

中国国有农场化肥投入效率测度及其时空分异

蔡荣 陶素敏 汪紫钰

(南京财经大学 粮食安全与战略研究中心,南京 210003)

摘要 为探讨中国垦区国有农场化肥投入效率及其时空分布情况,基于1994—2017年的省级面板数据,采用随机前沿投入距离函数测算了各省国有农场的化肥投入效率,并分析其时空分异特征。研究发现:1)国有农场化肥投入效率均值仅为0.485,存在严重的利用低效问题,化肥削减潜力巨大;2)在时间维度,国有农场化肥投入效率整体上呈现下降趋势;在空间维度,国有农场化肥投入效率呈现东部<中部<西部、南方<北方的非均衡格局;3)国有农场化肥施用强度远高于其他生产经营主体,且施用强度与投入效率之间存在较强的负相关性。

关键词 国有农场; 化肥投入效率; 时空分异

中图分类号 F323.22

文章编号 1007-4333(2020)08-0194-10

文献标志码 A

Time and space differences in fertilizer input efficiency of state-owned farms in China

CAI Rong, TAO Sumin, WANG Ziyu

(Center for Food Security and Strategic Studies, Nanjing University of Finance and Economics, Nanjing 210003, China)

Abstract Using the stochastic frontier input distance function and based on the provincial statistical data from 1994 to 2017, the paper analyzed the fertilizer input efficiency and its spatial and temporal distribution of state-owned farms in reclamation areas. The results showed that: 1) The average fertilizer input efficiency of state-owned farms was 0.485, indicating there was serious inefficient use of fertilizer and fertilizer reduction potential was huge; 2) In the time dimension, the fertilizer input efficiency of state-owned farms showed an overall trend of decreasing. In the spatial dimension, the fertilizer input efficiency of state-owned farms showed an unbalanced pattern of east < central < west and the pattern of south < north; 3) The input intensity of fertilizer in state-owned farms was much higher than that of other producers and operators, and there was a strong negative correlation between the input intensity of fertilizer and the input efficiency.

Keywords state-owned farms; fertilizer input efficiency; time and space distribution

国有农场是中国农业经济体系的重要组成部分,也是国有农业经济的重要骨干^[1]。2017年,全国1758个国有农场共有耕地6455.6万hm²,实现农业总产值3837.2亿元,粮食产量3515.5万t。国有农场在中国农业科技创新、技术推广、规模化生产和维护粮食安全等诸多方面发挥了积极的示范引领作用。2015年,中共中央、国务院下发《关于进一步推进农垦改革发展的意见》,赋予了国有农场率先

实现农业现代化的使命,自此国有农场进入转型发展的关键期。十八届五中全会进一步提出,要加快国有农场转变农业发展方式,走新型农业现代化道路,推动现代农业走上可持续发展之路。然而,中国长期以来受耕地资源约束和人口快速增长的约束,通过增加化肥投入来提高农作物产量成为满足不断增长的食物需求最可行的方法之一,由此带来的农业面源污染呈现出了持续恶化态势^[2-4]。事实上,国

收稿日期:2019-11-13

基金项目:国家自然科学基金面上项目(71773044)

第一作者:蔡荣,副教授,主要从事农业经济研究,E-mail:xiaopg918@126.com

有农场化肥过度投入问题更为严峻,但却一直未受关注。据农垦资料统计,1994—2017年,中国国有农场的化肥使用量从 96.51 万 t 迅速增加到了 277.98 万 t,翻了 2 倍之多。而同期国有农场耕地面积增长仅贡献了其中的 43.7%,国有农场化肥投入量的增加主要与化肥投入强度的上升密切相关。以 2017 年为例,国有农场的化肥投入强度为 1 003.0 kg/hm²,接近全国平均水平(352.3 kg/hm²)的 3 倍。并且,各省国有农场化肥生产率(农业总产值/化肥投入量)也存在明显差异。例如,2017 年黑龙江省国有农场化肥生产率高达 5.88 万元/t,而湖南省仅为 1.52 万元/t。由此引出的问题是,中国国有农场的化肥投入效率如何?在时间和空间维度具有怎样的特点?

目前,有关国有农场的研究主要集中于农场体制改革、土地规模经营等方面^[5-8]。尽管也有个别学者分析农垦系统的生产效率问题,如许海平^[9]从国有农场经营规模入手考察了海南省国有植胶农场生产效率与种植规模的关系,但仍缺乏针对国有农场化肥投入效率的调查与研究。围绕中国农业化肥投入效率的研究均表明,在维持生产单元产出不变的条件下,各地区化肥投入存在相当大的削减空间。例如,张永强等^[10]、史常亮等^[11]均采用基于随机前沿方法的单一投入要素技术效率测度模型,分别对小麦、玉米种植的化肥投入效率进行了测算,结果显示平均效率均较低,化肥削减潜力巨大。然而,该方法存在重要缺陷,即对化肥投入效率的测算必须以其他要素利用或配置完全有效为前提,测算结果信度较低。并且,该方法在测算化肥投入效率损失时仅考虑了随时间变化的化肥投入效率损失(也即短期效率损失),那些不随时间变化的化肥投入效率损失(也即持久效率损失)则被视为地区异质性来处理,故所测算的化肥投入效率损失往往被低估。为此,本研究通过构建面板随机前沿投入距离函数,采用 Kumbhakar 等^[12]提出的模型,从短期效率损失和持久效率损失入手测算中国国有农场的化肥投入效率,以期获得信度较高的分析结果。

1 模型及方法

本研究首先对化肥投入效率的概念给出界定。假设国有农场农业生产以化肥(F)和其他要素集合(I)作为投入来生产某商品(Y),其生产技术表示为 $T = \{(F, I, Y) | (F, I) \text{ 可以生产出 } Y\}$ 。一般而

言,集合 T 为有界闭集且投入产出满足强可处置性。定义随机前沿投入距离函数:

$$D_F(F, I, Y) = \text{sub}\{\rho | (F/\rho, I, Y) \in T\} \quad (1)$$

根据式(1)及生产技术的强可处置性假设可以引出两个性质:一是 $D_F(F, I, Y) \geq 1$,二是化肥投入距离函数 $D_F(F, I, Y)$ 是化肥投入(F)的线性齐次函数。随机前沿投入距离函数反映了国有农场在现行技术条件下保持其他要素投入(I)和产出(Y)不变时化肥投入的最大可削减比例。 $F/D_F(F, I, Y)$ 是国有农场化肥投入最优时的化肥投入量。最优化化肥投入与实际化肥投入之间的比值反映了国有农场化肥投入偏离最优生产所需化肥投入的程度;当 $1/D_F(F, I, Y)$ 为 1 时,实际化肥投入与最优投入量相等,化肥投入完全有效;当 $1/D_F(F, I, Y)$ 越小时,实际化肥投入偏离最优投入量的程度越大,化肥投入越无效。因此,可以将 $1/D_F(F, I, Y)$ 定义为化肥投入效率 FI。相应地, $(1 - \text{FI}) \times F$ 就是国有农场化肥投入无效率的损失,即可减少的化肥投入量。

效率的测算一般包括非参数形式的包络分析法(DEA)和参数形式的随机前沿分析法(SFA),本研究采用的是参数形式的随机前沿分析法(SFA),其克服了非参数形式的包络分析法(DEA)的无统计特征以及不考虑随机干扰的缺陷。在关于生产效率的研究中,对要素投入技术效率的分析最早可追溯到 Reinhard 等^[13]对荷兰奶牛养殖户环境效率的测算,之后 Karagiannis 等^[14]、Zhang 等^[15]又分别采用随机前沿分析法对农业生产中的灌溉用水效率及农药投入效率进行了测算。基于已有研究,且考虑到模型误设的风险,本研究选择了更加灵活的超越对数随机前沿投入距离函数,具体形式如下:

$$\begin{aligned} \ln D_F(F_i, P_i, S_i, M_i, Y_i) = & \beta_0 + \beta_1 \ln F_i + \\ & \beta_2 \ln P_i + \beta_3 \ln S_i + \beta_4 \ln M_i + \beta_5 \ln Y_i + \\ & \beta_6 [\ln F_i \times \ln P_i] + \beta_7 [\ln F_i \times \ln S_i] + \\ & \beta_8 [\ln F_i \times \ln M_i] + \beta_9 [\ln F_i \times \ln Y_i] + \\ & \beta_{10} [\ln P_i \times \ln S_i] + \beta_{11} [\ln P_i \times \ln M_i] + \\ & \beta_{12} [\ln P_i \times \ln Y_i] + \beta_{13} [\ln S_i \times \ln M_i] + \\ & \beta_{14} [\ln S_i \times \ln Y_i] + \beta_{15} [\ln M_i \times \ln Y_i] + \\ & \beta_{16} [\ln F_i]^2 + \beta_{17} [\ln P_i]^2 + \beta_{18} [\ln S_i]^2 + \\ & \beta_{19} [\ln M_i]^2 + \beta_{20} [\ln Y_i]^2 + v_i \quad (2) \end{aligned}$$

式中: F 表示化肥投入、 P 表示劳动投入、 S 表示耕地投入、 M 表示机械投入、 Y 表示农业总产值, v 表示随机误差项, i 为各垦区国有农场, t 表示年份。

利用 $D_F(F_{it}, P_{it}, S_{it}, M_{it}, Y_{it})$ 是线性齐次函数的性质,将式(2)进一步整理为:

$$\begin{aligned} \ln[1/F_{it}] = & \alpha_0 + \alpha_1 \ln P_{it} + \alpha_2 \ln S_{it} + \alpha_3 \ln M_{it} + \\ & \alpha_4 \ln Y_{it} + \alpha_5 [\ln P_{it} \times \ln S_{it}] + \alpha_6 [\ln P_{it} \times \ln M_{it}] + \\ & \alpha_7 [\ln P_{it} \times \ln Y_{it}] + \alpha_8 [\ln S_{it} \times \ln M_{it}] + \\ & \alpha_9 [\ln S_{it} \times \ln Y_{it}] + \alpha_{10} [\ln M_{it} \times \ln Y_{it}] + \\ & \alpha_{11} [\ln P_{it}]^2 + \alpha_{12} [\ln S_{it}]^2 + \alpha_{13} [\ln M_{it}]^2 + \\ & \alpha_{14} [\ln Y_{it}]^2 - u_{it} + v_{it} \end{aligned} \quad (3)$$

式中: u_{it} 反映了各垦区各年份的国有农场化肥投入效率损失,相应地,化肥投入效率为:

$$FI = \exp(-u_{it}) \quad (4)$$

事实上,对式(2)进行估计时,依据对效率是否随时间变化的不同假设,模型又包括效率不随时间变化的模型和效率随时间变化的模型两类,前者旨在测算持久效率损失(Persistent inefficiency),后者则用于测算短期效率损失(Transient inefficiency)。对于国有农场,持久效率损失往往与农业气候、经营体制等不受农场自身控制的因素有关,而短期效率损失则与农场自身的经营行为有关。需要指出,以往的化肥投入效率研究,测算的都是短期效率损失,忽略了持久效率损失^[10-11,16]。为了能够在同一个模型框架下测算出上述两类效率损失,Kumbhakar等^[17]最早提出了三步模型,模型设定如下:

$$\ln F_{it} = \alpha_0^* + f(X, \beta) + u_{it}^* + \eta_i^* + v_{it} \quad (5)$$

式中: $\alpha_0^* = \alpha_0 + E(u_{it}) + E(\eta_i)$, $u_{it}^* = u_{it} - E(u_{it})$, $\eta_i^* = \eta_i - E(\eta_i)$ 。测算效率的具体步骤如下:第1步利用标准的随机效应面板回归对式(5)进行估计,得到一致的参数估计量,据此计算出 u_{it}^* 、 η_i^* 的预测值 \hat{u}_{it}^* 、 $\hat{\eta}_i^*$ 。第2步根据预测值 $\hat{\eta}_i^*$ 计算持久效率 $PE_i = \text{Exp}(-\hat{\eta}_i)$, 其中 $\hat{\eta}_i = \hat{\eta}_i^* - \min(\hat{\eta}_i^*)$ 。第3步计算短期效率。首先计算残差 $e_{it} = \ln F_{it} - f(X, \beta) - \eta_i = \alpha_0 + u_{it} + v_{it}$, 假设 v_{it} 服从独立正态分布 $N(0, \sigma_v^2)$, u_{it} 在 0 截断处服从独立非负正态分布 $N^+(0, \sigma_u^2)$; 接着使用混合截面随机前沿模型对方程 $e_{it} = \alpha_0 + u_{it} + v_{it}$ 进行参数估计,并利用 u_{it} 的条件均值 $E[u_{it} | u_{it} + v_{it}]$ 计算短期效率 $TE_i = \text{Exp}(-\hat{u}_{it})$ 。最后,根据持久效率 PE_i 和短期效率 TE_i 可以进一步计算总效率 $EFO_{it} = \text{Exp}[-(\hat{\eta}_i + \hat{u}_{it})] = PE_{it} \times TE_{it}$ 。

然而,上述估计无法对各决策单位之间不可观测的异质性和持久效率损失进行区分,很可能导致测算的持久效率损失被高估。为了纠正这一偏

误,Kumbhakar等^[12]对上述模型作了改进,模型被设定为:

$$\ln F_{it} = \alpha_0^* + f(X, \beta) + u_{it}^* + \eta_i^* \quad (6)$$

式中: $\alpha_0^* = \alpha_0 + E(u_{it}) + E(\eta_i)$, $u_{it}^* = v_{it} + u_{it} - E(u_{it})$, $\eta_i^* = \mu_i + \eta_i - E(\eta_i)$ 。测算效率的具体步骤如下:第1步与 Kumbhakar等^[17]类似,也是利用标准的随机效应面板回归对式(6)进行估计,得到一致的参数估计量 $\hat{\beta}$ 、 $\hat{\eta}_i^*$ 和 \hat{u}_{it}^* ; 第2步对方程 $u_{it}^* = v_{it} + u_{it} - E(u_{it})$ 进行随机前沿分析,假设 v_{it} 服从独立正态分布 $N(0, \sigma_v^2)$, u_{it} 的真实值和预测值一致,则可得短期效率 $TE_i = \text{Exp}(-\hat{u}_{it})$ 。第3步对方程 $\eta_i^* = \mu_i + \eta_i - E(\eta_i)$ 进行随机前沿分析,假设 μ_i 服从独立正态分布 $N(0, \sigma_\mu^2)$, η_i 服从在 0 截断处服从独立非负正态分布 $N^+(0, \sigma_\eta^2)$, 据此可计算出持久效率 $PE_i = \text{Exp}(-\hat{\eta}_i)$ 。同样地,总效率可表示为持久效率 PE_i 和短期效率 TE_i 之乘积:

$$EFO_{it} = PE_{it} \times TE_{it} \quad (7)$$

2 数据说明

本研究中的国有农场化肥投入数量(万 t)、农业产值(亿元)、劳动投入(万人)、耕地面积(万 hm^2)、机械动力(万 kW)等数据均来自历年《中国农村统计年鉴》^[18]。其中,农业产值使用经生产价格指数平减后的农林牧渔业总产值表示(基期为 1993 年),化肥投入表示各省各年国有农场化肥使用的折纯量,劳动投入使用各省各年国有农场职工人数表示,机械投入用各省各年国有农场的农用机械总动力表示,耕地面积为各省各年国有农场耕地面积。统计结果显示,样本期间的中国国有农场化肥年均投入量为 184.26 万 t,呈现持续上升的趋势,从 1994 年的 96.51 万 t 增加到了 2017 年的 277.98 万 t,年均增长 4.75%,同期农业总产值由 1994 年的 315.85 亿元上升至 2017 年的 1 295.23 亿元,增长了 4 倍之多,年均增长 6.33%,远远高于中国农业总产值的年均增长速度(约 5.15%)。受宏观经济发展和劳动力城乡转移影响,国有农场劳动力人数呈现递减态势,近年来(2013—2017)年均减少 4.32%。受农业现代化的影响,国有农场机械动力呈递增态势。其中,2008—2012 年间的增长速度最快,年均增长 7.93%,在 2012 年之后,平均每年仍以 3.66% 的速度在增长。与 1994 年相比,国有农场的耕地面积虽在部分年份出现下降,但总体呈

现较大幅度的增长,从 449.12 万 hm^2 增加到了 2017 年的 645.56 万 hm^2 ,年均增长率 1.59%。本研究共包含 29 个省(市、自治区)数据,重庆市

的数据并入四川省,考虑到数据缺失,本研究未含西藏及港、澳、台地区的数据。表 1 为变量的描述性统计结果。

表 1 变量描述统计

Table 1 Variable description statistics

年份 Year	化肥投入量/万 t Fertilizer input	农业总产值/亿元 Total agricultural output	农场职工数/万人 Number of farm workers	农业机械总动力/万 kW Power of agricultural machinery	耕地面积/ 万 hm^2 Arable land
1994	96.51	315.85	517.47	977.48	449.12
2017	277.98	1 295.23	271.5	3 025.90	645.56
1994—2017 年均值	184.26	750.13	364.34	1 641.33	535.73

表 2 不同时段投入和产出年均增长率

Table 2 Average annual growth rate of input and output in different periods

%

年份 Year	化肥投入量 Fertilizer input	农业总产值 Total agricultural output	农场职工数 Number of farm workers	农业机械总动力 Power of agricultural machinery	耕地面积 Arable land
1994—1997	9.29	9.81	-0.90	1.54	0.07
1998—2002	0.59	5.23	-6.90	2.52	-0.40
2003—2007	0.78	5.69	-1.72	6.67	-3.14
2008—2012	4.96	9.46	-1.30	7.93	2.72
2013—2017	1.57	4.38	-4.32	3.66	0.97

3 模型结果分析

表 3 是超越对数随机前沿生产函数的估计结果, $\gamma=0.76$ 说明复合扰动项的变异中有 76% 可以用效率损失项的变异来解释,模型总体估计良好。农业产值一次项系数正显著,二次项系数负显著,表明化肥投入需求会随着农业产值的不断上升而呈现先升后降的倒 U 型变化趋势。劳动投入一次项系数和二次项系数都显著,且皆为负数,说明国有农场劳动力减少会带来化肥投入需求加速增加。从交叉项的结果来看,劳动投入对国有农场化肥投入需求的影响还要受到农业产值和耕地面积的调节,在其他因素不变条件下,农业产值和耕地面积增加都会增强劳动投入变化对化肥投入需求的作用强度。耕地面积平方项的系数负显著,表明耕地面积对化肥投入需求的影响具有倒 U 型特征,也就是耕地面

积达到一定阈值后,化肥投入需求会进入不升反降的阶段,这在国内外具有一定的普遍性^[19]。机械动力平方项系数正显著,表明机械动力对化肥投入需求的影响呈 U 型特征,换言之,农业机械动力的增加有助于减少化肥投入需求,但当农业机械动力达到一定的阈值后,化肥投入需求反而会增加。

表 4 给出了 1994—2017 年间各地区国有农场化肥投入效率情况。结果显示,在全国范围内,国有农场化肥投入效率均值为 0.485,表明在现有技术条件下国有农场的化肥投入约有 51.5% 的削减空间,该结果与张永强等^[10]、史常亮等^[11]的研究结论相近。化肥投入效率均值最高的是天津市(0.667),其次是河北、内蒙古、黑龙江和新疆维吾尔自治区(省),化肥投入效率均值都在 0.6 以上。化肥投入效率均值最低的是福建省,仅为 0.194。为了对不同地区间的化肥投入效率做出比较,本研究将样本

省(市、自治区)划分为东中西和南北两大类^①。1)从东中西来看,西部地区化肥投入效率均值最高,为0.497;其次为中部地区,为0.485;东部地区最低,为0.474。尽管3个地区的效率均值相差较小,但整体表现出了东部地区<中部地区<西部地区的特点。2)从南北来看,北方地区化肥投入效率均值(0.569)显著高于南方地区(0.395)。进一步观察短期效率均值和持久效率均值发现,北方地区的化肥

持久效率要明显高于南方地区,而短期效率相差不大,表明持久效率是造成南北地区化肥投入效率差异的重要原因。究其原因可能有3:一是耕地禀赋差异。在人地关系上,南方地区国有农场人均耕地面积是北方地区国有农场的1/4^[18],为了在有限的耕地上实现尽可能多的产出,增施化肥成为了农场职工的行为惯性。二是种植结构差异。根据历年中国农垦统计资料测算,北方地区国有农场多以粮食

表3 模型参数回归结果

Table 3 Model parameter regression results

变量 Variable	系数 Coefficient	标准误 Std Err	变量 Variable	系数 Coefficient	标准误 Std Err
农业产值 Agricultural output value	1.88***	0.55	农业产值×耕地面积 Agricultural output value× Arable land area	0.03	0.05
劳动投入 Labor input	-2.38***	0.55	农业产值×机械动力 Agricultural output value× Mechanical power	0.03	0.05
耕地面积 Arable land	0.48	0.53	劳动投入×机械动力 Land input×Mechanical power	-0.24***	0.05
机械动力 Mechanical power	-0.08	0.50	耕地面积×机械动力 Arable land×Mechanical power	-0.06	0.05
农业产值平方项 Agricultural output value squared	-0.10***	0.03	常数项 Constant	-11.80	2.77
劳动投入平方项 Labor input squared	-0.05*	0.03	t	0.02*	0.01
耕地面积平方项 Arable land squared	-0.06*	0.04	t^2	0.00	0.00
机械动力平方项 Mechanical power squared	0.07**	0.03	η	0.56	
农业产值×劳动投入 Agricultural output×value	0.23***	0.05	μ	0.31	
劳动投入×耕地面积 Labor input×Arable land	0.20***	0.04	γ	0.76	

注:***、**、*分别表示1%、5%、10%的显著性水平。

Note: ***, ** and * represent significant levels at 1%, 5% and 10%, respectively.

① 按照经济发展水平,将本研究包含的29个省份划分为东部、中部、西部。其中,东部地区包括:北京、天津、河北、辽宁、上海、江苏、浙江、福建、山东、广东、海南;中部地区包括:山西、吉林、黑龙江、安徽、江西、河南、湖北、湖南;西部地区包括:四川、贵州、云南、陕西、甘肃、青海、宁夏、新疆、广西、内蒙古。以秦岭淮河为界将全国29个省份划分为南方和北方。南方地区包括:上海、江苏、浙江、安徽、福建、江西、湖北、湖南、广东、海南、四川、贵州、云南、广西;北方地区包括:北京、天津、河北、山西、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、山东、河南、山西、甘肃、青海、宁夏、新疆。

表 4 各地区化肥投入均值
Table 4 Average fertilizer input in all regions

省(市、自治区) Province	持久效率 PE Persistent efficiency	短期效率 TE Transient efficiency	化肥投入效率 EFO Mean of fertilizer input efficiency
北京 Beijing	0.729	0.775	0.565
天津 Tianjing	0.851	0.783	0.667
河北 Hebei	0.822	0.762	0.626
山西 Shanxi	0.732	0.775	0.567
内蒙古 Inner Mongolia	0.794	0.776	0.616
辽宁 Liaoning	0.748	0.785	0.588
吉林 Jilin	0.640	0.774	0.495
黑龙江 Heilongjiang	0.833	0.787	0.656
上海 Shanghai	0.732	0.768	0.562
江苏 Jiangsu	0.593	0.811	0.481
浙江 Zhejiang	0.385	0.772	0.297
安徽 Anhui	0.615	0.785	0.483
福建 Fujian	0.247	0.784	0.194
江西 Jiangxi	0.556	0.784	0.436
山东 Shandong	0.686	0.783	0.537
河南 Henan	0.587	0.785	0.460
湖北 Hubei	0.565	0.780	0.441
湖南 Hunan	0.434	0.784	0.340
广东 Guangdong	0.429	0.770	0.330
广西 Guangxi	0.397	0.785	0.312
海南 Hainan	0.471	0.775	0.365
四川 Sichuan	0.714	0.765	0.546
贵州 Guizhou	0.611	0.771	0.471
云南 Yunnan	0.359	0.739	0.266
陕西 Shaanxi	0.668	0.775	0.518
甘肃 Gansu	0.681	0.794	0.541
青海 Qinghai	0.813	0.775	0.630
宁夏 Ningxia	0.540	0.788	0.426
新疆 Xinjiang	0.812	0.787	0.639
东部均值 Mean of east region	0.608	0.779	0.474
中部均值 Mean of central region	0.620	0.782	0.485
西部均值 Mean of west region	0.639	0.776	0.497
北方均值 Mean of north region	0.729	0.780	0.569
南方均值 Mean of south region	0.508	0.777	0.395
全国均值 Mean of the nation	0.622	0.779	0.485

种植为主,而南方地区国有农场多以经济作物种植为主。研究表明,单位面积经济作物化肥施用量要显著高于粮食作物化肥施用量,且过量程度更高^[20]。三是农业气候差异。相比于北方地区,南方地区年均气温较高、降雨量较大,农业生产中化肥挥发、随径流的损失及渗漏淋失更突出,化肥利用率受到严重制约。

图1刻画了全国及分地区国有农场化肥投入效率的时间趋势。总体而言,国有农场化肥投入效率在2004年之前呈现波动下降的态势,尽管2004年之后出现了短暂的波动上升期,但到2009年又开始呈现出了缓慢下降的趋势。事实上,针对中国农业生产中化肥投入不合理及效率低下的严峻问题,2004年农业部门正式启动了新一轮的测土配方施肥工作。实践证明,该项目不但增强了土壤保水保肥的能力,而且提高了肥料的利用率^[21]。然而,

2008年之后,全球金融危机下的国际化肥市场价格走跌态势波及到了国内化肥市场,加上国内化肥行业长期产能过剩,各地中小化肥企业频繁恶性价格竞争,导致国内化肥市场价格持续下降,要素市场扭曲加剧。根据历年农产品成本收益统计资料测算,2009年国内农用化肥价格从2008年的5.87元/kg骤然下跌至5.42元/kg,2010年又进一步跌至5.19元/kg。尽管2011年和2012年化肥价格有所上涨,但价格水平整体不高,并且从2013年开始化肥价格下跌趋势又继续抬头,2017年仅为5.64元/kg,甚至低于2008年的化肥价格水平。由此产生的结果是,农场经营者增施化肥促增产的动机越来越强,特别是农村劳动力加速向城市和非农产业转移的背景下,这一特征表现得尤为明显。此外,从图1还可以看出,各地区的化肥投入效率在时间上的变动趋势总体上也呈现出了类似特点。

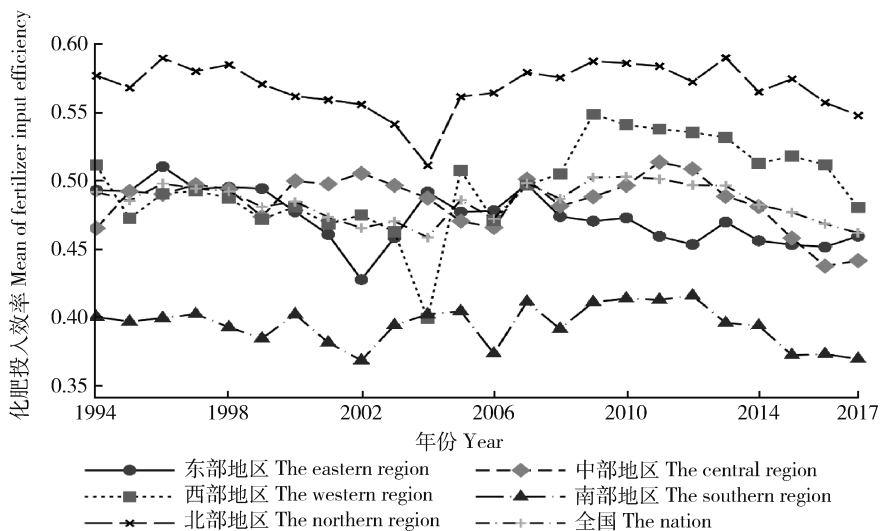


图1 国有农场化肥使用效率时间趋势

Fig. 1 Temporal trend chart of fertilizer input efficiency of state-owned farms

为了比较本研究测算结果(KLH14模型)与传统随机前沿模型(简称BC92模型)测算结果的差异,表5给出了两组化肥投入效率的基本统计特征。与预期一致,传统随机前沿模型将观测个体的异质性视为效率损失,故而测算的化肥投入效率偏低。相比较而言,Kumbhakar等^[12]的“三步法”模型将个体异质性、持久效率、短期效率进行了有效分离,测算的结果更准确。表5显示,使用传统随机前沿模型测算的国有农场化肥投入效率均值为0.360,中位数为0.333,均明显低于KLH14模型的测算结果。并且,从两组化肥投入效率的分布核密度图中

(图2)也能够看出,KLH14模型所测效率值的核密度图明显右移,表明其效率值较BC92模型相比有明显的提升。综上所述,不考虑各地区不随时间变化的异质性将使测算结果存在较大的估计偏差。

进一步观察国有农场化肥投入强度及效率值之间的关系(图3)。虽然不同年份各省国有农场化肥投入效率均值对应的化肥投入强度有所差异,整体上效率均值相对较高的省份对应的化肥投入强度相对较低,说明化肥投入强度与化肥投入效率呈负相关性。也就是说,过量化肥投入造成了化肥投入效率低下。中国国有农场化肥投入强度远远超过国际

表 5 BC92 模型与 KLH14 模型基本统计特征对比分析
Table 5 Comparative analysis of basic statistical features
between BC92 model and KLH14 model

模型 Model	平均值 Mean	最大值 Max	最小值 Min	中位数 Median
BC92	0.360	0.905	0.081	0.333
KLH14	0.485	0.793	0.028	0.498

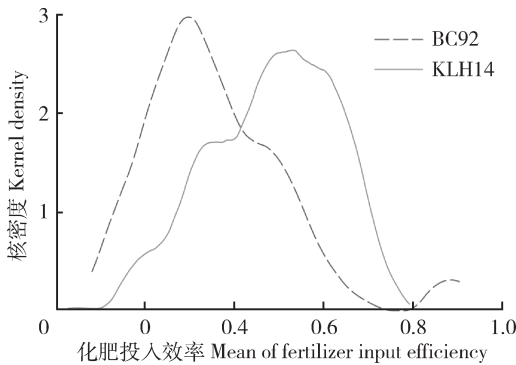


图 2 化肥投入效率核密度

Fig. 2 Kernel density diagram of fertilizer input efficiency

化肥投入安全警戒线 ($225 \text{ kg}/\text{hm}^2$), 同时也高于同期全国平均水平。那么, 是什么原因导致国有农场化肥投入过量呢? 究其原因, 主要有以下 2 个方面: 第一, 国有农场的土壤肥力在很长时期内一直不高, 增施化肥成为快速提升土壤肥力的重要手段。1949 年, 在《军委关于一九五年军队参加生产建设工作的指示》中指出军队在和平时期应有计划地参加农业工作和工业的生产以解决食品短缺问题。自此, 中国开始了国有农场的开发之路。由于开发之初缺乏经验, 没有掌握建场的原则、条件, 更没有经过实际调查, 多数农场的选址都是远离城镇的荒芜土地上, 土质疏松, 土壤条件较差, 为保证土壤肥力, 需要通过增施化肥来改善土壤肥力。第二, 与赋予农村集体土地长久不变的土地承包关系不同, 国有农场掌握着土地的使用主导权, 因而更倾向于短期承包, 职工家庭对于土地只有有限的土地使用权, 土地租赁合同多为一年一签或数年一签的短中期合同, 承包关系不稳定。即使土地多年未经调整, 承包者心理上不踏实, 缺乏对投资改良土地的积极性^[22]。地权稳定性与化肥投入密切相关, 当农户对农业经营权没有信心时, 对资源进行掠夺式经营的可能性越大。而流转期限长短常被作为界定地权稳定的重要依

据, 在有限的土地使用权下, 农场职工容易形成短视心理, 只注重眼前利益, 为了实现增产, 会选择大面

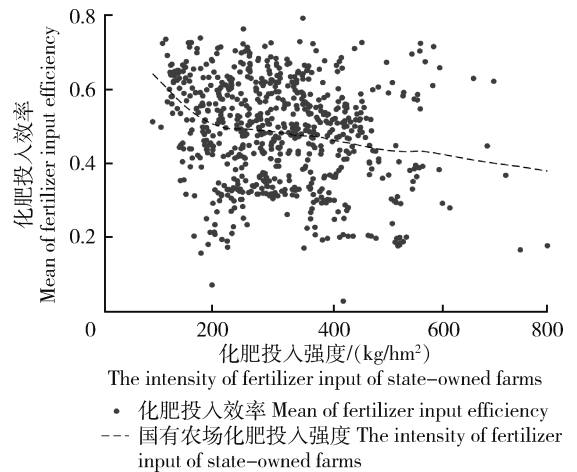


图 3 国有农场化肥投入效率与化肥投入强度相关性

Fig. 3 The correlation between fertilizer input efficiency and fertilizer input intensity of state-owned farms

积的使用化肥, 从而造成化肥施用过量。

4 结论与思考

基于 1994—2017 年中国国有农场数据并使用随机前沿投入距离函数测算化肥投入效率, 旨在揭示国有农场化肥投入效率的时空分异特征。分析结果表明: 1) 国有农场化肥投入效率仅为 0.485, 存在严重的化肥利用低效问题, 化肥削减潜力巨大; 2) 在时间维度, 国有农场投入效率呈现出一定的下降趋势, 在空间维度, 国有农场投入效率呈现东部 < 中部 < 西部、南方 < 北方的非均衡格局; 3) 国有农场化肥施用强度远高于其他生产经营主体, 化肥施用强度与投入效率之间存在较强的负相关性。

作为农业生产的重要投入要素, 化肥对国有农场的开垦发挥了重要推动作用。近年来, 中国国有农场耕地面积总体呈现不断扩大趋势, 受历史和现实条件的限制, 多数国有农场是在贫瘠土地及未开

垦土地上建立,需要依赖增施化肥提升土壤肥力。但是施肥投入要掌握适度的原则,依据当地实际情况、因地制宜的合理施肥,同时注重在实施农业关键技术方面寻求突破,发展绿色农业,推动农业生产可持续。为了扭转国有农场化肥投入效率低下的困局,相关部门应从以下2个方面着手。一是加强科技投入,定期进行农业技术指导,推广测土配方施用技术,引导职工适度施肥,培育一批懂技术、会管理、善经营的现代农场职工。化肥过量投入不仅会引起土壤板结,土地生产能力下降,而且化肥中氮元素超标还是造成农业面源污染问题和温室气体排放的重要原因,十九大报告指出“加快生态文明体制改革”,坚定不移地走向社会主义生态文明新时代,把人为与自然之间的张力保持在安全限度内,从而实现社会的可持续发展。而推动农业可持续发展必须将关注点放在节肥增效上。现阶段,国有农场化肥投入过量问题严重,减少化肥施用,多方面引导是走可持续发展之路的重要保证。二是完善国有农场土地流转制度,适度延长土地流转期限,以精细契约保障土地流转制度稳定性,提升国有农场土地使用效率。土地既是农民最基本的生产资料,又是农民最基本的生存保障,还是农民最重要的发展资源,土地直接关系到农民的权益、农民的发展和农村稳定。农地流转已成为农业现代化的时代命题,是提高农村土地资源配置效率,转变农业经营方式,加快实现农业产业化、规模化和现代化的重要要求。农地流转期限关系到土地承包者是否长期稳定的投入到承包土地的农业生产中,而不稳定的农地流转契约关系,只会造成土地承包者的短视心理,大面积增施化肥寻求短期收益,大大降低土地生产率,阻碍农业可持续发展。

参考文献 References

[1] 桂华. 土地制度、合约选择与农业经营效率:全国6垦区18个农场经营方式的调查与启示[J]. 政治经济学评论, 2017, 8(4): 63-88
Gui H. Land system, contractual choice and efficiency of agricultural management system: Based on the investigation and enlightenment of management mode of 18 farms from the country's 6 reclamation area[J]. *China Review of Political Economy*, 2017, 8(4): 63-88 (in Chinese)

[2] Zhu Z, Chen D. Nitrogen fertilizer use in china-contributions to food production, impacts on the environment and best management strategies [J]. *Nutrient Cycling in Agro-*

ecosystems, 2002, 63(2/3): 117-127

[3] 栾江, 仇焕广, 井月, 廖绍攀, 韩炜. 我国化肥施用量持续增长的原因分解及趋势预测[J]. 自然资源报, 2013, 28(11): 1869-1878
Luan J, Qiu H G, Jing Y, Liao S P, Han W. Decomposition of factors contributed to the increase of China's chemical fertilizer use and projections for future fertilizer use in China [J]. *Journal of Natural Resources*, 2013, 28(11): 1869-1878 (in Chinese)

[4] 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 factor market distortion stimulates agricultural non-point source pollution: Taking fertilizer for example [J]. *Issues in Agricultural Economy*, 2012, 33(3): 92-98 (in Chinese)

[5] 韩朝华. 个体农户和农业规模化经营:家庭农场理论评述[J]. 经济研究, 2017, 52(7): 184-199
Han C H. Individual farmers and scale farming: Review of the theoretics of the family farm [J]. *Economic Research Journal*, 2017, 52(7): 184-199 (in Chinese)

[6] 叶生贵, 凌远云, 刘锐金. 中国农垦全要素生产率的随机前沿分析[J]. 华中农业大学学报:社会科学版, 2009(2): 16-21
Ye S G, Ling Y Y, Liu R J. Stochastic frontier analysis on total factor productivity of China's state farms [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social science edition*, 2009(2): 16-21 (in Chinese)

[7] 冀县卿, 钱忠好, 李友艺. 土地经营规模扩张有助于提升水稻生产效率吗:基于上海市松江区家庭农场的分析[J]. 中国农村经济, 2019(7): 71-88
Ji X Q, Qian Z H, Li Y Y. The impact of operational farm size on rice production efficiency: An analysis based on the survey data of farms from songjiang, Shanghai, China [J]. *Chinese Rural Economy*, 2019(7): 71-88 (in Chinese)

[8] Li S, Zhang Y, Nadolnyak D, David J, Zhang Y. Fertilizer industry subsidies in China: Who are the beneficiaries [J]. *China Agricultural Economic Review*, 2014, 6(3): 433-451

[9] 许海平. 国营农场最优经营规模研究:以海南国营植胶农场为例[J]. 农业技术经济, 2012(8): 96-104
Xu H P. Study on optimal operation scale of state farm: Take the state-owned plant rubber farm in Hainan as an example [J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2012(8): 96-104 (in Chinese)

[10] 张永强, 蒲晨曦, 王珧, 王荣, 彭有幸. 化肥投入效率测度及归因[J]. 资源科学, 2018, 40(7): 1333-1343
Zhang Y Q, Pu C X, Wang Y, Wang R, Peng Y X. The efficiency of fertilizer input and attribution: Panel evidence from 20 corn producing provinces [J]. *Resources Science*, 2018, 40(7): 1333-1343 (in Chinese)

[11] 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 the input efficiency of wheat fertilizer and its influencing factors in China: Based on the empirical study of 15 major wheat producing provinces in China[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015(11): 69-78 (in Chinese)
- [12] Kumbhakar S C, Lien G, Hardaker J B. Technical efficiency in competing panel data models: A study of Norwegian grain farming[J]. *Journal of Productivity Analysis*, 2014, 41(2): 321-337
- [13] Reinhard S, Lovell C A K, Thijssen G. Econometric estimation of technical and environmental efficiency: An application to Dutch dairy farms[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1999, 81(1): 44-60
- [14] Karagiannis G, Tzouvelekas V, Xepapadeas A. Measuring irrigation water efficiency with a stochastic production frontier [J]. *Environmental and Resource Economics*, 2003, 26(1): 57- 72
- [15] Zhang T, Xue B D. Environmental efficiency analysis of China's vegetable production[J]. *Biomedical and Environmental Sciences*, 2005, 18(1): 21- 30
- [16] Wu Y R. Chemical fertilizer use efficiency and its determinants in China's farming sector: Implications for environmental protection[J]. *China Agricultural Economic Review*, 2011, 3(2): 117-130
- [17] Kumbhakar S C, Heshmati A. Efficiency measurement in Swedish dairy farms: An application of rotating panel data[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 1995, 77(3): 660-674
- [18] 国家统计局. 中国统计年鉴, 1994—2018[M]. 北京: 中国统计出版社, 1994—2018
- National Bureau of Statistics. *China Statistical Yearbook, 1994—2018*[M]. Beijing: China Statistical Press, 1994—2018 (in Chinese)
- [19] 向涛, 綦勇. 粮食安全与农业面源污染: 以农地禀赋对化肥投入强度的影响为例[J]. 财经研究, 2015, 41(7): 132-144
- Xiang T, Qin Y. Food security and agricultural non-point source pollution: Taking the impact of agricultural land endowments on fertilizer use intensity as an example[J]. *Journal of Finance and Economics*, 2015, 41(7): 132-144 (in Chinese)
- [20] 侯萌瑶, 张丽, 王知文, 杨殿林, 王丽丽, 修伟明, 赵建宁. 中国主要农作物化肥用量估算[J]. 农业资源与环境学报, 2017, 34(4): 360-367
- Hou M Y, Zhang L, Wang Z W, Yang D L, Wang L L, Xiu W M, Zhao J N. Estimation of fertilizer useage from major crops in China [J]. *Journal of Agricultural Resources and Environment*, 2017, 34(4): 360-367 (in Chinese)
- [21] Wang P P, Zhang W D, Li M H, Han Y J. Does fertilizer education program increase the technical efficiency of chemical fertilizer use: Evidence from wheat production in China[J]. *Sustainability*, 2019, 11(2): 543-556
- [22] 贺雪峰. 国有农场对农村经营体制改革的启示[J]. 华中农业大学学报: 社会科学版, 2017(3): 1-7, 149
- He X F. Enlightenment of state-owned farm on rural management system reform [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University: Social Sciences Edition*, 2017(3): 1-7, 149 (in Chinese)

责任编辑：王岩