

耕地细碎化对农户化肥使用效率的影响

史常亮¹, 张益², 郭焱³, 朱俊峰³

(1. 湖南省社会科学院经济研究所, 长沙 410003; 2. 中国热带农业科学院科技信息研究所, 海口 571101;
3. 中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 在国家提倡化肥使用零增长、减量化的背景下, 如何提高农户化肥使用效率变得至关重要。论文从技术效率角度衡量化肥使用效率, 使用回归分析和基于 R^2 的夏普里值分解方法考察了耕地细碎化对农户化肥使用效率的影响方向及程度。结果表明: (1) 农户在化肥使用上存在着较高的技术无效率, 在保持劳动力、土地等其他要素投入数量不变的情况下, 约52.51%的化肥投入可以削减且不影响产出。通过提高农户对化肥的使用和管理水平完全可以做到化肥减量而作物不减产。(2) 耕地细碎化对农户化肥使用效率具有显著负影响, 是导致农户化肥使用效率低下的一个重要原因, 能够解释农户间化肥使用效率差异12.15%, 在所有决定因素中位居第四, 仅次于村虚拟变量、水田比例和粮食作物种植比例。而且, 在细碎化程度越高的西部地区, 耕地细碎化对农户化肥使用效率差异的贡献越强。(3) 农户在化肥使用效率上的差异主要源于所在村特征和包括经营规模、种植结构、土地质量、是否加入合作社等因素在内的生产经营特征的不同; 而农户个体特征受集体决策影响, 解释力较弱。

关键词: 耕地细碎化; 化肥使用; 技术效率; 夏普里值分解

由于中国耕地基础地力偏低, 化肥作为粮食的“粮食”受到农民的格外重视。据农业部统计分析, 目前中国单位耕地化肥用量达到 328.5 kg/hm^2 , 是世界平均水平(约 120 kg/hm^2)的2.7倍, 美国的2.6倍, 欧盟的2.5倍。但是, 正如许多调查指出的那样, 化肥的大量使用也对我国生态环境造成严重影响。根据中国农业科学院在北京、山东、陕西等地的20个县600多个点位的抽样调查显示, 自1994年以来, 由于氮肥的过量施用, 我国许多地区的地下水硝酸盐含量已严重超标^[1]。除此之外, 化肥过量还被认为是导致中国地表水污染、土壤酸性和温室气体排放的重要因素之一^[2]。

面对日益严重的化肥滥用问题以及由此引发的生态环境困境, 2015年农业部出台了《到2020年化肥使用量零增长行动方案》, 提出要在保障国家粮食安全和重要农产品有效供给的同时, “力争到2020年, 主要农作物化肥使用量实现零增长”。如何在不影响粮食产量的前提下, 使化肥用量得到最大削减是政府和农民都非常关心的问题。而要实现这一目标, 关键就在于提高化肥使用效率。效率包括配置效率和技术效率。其中, 配置效率与化肥价格相关联, 而技术效率则主要与农民对化肥的使用和管理能力有关。如果管理水平低下, 即便高效的施肥方式也会导致化肥用量的非正常增加, 造成效率下

收稿日期: 2019-08-23; 修订日期: 2019-10-22

基金项目: 湖南省哲学社会科学基金项目(18YBQ080); 北京市社会科学基金项目(17LJB003); 教育部人文社会科学基金项目(18YJA790122); 国家自然科学基金项目(71973137)

作者简介: 史常亮(1988-), 男, 甘肃张掖人, 博士, 助理研究员, 研究方向为农村土地制度。

E-mail: scl2313@126.com

通讯作者: 朱俊峰(1969-), 男, 河南项城人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向为农业经济理论与政策、农村土地制度。E-mail: zhujunf501@sina.com

降。因此,本文把研究的重点放在化肥使用的技术效率(以下简称“化肥使用效率”)提高上。

技术层面的化肥使用效率指的是,在产出和其他投入要素保持不变的条件下,可能达到的潜在最小化肥使用量与实际化肥使用量的比值^[3-4]。因此,理论上那些影响农户化肥投入的因素都会影响到其使用效率。在这方面,既有实证研究文献主要沿着两个思路展开:一是建立多元回归模型,将影响农户化肥投入的各个方面因素纳入模型,力求全面考察各项影响因素;二是借鉴政策评估的思路,着重检验某一两个核心变量对农户化肥投入的影响,如农业技术培训^[5-6]、风险规避偏好^[7]、劳动力外出务工^[8]、信息不完全^[9]等。不难发现,这些研究大多是从农户个体视角出发。有研究指出,由于大田农业生产中种植决策具有较强的可模仿性,个别农户在短期内或许会因为缺乏施肥知识而不合理施肥,但在长期内农户会通过对其他农户的比较、模仿,在不断的“试错”中将化肥施用量调整至最优水平^[9]。因此,个体特征差异对农户化肥施用的解释力在长期中将会趋于减弱^[10]。

已有研究较少关注以耕地细碎化为特征的现行农地制度对农户化肥投入的影响。耕地细碎化是中国农业生产中的一个突出特征,同时也被认为是阻碍中国农业走向规模化和现代化的最大障碍因素。以往研究表明,耕地细碎化不仅阻碍了现代农业机械的采用^[11],增加了农业生产成本^[12],给粮食生产^[13]和技术效率^[14]带来负面影响;而且还会造成地块管理上的困难,降低耕地利用效率^[15]。作为农户施肥的直接受体,耕地的地块特征(如细碎化)对农户的化肥使用同样有着直接的影响。一方面,耕地细碎化程度越高,由于不便于机械作业,为保证产量,农户有增施化肥以替代人力短缺和机械投入的动机。于伟咏等^[16]发现,耕地细碎化程度越高,农户单位化肥投入强度越大。黎孔清等^[17]的研究则表明,农户拥有的地块数越多,越不利于化肥减量施用。但另一方面,细碎化的存在也为农户灵活地分配和使用劳动力和其他投入要素提供了可能,有利于其发挥精耕细作的优势,根据耕地细碎化状况来合理调整生产要素在不同地块之间的投入量,变相提高要素的使用效率。Tchale^[18]对马拉维地区、Bizimanal等^[19]对卢旺达南部地区的研究发现,耕地细碎化在某种程度上同时也意味着农户能够对投入要素达到更高质量的使用。Niroula等^[20]也认为,细碎化的地块有利于农户进行多样化种植,并根据不同作物需求来平衡使用化肥等要素。

应该指出,目前虽然已经有研究注意到除了农户自身的原因外,耕地细碎化也是影响农户化肥投入的一个重要因素。但是,在这些研究中耕地细碎化往往只是作为控制变量使用,鲜有文献系统地对二者的关系做出实证和理论上的分析。而且,已有研究对于耕地细碎化是否一定导致农户化肥使用效率低下也并没有取得完全共识。在过去,由于劳动力价格较为低廉,耕地细碎化所带来的问题可能会被相对充足的农业劳动力供给所掩盖,甚至起到引导农户合理施肥的积极作用;但近年来随着劳动力价格的攀升,零碎地块带来的较高田间管理成本和时间成本可能会诱使农户增加化肥施用以替代农业生产对劳动力的需求,从而造成化肥使用的低效率。因此,在农业劳动力日渐稀缺的背景下,有必要对耕地细碎化与农户化肥施用的关系给予再审视,实证检验耕地细碎化是否会对农户化肥使用效率产生不利影响以及影响的程度。为实现这个目的,本文将随机前沿分析应用于单一投入技术效率测定,通过技术效率方程中的估计参数和误差项计算农

户的化肥使用效率;然后建立回归模型,对耕地细碎化与农户化肥使用效率的关系进行实证检验;最后运用新近发展起来的一种基于 R^2 的夏普里值分解方法,测算耕地细碎化对农户化肥使用效率的影响程度。

1 研究方法与数据来源

1.1 研究方法

根据研究内容,本文实证过程由化肥使用效率变量提取和计量检验两个环节构成,并依序设定计量模型。

(1) 化肥使用效率估计

如何测算化肥使用效率是实证研究的首要问题。与以往文献一致,本文主要从技术效率的角度对农户化肥使用效率进行衡量,它被定义为农户达到最优技术效率时的潜在化肥投入与实际化肥投入的比值。用公式表示为:

$$FE = \frac{AFI - OFI}{AFI} = \frac{EFI}{AFI} \quad (1)$$

式中: FE 表示化肥使用效率; AFI 表示实际化肥投入数量; OFI 表示超额化肥投入数量; EFI 表示潜在化肥投入数量,亦即在当前农业生产技术条件下,为实现一定产出所需要的最优或最少的化肥投入数量。显然,与自然科学中常用的“化肥偏生产力(FTP)”指标^①相比,式(1)定义的化肥使用效率是关于化肥使用的相对效率指数,它更关注农户对化肥的使用和管理能力,而不是化肥要素本身。

利用式(1)测算化肥使用效率的关键是如何估计潜在化肥投入。常用的方法包括非参数的数据包络分析法(DEA)和参数的随机前沿分析法(SFA)。考虑到农业生产对自然环境的依赖性大,容易受到天气、自然灾害等随机因素影响^[21]。鉴于此,本文使用能够有效地区分随机扰动与技术非效率的SFA方法进行估计。具体步骤为:首先,估计个体的农业生产技术效率;然后,保持技术效率充分有效(即不存在效率损失),可观测到的最小化肥投入量与实际投入量之比即为化肥使用效率。

利用SFA估计技术效率时,需首先确定生产前沿面的函数形式。常见的有C-D函数和超越对数函数。由于本研究的重点在于技术效率测算而非考察具体生产技术的形式,简单的C-D函数就已经足够^[22]。因此,与中国农业生产研究的绝大部分文献一样,选择C-D函数作为前沿生产函数的具体形式。从而效率前沿可以表示为:

$$\ln Y_i = \beta_0 + \beta_1 \ln F_i + \beta_2 \ln S_i + \beta_3 \ln L_i + \beta_4 \ln O_i + vill_m + v_i - \mu_i \quad (2)$$

式中:下标 i 表示农户, m 表示村庄; Y_i 为总产出, F_i 、 S_i 、 L_i 、 O_i 分别代表化肥投入、土地投入、劳动力投入和除化肥外的其他投入; $vill_m$ 为村虚拟变量,用来控制村庄层面不可观测却存在系统性差异的因素,本文假定不同农户的生产前沿会随着样本村的不同而移动; v_i 为传统意义的随机误差项,代表了生产中存在的随机因素(如测量误差及气候、运气等各种不可控随机因素),假定其服从标准正态分布,即 $v_i \sim iid N(0, \sigma_v^2)$; μ_i 是非负的技术效率项,反映了农户生产对于前沿面的偏离程度,为简单起见,假定其服从均值为 λ 的指数分布,即 $\mu_i \sim iid G(\lambda, 0)$ 。同时,还假定 μ_i 与 v_i 之间相互独立,而且都与解释变量不相关。

① 指投入单位化肥所能生产的作物籽粒产量,单位为kg/kg。

在利用极大似然法 (ML) 估得式 (2) 的所有参数后, 第 i 个农户的生产技术效率 (TE) 及其相应的化肥使用效率 (FE) 可分别由式 (3) 和式 (4) 测算得出:

$$TE_i = \exp(-\mu_i) \quad (3)$$

$$FE_i = \exp(-\mu_i/\beta_i) \quad (4)$$

(2) 计量检验模型

为考察耕地细碎化对农户化肥使用效率的影响, 本文的计量检验模型设定为:

$$FE_i = \alpha + \delta frag_i + \sum \kappa_j Z_{j,i} + vill_m + \varepsilon_i \quad (5)$$

式中: FE_i 为利用 SFA 方法估得的化肥使用效率, 因为实际化肥投入总是大于或者等于潜在化肥投入, FE_i 的取值一定介于 0~1 之间; $frag_i$ 代表耕地细碎化程度, 为本文关注的核心解释变量; Z_j 表示影响农户化肥使用效率的其他因素, 作为控制变量; $vill_m$ 为村虚拟变量; ε_i 为随机误差项。

由于作为被解释变量的化肥使用效率 $FE \in [0, 1]$, 文献中一般采用双受限的 Tobit 模型对式 (5) 进行参数估计^[4,23]。然而, 从技术效率值的生成过程来看, 它只是“被定义”为实际值与最优值的比值, 并不能找到背后的潜变量, 因此, 严格来讲并不属于截断数据。McDonald^[24]认为在分析技术效率的外部影响因素时, 使用普通最小二乘法 (OLS) 得到的估计结果可能比 Tobit 模型更具有统计一致性。边文龙和王向楠^[25]同样认为不应该对技术效率值进行 Tobit 回归, 而应该将其视为分数变量, 采用分数逻辑模型 (Fractional logit regression, FLR) 进行估计。有鉴于上述认识, 本文主要使用 OLS 方法估计式 (5), 而将 Tobit 模型和 FLR 模型的估计结果作为稳健性检验。此外, 考虑到同村内不同农户的农业生产要素配置行为、化肥使用效率往往高度相关, 而在不同村庄之间则较不相关, 在估计中我们使用村庄层面的聚类 (Cluster) 标准误对组内自相关性进行修正。

1.2 变量的选取与定义

(1) 被解释变量

本文的被解释变量为化肥使用效率。为估得该变量, 需要首先确定式 (2) 中的投入产出指标。① 总产出。一般用总产量或者总产值表示。但由于不同农户所种植的农作物品种千差万别, 直接按照产量加总会有偏误, 本文用各作物的经营总收入 (包括主产品收入和副产品收入) 之和来表示。② 土地投入。以农户当年实际播种的农作物种植面积表示, 不考虑后期因自然或人为因素而导致的收获面积减少的情况。③ 化肥投入。考虑到农户施用的化肥种类复杂, 而不同种类化肥的有效元素含量不同, 很难进行折纯加权, 故使用各作物的化肥费用之和来计算农户种植业生产的化肥投入情况。④ 劳动投入。用种植业经营投工量表示 (一天按 8 小时计), 包括家庭用工和雇工两部分。⑤ 其他投入。由总费用扣除化肥费和雇工费得出。

(2) 核心解释变量

本文的核心解释变量是耕地细碎化。所谓细碎化, 是指农户经营多块面积大小不一且分散的耕地。实证研究中, 一般用地块数、地块大小或地块之间的平均距离来衡量耕地细碎化程度。由于数据库并没有提供一个可以代理地块之间距离的变量, 与郭贯成等^[13]的处理相同, 本文以农户当年经营耕地的块数作为衡量细碎化程度的指标。若耕地面积一定, 地块数越多, 代表着细碎化程度也就越高。在稳健性检验部分, 也使用了块

均面积来测度细碎化,它等于经营耕地面积/地块数,该指标是逆向指标,块均面积越大,细碎化程度越轻。在中国,耕地细碎化主要与家庭联产承包制的实施有关^[14],因此,一定程度上可以看作是农户的外生变量。

(3) 控制变量

为避免遗漏变量带来的拟合结果可信度不足问题,除耕地细碎化因素外,我们还考虑了其他因素对农户化肥使用效率的影响。具体包括以下三组:

第一组为用户个体特征变量,包括性别、年龄和受教育程度。在回归中,为了捕捉年龄与化肥使用效率之间的非线性关系(生命周期理论),还放入了年龄平方项。

第二组包括了5个家庭特征变量,它们是:①劳动力数量,用家庭中年龄在15岁以上(不含15岁)的常住人口数表示。施肥是农业耕作中的重要环节,作业繁琐、劳动强度大,故劳动力的供给状况会在一定程度上影响农户化肥使用效率。②家庭资产,用年末拥有居住房屋原值表示。房屋资产价值在一定程度上反映了农户家庭的经济水平,因此能够用来衡量农户在化肥使用方面是否受到资金约束。家庭经济条件越好,农户购买和使用化肥面临的资金约束越小,越可能过量施肥;但同时经济条件越好的农户抗风险能力也越强,越可能积极使用新的化肥品种和技术,化肥使用反而可能会越合理^[6]。③家庭经营主业,用一个二值虚拟变量表示。取值为1表示以农业经营为主,取值为0表示以非农业经营为主。农户精力有限,兼业化不仅不利于对农产品的精细化、高品质的生产^[12],而且还会导致化肥使用的低效率。④外出务工劳动力比例。外出务工一方面导致家庭劳动力减少,促使农户在生产中投入更多的化肥以弥补农业劳动力的不足;另一方面增加了劳动力的务农机会成本,在时间约束和节约劳动力成本的驱使下,农户倾向于“一炮轰”的一次性施肥方法,从而造成对化肥的浪费^[8,23]。⑤农业技术培训状况,用一个二值虚拟变量表示。只要家庭中有人受过农业技术教育或者培训,即赋值为1;否则取值为0。一般假设这个变量与农户化肥投入之间有负向的关系,但也可能是正向关系。

第三组变量与农户的生产经营特征有关,包括:①经营规模,用年末实际经营耕地面积表示。一般而言,规模越大,农户越容易接受科学施肥的理念和技术,化肥使用的规模经济性也更容易得到表达,从而有利于化肥使用效率的提高^[26]。考虑到可能存在最优耕地经营规模,回归时还加入了经营耕地面积的平方项。②土地质量,用年末实际经营耕地中水田地地所占比例表示。农户化肥的施用与土地质量有很大关系。相比于旱地,水田有机质和全氮的含量更高,为减少化肥用量的同时又不减产提供了较好的土壤条件^[27]。③种植结构,用播种总面积中粮食作物播种面积所占比例表示。研究表明,中国经济作物上的化肥利用效率^②要高于粮食作物^[28],因此种植结构的变化会对化肥使用效率产生影响。④是否参加合作社。一方面,农户加入合作社能够及时获得合作社提供的施肥技术指导服务,进行科学施肥;另一方面,由于合作社对农产品的质量要求相对较高,在化肥用量上有严格的标准,因此,参加合作社也为农户合理使用化肥提供了可能^[6]。

1.3 数据来源

本文使用的数据来源于两个部分:一个是农业部农村固定观察点2015年全国范围的农户抽样调查。该调查使用家户和个人两级问卷,通过记账式调查的方式详细记录了每个样本农户的生产、就业、消费和收入情况。另一个是课题组于2016年夏进行的

② 这里的效率实质上是化肥偏生产力(FTP)。

回溯性调查。这次调查的样本也是利用固定观察点的网络对各个省加以分层随机抽样得来的,并且同样由固定观察点负责完成,保证了数据的可靠性。两个调查针对的是同一批农户,将其横向合并在一起,形成本文研究最终使用的数据。初始样本涵盖了除北京、天津、上海、浙江^③、海南和西藏外的25省(市、自治区)186个观察点村的3278户农户。

依照估计的模型设定,对这3278份样本进行了筛选和清理。首先,由于本文重点关注农户在种植业生产中的化肥使用情况,因此仅选择从事种植业(包括粮食作物和经济作物^④)的农户;其次,为使选择样本更好服务于研究目标,剔除缺乏有效投入产出信息和研究变量观测值缺失的样本;最后,基于样本代表性考虑,剔除样本量不足8户的村庄样本。经过上述处理过程,最终得到2720个有效农户样本,涵盖全部25个省(市、自治区)的164个村庄。需要说明的是,在清理投入产出数据时,考虑到同一个村庄内部的农户生产技术差异、每亩平均投入差异通常不会太大,为避免样本的大量损失,采用村均值对数据中缺失的投工量进行了替代和补充。

1.4 数据统计性描述

表1给出了各变量的描述性统计结果。本研究比较感兴趣的是耕地细碎化指标。调查显示,样本户耕地细碎化情况较为普遍且严重,平均每户经营耕地的块数达到6.23块,其中经营耕地块数为1块的农户只有157户,占5.77%;绝大多数农户经营耕地的块数都在2~7块之间,占68.82%;另有10.77%农户经营的耕地块数超过了12块,最多的一户甚至达到168块。从块均面积看,被调查农户平均每户经营耕地0.81 hm²,但块均面积只有0.17 hm²,其中有37.21%农户所经营耕地的块均面积不足0.07 hm²。从地块大小看,所有地块中,面积不足0.07 hm²的地块占56.90%,而面积超过0.33 hm²的地块只占到6.85%(图1)。从全国分区来看,东、中、西部地区户均经营耕地块数分别为4.76块、5.96块和8.40块,块均面积分别为0.14 hm²、0.22 hm²和0.13 hm²,说明中国耕地细碎化存在明显的区域差异,相较于东、中部地区,西部地区的细碎化问题更为严重。

2 结果分析

2.1 化肥使用效率估计

首先采用SFA方法估计农户化肥使用效率。表2中,两种方法对解释变量给出的系数大小及显著性水平高度一致,表明本文的农户生产函数设定和估计是可靠和稳健的。用于判断无效率项是否存在的单边广义似然比(LR)检验在1%显著性水平上高度拒绝了“ $\sigma_u=0$ ”的原假设,即认为样本数据中存在着技术非效率项,基于OLS估计的系数将是偏的,本文中SFA模型的设定得到了检验的支持;进一步地,技术无效率项和随机误差项的标准差比值 λ 为0.877,且在1%的水平上通过显著性检验,同样表明样本农户生产中存在技术无效率的状况,采用SFA模型的ML估计要优于平均生产函数的OLS估计。

基于SFA模型参数估计结果,使用式(3)和式(4)可以预测得到每个农户的种植业生产技术效率和化肥使用效率。图2给出了其Kernel密度分布。所有的效率值都低于

^③ 在回溯调查中,浙江省因为只抽调了1个村的8户农户,予以舍弃。

^④ 粮食作物主要包括小麦、稻谷、玉米、大豆和薯类,经济作物主要包括棉花、油料、糖料、麻类和烟草作物等。

表1 变量定义及描述统计

Table 1 Variable definition and descriptive analysis

项目	变量名称	定义或度量方法	均值	标准差
投入产出	总产出	经营总收入/元	13813.84	20412.20
	化肥投入	化肥费/元	1885.45	2660.26
	土地投入	播种面积/hm ²	0.92	1.48
	劳动投入	投工量/工日	105.81	105.64
	其他投入	除化肥费外的其他费用/元	3608.44	7577.25
被解释变量	化肥使用效率	农户化肥使用技术效率, 利用SFA方法估计得出	0.47	0.16
核心解释变量	耕地细碎化_地块数	当年经营耕地的块数/块	6.23	7.75
	耕地细碎化_块均面积	当年经营耕地面积/地块数/(hm ² /块)	0.17	0.46
户主个体特征	性别	男=1, 女=0	0.96	0.20
	年龄	实际年龄/岁	56.24	10.25
	受教育程度	在校年数/年	7.12	2.51
家庭特征	劳动力数量	15岁以上劳动年龄人口/人	3.35	1.23
	家庭资产	年末居住房屋原值/元	67674.32	85171.53
	家庭经营主业	农业=1, 非农业=0	0.90	0.30
	外出务工劳动力比例	家庭劳动力中外务工劳动力 ^a 占比	0.17	0.22
生产经营特征	是否有人受过农业培训	是=1, 否=0	0.15	0.36
	种植结构	粮食作物 ^b 播种面积/种植业播种总面积	0.20	0.24
	经营规模	年末实际经营耕地面积/hm ²	0.81	1.34
	土地质量	有水田面积 ^c /经营耕地总面积	0.52	0.44
	是否参加合作社	是=1, 否=0	0.05	0.22

注: a. 指到本乡镇地域外从业时间超过180日的劳动力。b. 包括小麦、稻谷、玉米、大豆和薯类。c. 为直接垦造的水田和水浇地面积之和。

1, 说明农户不仅在种植业生产中存在普遍的技术无效率, 而且在化肥节约施用同样存在很大的改进空间。其中, 生产技术效率的均值为0.869, 说明在维持要素投入不变的情况下, 如果能够消除技术无效率, 总产出将有机会再增长13.08%。化肥使用效率的均值为0.475, 根据其定义, 这意味着, 在保持其他要素投入数量与产出水平不变的情况下, 如果能够消除技术无效率, 化肥投入量最大可以削减52.51%。换言之, 当前有超过一半的化肥投入是无效的。另外注意到, 比起生产技术效率, 化肥使用效率的Kernel密度曲线更加平坦, 说明不同农户间的化肥使用效率差异相对更大。

2.2 耕地细碎化和化肥使用效率的关系回归

表3是对耕地细碎化与农户化肥使用效率关系式的OLS回归结果。可以看到, 在不

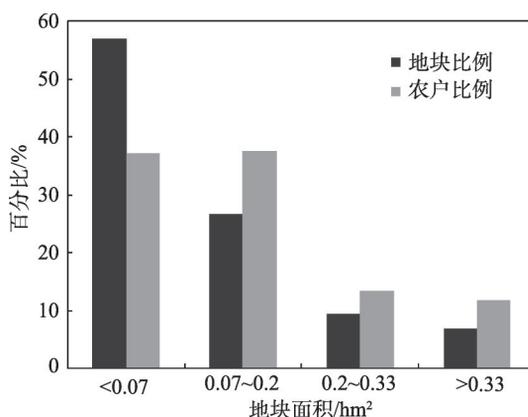


图1 耕地细碎化状况

Fig. 1 The situation of land fragmentation

同模型设定下,耕地细碎化变量的估计结果表现出很高的稳定性,系数方向维持不变,系数的大小和显著性只发生较小的变化。而且,所有结果都一致表明,耕地细碎化会显著降低农户的化肥使用效率。在其他因素相同的情况下,地块数多增加1块,化肥使用效率下降0.002。尽管数值较小,但考虑到模型中化肥使用效率取值范围为0~1,回归结果具有经济意义。进一步分析其原因,一方面可能在于化肥的使用存在一定的规模效应,而地块增多使得农户无法实现规模化种植,不利于化肥规模经济性的表达,进而导致化肥使用的低效率;另一方面,耕地细碎化程度越高,越不利于机械作业,为减少人力投入,农户倾向于增加化肥施用,也会造成化肥使用效率的下降。

观察表3第(1)~(4)列,发现当加入户主个人特征变量和农户家庭特征变量后,耕地细碎化的估计系数和显著性并未发生实质性的变化。这印证了胡浩和杨泳冰^[10]的观点:由于农户化肥施用决策具有较强的模仿性,个体特征差异对农户化肥施用的影响在长期中将会减弱。但是,当加入生产经营特征变量之后,发现耕地细碎化估计系数的绝对值有明显增大。这说明,相比之下,生产经营环境对农户化肥施用起着更重要的解释

作用。其中,经营规模对化肥使用效率影响呈“U”型,说明只有生产达到一定规模(本文中为8.09 hm²),化肥使用效率才能得以提升;粮食作物种植比例与化肥使用效率呈显著负相关,说明比起粮食作物,种植经济作物相对具有更高的化肥使用效率;土地质量也显著影响到化肥使用效率,经营耕地中水田比例越大,化肥使用效率越高;是否参加合作社的估计系数显著为正,说明合作社显著改进了农户化肥使用效率。另外,家庭特征变量中,外出务工劳动力比例对化肥使用效率具有显著负影响,与预期判断相符,说明提高化肥使用效率,除应用自然科学手段外(如测土配方施肥技术),还应当重视外部社会经济条件的变化,充分考虑到劳动力外出务工带来的负面影响。

表2 随机前沿生产函数参数估计结果

Table 2 The parameter estimation results of stochastic frontier production function

变量	OLS	SFA
化肥投入(对数)	0.196*** (0.015)	0.172*** (0.014)
土地投入(对数)	0.478*** (0.019)	0.567*** (0.019)
劳动投入(对数)	0.074*** (0.012)	0.049*** (0.011)
其他投入(对数)	0.239*** (0.014)	0.196*** (0.013)
村虚拟变量	已控制	已控制
截距项	4.458*** (0.112)	4.999*** (0.105)
Log likelihood	33.011	126.021
R ²	0.956	
单边广义LR检验(H ₀ : σ _v =0)		186.019 [0.000]
λ=σ _v /σ _u		0.877*** (0.010)
样本量/个	2720	2720

注:圆括号内为标准误,方括号内为相应检验的概率P值;限于篇幅,略去村虚拟变量的汇报结果;***、**、*分别表示在1%、5%和10%水平上显著,下同。

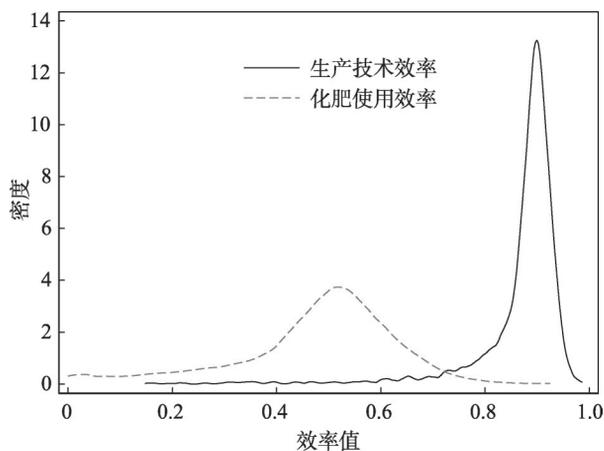


图2 农户生产技术效率与化肥使用效率
Kernel密度分布

Fig. 2 The kernel density distribution of TE and FE

表3 基准回归结果

Table 3 The benchmark regression results

变量	(1)	(2)	(3)	(4)
	耕地细碎化	户主个人特征	家庭特征	生产经营特征
耕地细碎化_地块数	-0.002*** (0.001)	-0.002*** (0.001)	-0.002*** (0.001)	-0.002** (0.001)
户主性别 (男=1)		0.035(0.022)	0.033 (0.022)	0.035 (0.023)
户主年龄 (对数)		0.215(0.446)	0.306 (0.457)	0.287 (0.452)
户主年龄平方 (对数)		-0.026 (0.057)	-0.038 (0.059)	-0.036 (0.058)
户主受教育年限		-0.001 (0.002)	-0.001 (0.002)	-0.001 (0.002)
劳动力数量			0.004(0.003)	0.005 (0.004)
家庭资产 (对数)			-0.003 (0.025)	0.002 (0.026)
家庭经营主业 (农业=1)			0.003(0.129)	0.030 (0.130)
外出务工劳动力比例			-0.052*** (0.020)	-0.055*** (0.020)
是否受过农业培训 (是=1)			-0.003 (0.014)	-0.006 (0.014)
粮食作物种植比例				-0.156** (0.063)
经营耕地面积/100				-0.213** (0.091)
经营耕地面积平方/10000				0.088**(0.037)
水田比例				0.063**(0.028)
是否参加合作社 (是=1)				0.029*(0.016)
常数项	0.505*** (0.001)	0.037 (0.867)	-0.130 (0.885)	-0.070 (0.871)
村虚拟变量	已控制	已控制	已控制	已控制
R ²	0.085	0.087	0.090	0.108
样本量/个	2720	2720	2720	2720

注: 圆括号内为村级聚类稳健标准误; 限于篇幅, 略去村虚拟变量的汇报结果。

2.3 稳健性检验

为了验证上述实证结论的可靠性, 本文从以下三个方面进行稳健性检验:

(1) 核心变量的稳健性。从耕地完整性的视角, 耕地的完整度越高, 细碎化程度越低, 当研究区内只有一块耕地时, 该区域耕地完整度最高, 细碎化程度最低。因此, 准确地讲, 细碎化是指农户经营至少一块以上且分开的耕地。为此, 我们将样本中经营耕地地块数为1块的农户剔除, 用剩余样本进行稳健性检验。从表4第(1)列可以看出, 剔除了这157个农户的数据后, 耕地细碎化变量的系数和显著性并没有发生实质性改变。此外, 关于耕地细碎化, 除了用地块数衡量外, 还可以用一个反向指标——块均面积来衡量。表4第(2)列的回归结果显示, 以块均面积衡量的耕地细碎化与化肥使用效率在5%水平上显著正相关, 即块均面积越大, 化肥使用效率越高。同样说明, 本文的结论并没有因耕地细碎化度量方式的影响而出现差异。

(2) 估计方法的稳健性。根据对被解释变量——化肥使用效率分布的不同认识, 对估计方法的稳健性进行检验。首先, 将化肥使用效率看作是介于0~1之间的截断数据, 使用双受限的Tobit模型进行估计; 其次, 将化肥使用效率视为分数变量, 采用分数逻辑模型(FLR)进行估计。从表4第(3)、第(4)列可以看出, 与基准OLS回归结果相比, 三种估计方法结果的变量系数符号都一致, 并且在数值上也没有呈现出非常大的差异, 证明了模型估计方法的稳健性。

表4 稳健性检验结果
Table 4 The robustness test results

变量	更换度量方式		更换估计方法		极端值缩尾
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	OLS	OLS	FLR	Tobit	OLS
耕地细碎化_地块数	-0.002*** (0.001)		-0.002*** (0.001)	-0.002*** (0.001)	-0.004*** (0.001)
耕地细碎化_块均面积		0.003** (0.001)			
控制变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
村虚拟变量	已控制	已控制	已控制	已控制	已控制
(Pseudo) R^2	0.107	0.108	0.008	0.134	0.110
样本量	2563	2720	2720	2720	2720

注：1. 圆括号内为村级聚类稳健标准误。2. 第(3)、第(4)列报告的是边际效应系数。3. 限于篇幅，略去控制变量、村虚拟变量和常数项的汇报结果。

(3) 考虑极端值的影响。从描述性统计的结果可以看出，被解释变量、核心解释变量以及少数控制变量的数值差异较大，存在极端值的情况。例如，化肥使用效率的最小值接近于0，而最大值却高达0.925；衡量耕地细碎化程度的地块数的最小值为1，最大值却达到了168。为避免极端值对估计结果的干扰，对所有连续变量按1%和99%水平进行缩尾处理，然后重新估计化肥使用效率和进行OLS回归。表4第(5)列的估计结果显示，在剔除极端值影响后，估得的化肥使用效率为0.469，与前文结果十分接近；回归方程中耕地细碎化的系数和显著性亦没有实质性变化，表明上文的基准结果在缩尾样本下依然是稳健的。

2.4 基于 R^2 的夏普里值分解分析

图2显示，虽然总体上样本农户的化肥使用效率偏低，但也有部分农户落在了Kernel密度分布图的最右端，效率较高。为了弄清农户间化肥使用效率差异形成的原因，在对式(5)进行OLS回归的基础上，进一步进行基于 R^2 的夏普里值分解^⑤。结果报告在表5^⑤。可以看到，无论对于总体样本还是东中西分地区样本，耕地细碎化在农户化肥使用效率差异形成中均起到非常重要的作用。其中在总体样本中，耕地细碎化的贡献度为12.15%，在所有决定因素中仅次于村庄哑变量（该变量包含信息最多）、水田比例和粮食作物种植比例，位居第四。而在分地区样本中，该作用尽管有所差异，但就同地区样本而言，其仍然是导致农户化肥使用效率差异的关键因子。具体而言，在细碎化问题最为严重的西部地区，耕地细碎化能解释农户间化肥使用效率差异的14.16%；而在细碎化程度较轻的中、东部地区，耕地细碎化的贡献虽有所下降，但仍然分别解释了该地区样本11.94%、10.67%的化肥使用效率差异。在细碎化程度越高的地区，耕地细碎化对农户化肥使用效率差异的贡献越强，这进一步证明了在引致农户化肥使用低效率的因素中，耕地细碎化是一个极为重要的因素。

⑤ 夏普里值分解法不仅能分解出各具体因素的单独贡献，而且还可以对变量进行分组，估计出各组的总体贡献程度。本文将所有解释变量分成5组，其中户主性别、年龄（及其平方）、受教育年限记为户主个人特征；劳动力数量和外出务工劳动力比例、家庭资产、家庭经营主业、是否受过农业培训记为家庭特征；粮食作物种植比例、经营耕地面积（及其平方）、水田比例、是否参加合作社记为生产经营特征；耕地细碎化单独记为一组；村虚拟变量记为另一组。

表5 夏普里值分解结果

Table 5 The Shapley decomposition results

(%)

变量	总体	东部	中部	西部
耕地细碎化	12.15	10.67	11.94	14.16
户主个人特征	2.23	5.20	6.84	4.58
家庭特征	3.60	10.61	7.93	4.16
生产经营特征	34.43	32.54	18.76	30.20
村庄特征	47.59	40.98	54.54	46.90

注:根据国家统计局对东中西三大地区的划分标准,东部包括辽宁、河北、山东、江苏、福建、广东;中部包括黑龙江、吉林、河南、山西、安徽、江西、湖北、湖南;西部包括内蒙古、四川、重庆、陕西、甘肃、宁夏、青海、新疆、贵州、云南、广西。

其他控制变量中,代表村庄特征的虚拟变量解释了47.59%的化肥使用效率差异,在所有决定因素中排在第一位。村虚拟变量代表了村际间不可观测却存在系统性差异的因素,比如气候、地形、土壤、种植文化传统等,它们成为影响农户化肥使用效率差异形成的主要因素。包括粮食作物种植比例、经营规模、水田比例、是否参加合作社在内的生产经营特征因素在在农户化肥使用效率差异形成中也起较大作用,贡献度为34.43%,仅次于农户所在村特征变量的贡献。而包括性别、年龄、受教育年限在内的户主个人特征因素和包括外出务工劳动力数量、家庭资产、家庭经营主业、是否受过农业培训在内的家庭特征因素分别只解释了2.23%、3.60%的化肥使用效率差异,两者比例都不是很高。这一发现再次说明,受某种集体决策的影响,农户个体特征对化肥使用效率差异的解释力较弱。

3 结论与讨论

在当前国家提倡“化肥零增长”的大背景下,如何提高农户化肥使用效率变得至关重要。本文从技术方面衡量化肥使用效率,并分析耕地细碎化对农户化肥使用效率的影响方向和程度。研究表明:(1)农户在化肥使用上存在较高的技术无效率,平均化肥使用效率只有0.475,也就是说,在保持土地、劳动力等其他要素投入数量不变的情况下,约52.51%的化肥投入量可以减少且不影响产出。(2)耕地细碎化对农户化肥使用效率具有显著的负影响,在其他因素相同的情况下,地块数多增加1块,化肥使用效率下降0.002。这一结果在不同的变量定义、估计方法和缩尾样本下均稳健。(3)耕地细碎化是导致农户化肥使用效率差异形成的重要原因,能够解释总体化肥使用效率差异的12.15%,在全部变量中仅次于村虚拟变量、水田比例和粮食作物种植比例,位居第四。而且越是在细碎化程度高的地区,耕地细碎化对农户化肥使用效率差异的贡献越强。(4)农户在化肥使用效率上的差异主要源于家庭所在村特征(该变量尽可能多地囊括了影响农户化肥使用效率的不可观测因素)和生产经营特征(如生产规模、种植结构、土地质量、是否加入合作社等)的不同;而农户个体特征受集体决策影响,解释力相对较弱。

以上结论对当前正在进行的土地整理及化肥减量行动具有重要政策启示。首先,本文从技术效率的角度证明了目前农户化肥使用是不合理的,存在无效投入,适当减少这

部分不合理施肥非但不会降低总产出,反而有利于提高整体技术效率。这就为国家“化肥零增长行动方案”的实施提供了理论依据。其次,本研究表明耕地细碎化是导致农户化肥使用效率低下的重要原因。因此,可以将减轻农户经营耕地的细碎度作为提高化肥使用效率的一个有效途径。按照成因,细碎化可以分为自然细碎化(如形状、分布)和经营细碎化(如面积、权属)。因此,若要降低耕地细碎化程度,也应该从这2个方面着手。其中,对于由面积和权属等因素形成的经营细碎化可通过土地确权、培育土地流转市场等手段进行调节,而对于由形状和分布等因素形成的自然细碎化则只能从工程的角度进行治理,如土地平整、土地综合开发等。基于此,提出以下两点政策建议:(1)全面贯彻落实土地“三权分置”政策和土地确权登记颁证工作,加大对农村土地流转市场的培育和完善的力度,发展土地流转中介服务机构,并加快形成以土地流转平台为基础的土地流转服务体系,为土地的顺畅流转创造良好制度环境。(2)积极推进土地整治、田型调整和高标准农田建设,通过土地的合并、平整、明渠改暗渠等手段促成土地的规模整合,以解决由自然条件形成的耕地细碎化问题。

参考文献(References):

- [1] 张维理,武淑霞,冀宏杰,等. 中国农业面源污染形势估计及控制对策I. 21世纪初期中国农业面源污染的形势估计. 中国农业科学, 2004, (7): 1008-1017. [ZHANG W L, WU S X, JI H J, et al. Estimation of agricultural non-point source pollution in China and the alleviating strategies I. Estimation of agricultural non-point source pollution in China in early 21st century. *Scientia Agricultura Sinica*, 2004, (7): 1008-1017.]
- [2] LIU X, DUAN L, MO J, et al. Nitrogen deposition and its ecological impact in China: An overview. *Environmental Pollution*, 2011, 159(10): 2251-2264.
- [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. 农业技术经济, 2015, (11): 69-78. [SHI C L, ZHU J F, LUAN J. Analysis of the efficiency and the influencing factors of wheat chemical fertilizer input in China: Positive study based on 15 major wheat-farming provinces in China. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015, (11): 69-78.]
- [4] WU Y. Chemical fertilizer use efficiency and its determinants in China's farming sector: Implications for environmental protection. *China Agricultural Economic Review*, 2011, 3(2): 117-130.
- [5] HUANG J, HU R, CAO J, et al. Training programs and in-the-field guidance to reduce China's overuse of fertilizer without hurting profitability. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2012, 67(4): 321-327.
- [6] 应瑞瑶,朱勇. 农业技术培训方式对农户农业化学投入品使用行为的影响: 源自实验经济学的证据. 中国农村观察, 2015, (1): 50-58. [YING R Y, ZHU Y. The impact of agricultural technical training on farmers' agrochemical use behavior: Evidence from experimental economics. *China Rural Survey*, 2015, (1): 50-58.]
- [7] 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. 中国农村经济, 2014, (3): 85-96. [QIU H G, LUAN H, LI J, et al. The impacts of risk aversion on farmer's households' behavior of overusing chemical fertilizers. *Chinese Rural Economy*, 2014, (3): 85-96.]
- [8] 张舰,亚伯拉罕·艾宾斯坦,玛格丽特·麦克米伦,等. 农村劳动力转移、化肥过度使用与环境污染. 经济社会体制比较, 2017, (3): 149-160. [ZHANG J, EBENSTEIN A, MARGARET M, et al. Migration, excessive fertilizer use and environmental consequences. *Comparative Economic & Social Systems*, 2017, (3): 149-160.]
- [9] 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. 农业技术经济, 2016, (2): 14-22. [JI Y Q, ZHANG H, LU W Y, et al. Differentiation, incomplete information and farmer's excessive application of fertilizer. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2016, (2): 14-22.]
- [10] 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. 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. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2015, (3): 84-91.]

- [11] 王水连, 辛贤. 土地细碎化是否阻碍甘蔗种植机械化发展?. 中国农村经济, 2017, (2): 16-29. [WANG S L, XIN X. Does land fragmentation hinder the implementation of sugarcane planting mechanization?. Chinese Rural Economy, 2017, (2): 16-29.]
- [12] 卢华, 胡浩. 土地细碎化增加农业生产成本了吗? 来自江苏省的微观调查. 经济评论, 2015, (5): 129-140. [LU H, HU H. Does land fragmentation increase agricultural production costs? A microscopic investigation from Jiangsu province. Economic Review, 2015, (5): 129-140.]
- [13] 郭贯成, 丁晨曦. 土地细碎化对粮食生产规模报酬影响的量化研究: 基于江苏省盐城市、徐州市的实证数据. 自然资源学报, 2016, 31(2): 202-214. [GUO G C, DING C X. Quantitative research of the impact of land fragmentation on scale returns of grain production: Based on empirical data of Yancheng city and Xuzhou city in Jiangsu province. Journal of Natural Resources, 2016, 31(2): 202-214.]
- [14] TAN S, HEERINK N, KUYVENHOVEN A, et al. Impact of land fragmentation on rice producers' technical efficiency in South-East China. NJAS-Wageningen Journal of Life Sciences, 2010, 57(2): 117-123.
- [15] 李鑫, 欧名豪, 马贤磊. 基于景观指数的细碎化对耕地利用效率影响研究: 以扬州市里下河区域为例. 自然资源学报, 2011, 26(10): 1758-1767. [LI X, OU M H, MA X L. Analysis on impact of fragmentation based on landscape index to cultivated land use efficiency: A case on Lixiahe district in Yangzhou city. Journal of Natural Resources, 2011, 26(10): 1758-1767.]
- [16] 于伟咏, 漆雁斌, 何悦, 等. 水稻灌溉用水效率和要素禀赋对化肥面源污染的影响: 基于分位数回归的分析. 农业环境科学学报, 2017, 36(7): 1274-1284. [YU W Y, QI Y B, HE Y, et al. The effect of rice irrigation efficiency and related factors on fertilizer non-point source pollution based on quantile regression. Journal of Agro-Environment Science, 2017, 36(7): 1274-1284.]
- [17] 黎孔清, 马豆豆. 生态脆弱区农户化肥减量投入行为及决策机制研究: 以山西省4县421户农户为例. 南京农业大学学报: 社会科学版, 2018, 18(5): 138-145. [LI K Q, MA D D. On the investment behavior and decision mechanism of farmers' fertilizer reduction in ecologically vulnerable regions. Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition, 2018, 18(5): 138-145.]
- [18] TCHALE H. The efficiency of smallholder agriculture in Malawi. African Journal of Agricultural and Resource Economics, 2009, 3(2): 101-121.
- [19] BIZIMANAL C, NIEUWOUDT W, FERRER S. Farm size, land fragmentation and economic efficiency in Southern Rwanda. Agrekon: Agricultural Economics Research, Policy and Practice in Southern Africa, 2004, 43(2): 244-262.
- [20] NIROULA G S, THAPA G B. Impacts and causes of land fragmentation, and lessons learned from land consolidation in South Asia. Land Use Policy, 2005, 22(4): 358-372.
- [21] REINHARD S, LOVELL C A K, THIJSSSEN G. Econometric estimation of technical and environmental efficiency: An application to Dutch dairy farms. American Journal of Agricultural Economics, 1999, 81(1): 44-60.
- [22] TAYLOR T G, SHONKWILER J S. Alternative stochastic specifications of the frontier production function in the analysis of agricultural credit programs and technical efficiency. Journal of Development Economics, 1986, 21(1): 149-160.
- [23] 史常亮, 朱俊峰, 栾江. 农户化肥施用技术效率及其影响因素分析: 基于4省水稻种植户的调查数据. 农林经济管理学报, 2015, 14(3): 234-242. [SHI C L, ZHU J F, LUAN J. Fertilizing technical efficiency and its determinants: Based on rice farmers' data in four provinces. Journal of Agro-Forestry Economics and Management, 2015, 14(3): 234-242.]
- [24] MCDONALD J. Using least squares and Tobit in second stage DEA efficiency analyses. European Journal of Operational Research, 2009, 197(2): 792-798.
- [25] 边文龙, 王向楠. 面板数据随机前沿分析的研究综述. 统计研究, 2016, 33(6): 13-20. [BIAN W L, WANG X N. A literature review on the stochastic frontier analysis in panel data. Statistical Research, 2016, 33(6): 13-20.]
- [26] 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. 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. Impact of farmland scale and stability on fertilizer input: Taking rice production of four counties of Jiangsu province as example. Journal of Nanjing Agricultural University: Social Sciences Edition, 2017, 17(4): 85-94.]
- [27] 吴锋, 战金艳, 邓祥征, 等. 中国湖泊富营养化影响因素研究: 基于中国22个湖泊实证分析. 生态环境学报, 2012, 21(1): 94-100. [WU F, ZHAN J Y, DENG X Z, et al. Influencing factors of lake eutrophication in China: A case study in 22 lakes in China. Ecology and Environmental Sciences, 2012, 21(1): 94-100.]

- [28] 潘丹. 中国化肥消费强度变化驱动效应时空差异与影响因素解析. 经济地理, 2014, 34(3): 121-126. [PAN D. The spatial-temporal difference of driving effects for fertilizer use intensity change and its determinants in China. Economic Geography, 2014, 34(3): 121-126.]
- [29] HUETTNER F, SUNDER M. Axiomatic arguments for decomposing goodness of fit according to Shapley and Owen values. Electronic Journal of Statistics, 2012, 6: 1239-1250.

The impact of land fragmentation on farmer's chemical fertilizer use efficiency

SHI Chang-liang¹, ZHANG Yi², GUO Yan³, ZHU Jun-feng³

(1. Institute of Economics, Hunan Academy of Social Sciences, Changsha 410003, China;

2. Institute of Scientific and Technical Information CATAS, Haikou 571101, China;

3. College of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: In the background that China strongly advocated the chemical fertilizer use reduction and zero growth, how to improve chemical fertilizer use efficiency by farmers has become a crucial issue. This paper measures the chemical fertilizer use efficiency from the perspective of technical efficiency and analyzes the influence direction and degree of land fragmentation on the chemical fertilizer use efficiency through regression analysis and Shapley value framework based on R^2 . The results show that: (1) The technical inefficiency is high in the use of chemical fertilizers. In the case of other inputs such as unchanged labor and land, about 52.51% of fertilizer input can be reduced with no effect on the yield. Therefore, this could sufficiently achieve the aim of fertilizer reduction with no effect on the yield by improving the management level of farmer's fertilizer use. (2) The land fragmentation has a significant negative impact on chemical fertilizer use efficiency. All other factors being equal, each block of land increase could lead to a fertilizer use efficiency decrease of 0.002. This conclusion is robust to different variable definitions, estimating methods and winsorized sample. In addition, the Shapley value decomposition result shows that land fragmentation is also an important reason for low chemical fertilizer use efficiency of Chinese farmers. On the whole, land fragmentation can conduct 12.15% of farmer's chemical fertilization efficiency variance which is fourth in all the factors only next to village dummy variables, paddy field ratio and food crop planting ratio. Moreover, the contribution of the land fragmentation to chemical fertilizer use efficiency difference is stronger in the western region where the fragmentation is relatively high. (3) The difference in the chemical fertilization efficiency mainly depends on local village characteristics and the characteristics of production and management including the management scale, plantation structure, land quality, and whether or not to join the cooperative. However, the explanation of farmer's individual characteristics influenced by collective decision to chemical fertilizer use efficiency is relatively weak.

Keywords: land fragmentation; chemical fertilizer use; technical efficiency; Shapely value decomposition