensure the grain production efficiency keep unchanged and even improve it, we should reduce application of chemical fertilize. How to achieve this goal is this article's main purpose. Under the realistic background of ensuring food security, we used panel data of 20 corn producing provinces in China from 2004 to 2015, and adopted a stochastic frontier trans-log production function to estimate the corn chemical fertilizer input efficiency of the whole nation and 20 corn producing provinces. And we used a Tobit model to identify the determinants of chemical fertilizer input efficiency in national, eastern, middle and western regions. The result shows that: the average of national corn production efficiency was 0.754, and the average of fertilizer input efficiency was 0.448. So the potential for fertilizer saving is great. The national corn production efficiency presented the downward trend. Before 2013, the fertilizer input efficiency also presented the upward trend, but it had fallen after 2014. The corn planting scale, the fertilizer price, the agricultural subsidies and the corn fertilizer input efficiency have positive correlations. And the agricultural environmental protection policy have a significantly a negative correlation. From the regional perspective, in the eastern region the fertilizer price and the corn fertilizer input efficiency has a positive correlation, the corn planting scale and the corn fertilizer input efficiency has a negative correlation. In middle region, the fertilizer price, the agricultural subsidies and the corn fertilizer input efficiency have positive correlations. Non-agricultural labor employment rate and the corn fertilizer input efficiency have a negative correlation. In western region, the fertilizer price and the corn fertilizer input efficiency has a positive correlation. The agricultural environmental protection policy and the corn fertilizer input efficiency has a negative correlation.

Key words: corn production; stochastic frontier trans-log production function; chemical fertilizer input efficiency; regional differentiation