

吴刚, 钟钰. 地块规模与化肥投入: 减施逻辑及其证据[J]. 华中农业大学学报, 2024, 43(3): 27-38.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2024.03.004

地块规模与化肥投入: 减施逻辑及其证据

吴刚, 钟钰

中国农业科学院农业经济与发展研究所, 北京 100081

摘要 本文基于诱致性技术变迁理论分析地块规模约束下的化肥减施逻辑, 利用2020年中国乡村振兴综合调查(CRRS)7个省(自治区)的玉米种植户数据, 运用两阶段最小二乘法(two-stage least squares regression, 2SLS)分析地块规模对化肥投入的影响。实证结果表明: 扩大地块规模可以降低化肥投入强度, 提高化肥投入效率。异质性分析发现, 与小农户相比, 规模农户扩大地块规模对化肥减施的影响更大; 对于化肥投入强度越高、投入效率越低的农户, 扩大地块规模对化肥投入的影响越大。进一步的分析发现, 机械作业替代农业劳动, 是扩大地块规模促进化肥减施的作用机制。

关键词 地块规模; 化肥投入; 化肥投入强度; 化肥投入效率; 机械作业

中图分类号 F321.1; F323.6 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2024)03-0027-12

改革开放以来, 我国农业取得了巨大发展, 农业综合生产能力不断提升。FAO的数据显示, 2021年, 我国以全球7.79%的耕地, 养活了18.03%的人口, 粮食生产实现连续丰收, 多年粮食产量稳定在6.5亿t以上。化肥是农业增长的重要驱动力, 在改革开放初期, 化肥投入贡献了超过1/3的农业产出增长^[1]。然而, 在边际报酬递减规律的支配下, 依靠增加化肥投入难以实现持续的产出增长, “增施化肥不增产”的现象开始显现^[2], 化肥投入强度大、效率低的问题日益突出。投入强度方面, FAO的数据显示, 2021年单位播种面积农用化肥折纯量为319.11 kg/hm², 是世界平均水平的2.58倍, 远超225 kg/hm²的国际公认化肥使用安全上限。投入效率方面, 2022年, 我国水稻、玉米、小麦三大粮食作物的化肥利用率为41.3%, 相较于欧美发达国家粮食作物50%~60%的氮肥利用率仍存在一定差距(http://www.moa.gov.cn/ztl/zyncgzh2022/pd2022/202212/t20221226_6417613.htm)。因此, 早在2015年, 原农业部印发的《到2020年化肥使用量零增长行动方案》指出, 化肥施用不合理问题与耕地禀赋、耕地利用情况、农业生产方式等相关, 要集中连片整体实施, 加快转变施肥方式, 深入推进科学施肥。2021年, 农业农村部、国家发展改革委、科技部等六部委联合印发

的《“十四五”全国农业绿色发展规划》提出, 要加强耕地质量建设, 实施新一轮高标准农田建设规划和耕地保护与质量提升行动计划, 推动农业绿色发展。

诱致性变迁理论认为, 农业资源禀赋会诱致农业技术变迁^[3]。在人多地少、耕地质量总体偏低的约束下, 农业增长依赖于农业化学品投入, 提升单位土地的农业产出^[4]。许多学者就耕地禀赋如何影响农业减量化展开研究。关于经营规模对化肥投入的影响, 已有研究主要有3种观点: 一是多数学者认同的化肥减量论, 通过农地流转等方式扩大经营规模, 有助于降低单位面积化肥投入量^[5-6], 这可能是因为较大的经营规模更加有利于农户增加固定资产投入^[7]、优化要素配置^[8]、采纳农业技术^[9]与提高人力资本^[10]。二是化肥增量论, 与规模农户相比, 小农户往往采取劳动密集型生产方式, 精耕细作可以实现化肥减施, 因此经营规模越大的农户过量施肥的可能性更大^[11-12]。三是非线性关系论, 随着经营规模扩大, 化肥施用量呈现先上升后下降的趋势^[13], 这可能和技术采纳、知识水平与农户分化有关^[14-16]。这种经营规模与化肥投入之间的“倒U”型关系可以在经营规模较大的家庭农场中观察到^[17]。总的来看, 多数学者支持扩大经营规模可以促进化肥减施的观点。

上述研究主要关注经营规模, 但“肥瘦搭配、按

收稿日期: 2023-10-25

基金项目: 国家社会科学基金重大项目(23&ZD110); 中国农业科学院科技创新工程项目(10-IAED-01-2024)

吴刚, E-mail: wugang@outlook.it

通信作者: 钟钰, E-mail: zhongyu@caas.cn

人均分”的承包制度引发的耕地细碎化问题十分突出,承包耕地平均地块面积不足 0.1 hm^2 (https://www.gov.cn/zhengce/2019-11/29/content_5456888.htm),关注地块规模对化肥投入影响更具现实意义。过小的地块规模会降低生产效率^[18]与扭曲要素配置^[19],甚至有学者将严重的耕地所有权细碎化视作一种耕地退化^[20]。现有研究主要认为,地块规模与化肥投入之间呈负向关系^[21-22]。例如,梁志会等^[23]基于湖北省水稻种植户的实证研究发现,如果扩大经营规模没有伴随着扩大地块规模,耕地细碎化将会抵消扩大经营规模带来的规模经济,甚至加剧农户增施化肥的行为^[24]。要素替代方面,在过小的地块上难以开展社会化服务^[25],农户会选择增加化肥的投入,减少使用农业机械进行作业^[26]。技术采纳方面,耕地细碎化不利于秸秆还田^[27]与配方施肥技术的采纳^[22],阻碍了农业分工,不利于化肥减量^[28]。

现有文献对耕地禀赋与化肥投入的关系进行了深入分析,部分以粮食作物为研究对象,考察经营规模和地块规模对化肥投入的影响,为本研究提供了重要借鉴。但存在2个方面的不足:一是多数研究主要关注化肥投入强度,关注化肥投入效率问题的研究相对较少;二是在关注粮食作物的相关研究中,关注水稻化肥投入的研究较多^[25,29],关注玉米化肥投入的微观研究相对较少,且研究区域主要集中在湖北、黑龙江、吉林、河南等少数省份^[30-31]。因此,本研究在以下2个方面对现有研究进行扩展:一是不仅考察多数研究关注的单位土地化肥投入强度,而且考察化肥投入效率,在保障粮食安全和重要农产品供给的背景下,关注化肥投入与作物产出的关系更具有现实意义;二是以种植面积和产量最大的玉米作为研究对象,以涵盖东部、中部、西部、东北地区的7个玉米主产省作为研究区域,考察地块规模对化肥投入的影响,是对相关研究的有益补充。

1 基于地块规模的化肥减施逻辑

速水佑次郎与弗农·拉坦的诱致性技术变迁理论认为,农业要素禀赋会诱致农业技术变迁,不同要素禀赋的国家应当选取差异化的农业增长路径^[3]。“劳动稀缺型”国家适合运用机械技术以节约劳动力,“土地稀缺型”国家适宜发展生物和化学技术以弥补耕地条件的不足。改革开放初期,我国人多地少的资源约束要求利用“土地节约型”技术,通过增施化肥、使用农药、采用良种与改善灌溉条件等^[32]释放耕地的生产潜力。提高单位面积耕地上农作物产

出,成为这一阶段农业增长的主要源泉。随着城镇化发展,农村劳动力特别是青壮年劳动力大量流向城镇非农领域,我国已跨过刘易斯拐点,农村劳动力短缺的现象已经比较普遍^[33],表现为农村劳动力价格快速上涨,要素相对价格变化推动了农业发展方向由“土地节约型”转向“劳动节约型”。

为了保证农业产出不下降,提高农业劳动生产率,需要使用其他要素替代较为昂贵的劳动投入,主要方式包括以下2种:一是发展“劳动节约型”技术,通过使用机械作业来替代农业劳动投入。然而,农业机械购置门槛高、资产专用性强,具有较强的“不可分性”。以租赁、共用等形式可以分摊购置机械的高昂投入,缓解耕地经营规模的限制。在“肥瘦搭配、按人均分”的承包制度下,我国耕地细碎化问题十分突出,这会影响机械作业效率,提高单位面积机械作业成本,阻碍机械作业替代农业劳动投入。二是利用“土地节约型”技术,通过增加化肥、农药等农业化学投入,减少因劳动投入下降带来的产出损失。与机械作业替代农业劳动投入相比,化肥、农药等农业化学投入品的价格更低,且受到耕地细碎化的影响较小,农民倾向于在短期内增加化肥投入量以纾解农业生产中劳动力投入不足的掣肘^[34]。通过合并地块、平整耕地等方式扩大地块规模,有助于发展“劳动节约型”技术,降低田埂、沟壑等对机械作业的不利影响,提高机械作业效率,减少机械作业的成本,避免因弥补劳动力投入不足增施化肥。

据此,提出研究假说1:扩大地块规模可以促进化肥减施。

图1横轴上方象限为地块规模与化肥投入之间的关系,横轴下方象限表示地块规模与机械作业之

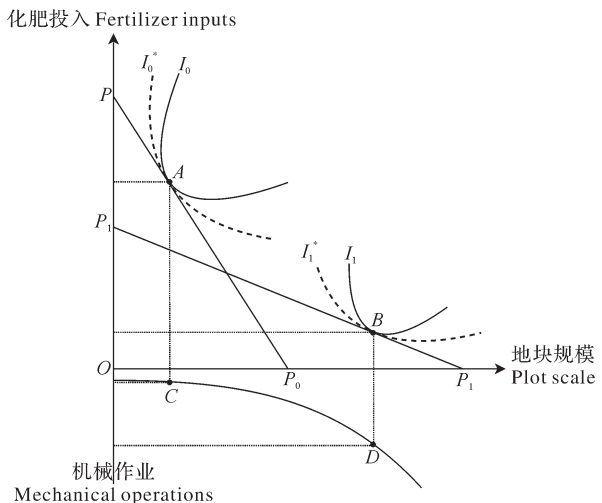


图1 理论分析图

Fig.1 Theoretical analysis figure

间的关系。曲线 I 表示当前要素禀赋约束下的单位等产量线,曲线 I^* 表示为不同要素组合下单位等产量线 I 的包络线,反映了当前的可利用技术水平;直线 P 为对应禀赋约束下的等成本线,其斜率反映了农户投入单位化肥与利用单位面积耕地的成本之比,曲线 I 与直线 P 的切点表示最优要素配置组合。在 $t=0$ 时期,地块规模较小,农业生产主要面临耕地细碎化约束,由于不利于机械耕作、难以替代劳动,利用耕地的成本较高,此时的要素最优配置组合点为 A 点,对应的机械投入情况为 C 点。在 $t=1$ 时期,随着地块规模扩大,在细碎化程度较低的耕地上开展机械作业的成本更低、效率更高,此时要素最优配置组合点从 A 点移动至 B 点,机械投入情况为 D 点。在较大的地块上,机械可以更加充分地替代劳动投入,实现化肥减施。

此外,从机械作业来看,与化肥投入相关的机械作业包括2个部分:一是使用机械施肥。与人工施肥相比,机械施肥的标准化程度高,可以实现定量控制,使得施肥更加均匀、精确,避免不均匀施肥导致的化肥过量投入^[25]。而且,机械施肥往往与耕地或播种环节同时进行,可以实现深施与精准施肥,提高农作物对肥料的吸收效果,在满足农作物养分需求的同时减少化肥的浪费,提高化肥利用效率^[35]。二是使用机械将秸秆粉碎还田。农作物秸秆中的有机质可以补充耕地肥力,秸秆粉碎还田有助于加速秸秆中的有机质转化为耕地的肥力,但粉碎秸秆往往需要机械完成,扩大地块规模可以促进农户使用机械将秸秆粉碎还田,更好发挥秸秆恢复、提升地力作用,减少农作物生长过程中对化肥投入的依赖^[36]。因此,面积更大的地块有更好的机械作业条件,通过使用机械施肥和粉碎秸秆还田,可以促进化肥减量增效。

据此,提出研究假说2:在地块规模对化肥投入的影响中,机械作业发挥正向调节作用。

2 模型、数据与变量

2.1 模型设定

为检验地块规模对化肥投入的影响,即检验假说1,构建以下基准模型:

$$F_i = \beta_0 + \beta_1 \ln S_i + \beta_2 X_i + \xi_i \quad (1)$$

其中, F_i 表示农户 i 的化肥投入情况,使用化肥投入强度与化肥投入效率来衡量, S_i 为农户种植玉米的地块规模, X_i 为控制变量。 β_0 为截距项, β_1 、 β_2 为待估计系数, ξ_i 为随机扰动项。为减小量纲,实证分析中对地块规模取自然对数。

为进一步检验地块规模对化肥投入的影响机

制,即检验假说2,构建以下模型:

$$F_i = \beta_0 + \beta_1 \ln S_i + \beta_2 \ln S_i \times M_i + \beta_3 M_i + \beta_4 X_i + \xi_i \quad (2)$$

其中, M_i 表示机械作业,其余变量设定和式(1)相同。为克服引入交互项可能带来的共线性问题,对交互项做了中心化处理。

在研究农户行为决策及其影响研究时,需要关注内生性问题^[37]。农户的经营能力等不可观测因素也可能影响农户的化肥投入行为。为克服内生性问题,使用2SLS估计地块规模对化肥投入强度与化肥投入效率的影响。地块规模主要受到农地流转市场发育程度、耕地调整等影响,流转市场越发达、地块互换与地块合并越多,农户调整地块规模的难度越小。因此,调查村其他农户与受访农户的地块规模之间存在较强的关联,但农户的施肥行为主要受其自身的家庭特征、农业经营情况等影响,调查村其他农户不会直接影响该农户的农业经营与生产决策。因此,参考Ma等^[38]的做法,本研究使用除受访农户外调查村其他农户种植玉米的平均地块规模的对数值作为工具变量。

2.2 数据来源

研究数据来源于中国社会科学院组织的中国乡村振兴调查(CRRS)数据库。2020年8—9月,CRRS共在全国10个省份开展,采用分层抽样与随机抽样相结合的方式,共抽取50个县(区)、150个乡镇、308个行政村的3833户农户。调查内容包括家庭人口特征、收支状况、耕地利用、种植结构、作物投入产出等多个方面。玉米是我国种植面积与产量最大的粮食作物,研究地块规模能否以及如何影响玉米化肥减施具有现实意义。基于CRRS数据库中黑龙江、山东、河南、四川、贵州、陕西与宁夏等7个玉米主产省(自治区)的调查数据,在剔除地块规模、化肥投入情况等指标有缺失的样本后,使用1226户玉米种植户数据进行分析。

2.3 变量界定

1)被解释变量。一是化肥投入强度(consumption intensity of chemical fertilizer, CICF),使用单位面积化肥投入量来衡量;二是化肥投入效率(consumption efficiency of chemical fertilizer, CECF),参考Zhu等^[39]的做法,使用生产50 kg玉米的化肥投入量来衡量。在稳健性检验部分,对被解释变量的定义进行了调整,使用单位面积化肥费用、生产50 kg玉米化肥费用分别表示化肥投入强度、化肥投入效率。

2)核心解释变量。地块规模参考梁志会等^[23]的做法,使用农户种植玉米的平均地块面积表示。

3)机制变量。根据前文的理论分析,选取机械作业和劳动投入作为机制变量。其中,机械作业用于检验地块规模和化肥投入的影响机制,劳动投入则用于检验机械作业是否较好替代了施肥环节的劳动投入。机械作业使用玉米种植是否机械施肥或秸秆粉碎还田来衡量,1表示使用机械作业,0表示未使用机械作业。劳动投入为种植玉米施肥环节的单位面积劳动投入量,是家庭劳动投入与雇佣劳动投入的工日数之和,雇佣劳动投入工日数使用当地农闲用工价格折算。

4)控制变量。不同要素禀赋与农户特征的施肥行为存在较大差异,为准确测度地块规模对化肥投入影响,参考高晶晶等^[2]、梁志会等^[23]、郭阳等^[18]的做法,从家庭农业劳动特征、农业经营特征、地块特征、村庄特征4个方面进行考察。上述变量的定义与描述性统计如表1所示。

表1 变量定义与描述性统计

Table 1 Variable definition and descriptive statistics

变量名称 Variable names	变量定义 Variable definition	平均值 Mean	标准差 SD
被解释变量 Dependent variables			
化肥投入强度 Consumption intensity of chemical fertilizer (CICF)			
单位面积用量 Usage per unit area	玉米每公顷化肥施用量/kg Consumption of chemical fertilizer per hectare of corn	938.813	576.790
单位面积费用* Cost per unit area*	玉米每公顷化肥费用/元 Chemical fertilizer cost per hectare of corn	2 444.910	1 707.329
化肥投入效率 Consumption efficiency of chemical fertilizer (CECF)			
50 kg 玉米用量 Usage of 50 kg corn	生产 50 kg 玉米的化肥施用量/kg Consumption of chemical fertilizer for producing 50 kg of corn	8.220	6.846
50 kg 玉米费用* Cost of 50 kg corn*	生产 50 kg 玉米的化肥费用/元 Chemical fertilizer cost for producing 50 kg of corn	21.404	21.137
核心解释变量 Independent variables			
地块规模 Plot scale	种植玉米地块的平均面积/(hm ² /块) Average area of plot for planting corn	0.272	0.799
机制变量 Mechanism variables			
机械作业 Mechanical operation	种植玉米是否使用机械施肥或秸秆粉碎还田,1=是,0=否 Whether mechanical fertilization or straw crushing is used for planting corn, 1=Yes, 0=No	0.706	0.456
劳动投入 Labor input	种植玉米施肥环节单位面积劳动投入量/(工日/hm ²) Labor input per unit area during the corn fertilization process	3.822	5.047
控制变量 Covariates			
年龄 Age	家庭加权平均年龄,以家庭成员农业劳动时间占比为权重 Average age of the family, weighted by the proportion of agricultural labor time of family members	52.954	9.826
受教育年限 Years of education	家庭加权平均教育年限,以家庭成员农业劳动时间占比为权重 Average years of education of the family, weighted by the proportion of agricultural labor time of family members	7.283	2.773
劳动力占比 Share of family labor force	家庭成员中劳动力人数占比 Share of labor force among family members	0.619	0.286
农业收入占比 Share of agricultural income	家庭农业净收入占总收入的比例 Share of household agricultural net income to total income	0.377	0.415
可灌溉面积占比 Share of irrigable area	可灌溉面积占总面积的比例 Share of irrigable area to total area	0.507	0.454
粮食播种面积占比 Share of grain sown area	3种主粮播种面积占总播种面积的比例 Share of planting area for 3 main grains to total planting area	0.794	0.255
销售占比 Sold share	2019年玉米销售量占总产量的比例 Share of corn sales to total production in 2019	55.333	45.660
减产份额 Share of production reduction	2019年玉米受灾减产的比例 Share of corn yield reduction due to disasters in 2019	0.101	0.181
村庄地势 Village terrain	本村是否属于平原地区,1=是,0=否 Whether the village is located in a plain area, 1=Yes, 0=No	0.475	0.500

注:*表示该变量仅用于稳健性检验。Note: * indicates that this variable is used only for robustness test.

2.4 描述性统计

1)地块规模与要素投入。扩大地块规模是优化农业要素配置的重要途径。表2为不同地块规模的要素投入情况。对于玉米种植而言,地块规模与要素投入有如下特征:耕地细碎化问题十分突出,绝大多数农户的地块规模小于0.33 hm²;地块规模越大的农户,化肥投入强度越低、化肥投入效率越高;扩大地块规模有利于机械作业,体现为机械施肥与秸秆粉碎还田的比例提高,和单位面积上劳动投入的减少。

地块规模方面,种植玉米的平均地块面积在0.1~0.33 hm²的农户最多,占比达41.03%;在0.1

hm²及以下的农户占比达到38.66%;地块规模超过0.33 hm²的农户占比为20.31%,其中超过0.67 hm²的农户占比仅有7.59%。要素投入方面,对于地块规模越大的农户而言,单位面积玉米化肥投入量与50 kg 玉米化肥投入量的平均值越低,表明扩大地块规模可能有利于化肥减量增效;地块规模越大,越有利于机械作业,表现为机械施肥与秸秆粉碎还田比例的提高;同时,随着地块规模扩大,农业劳动投入逐渐降低,施肥环节的劳动投入量从7.56 工日/hm²逐渐下降至0.73 工日/hm²。机械对劳动的替代作用可能是扩大地块规模促进化肥减施的作用机制。

表 2 不同地块规模的要素投入
Table 2 Factor inputs at different plot scales

项目 Items	全样本 All samples	(0,0.05] hm ²	(0.05,0.10] hm ²	(0.10,0.33] hm ²	(0.33,0.67] hm ²	(0.67,+∞) hm ²
样本量 Sample size	1 226	238	236	503	156	93
化肥投入强度/(kg/hm ²) CICF	938.813	1 112.042	970.191	911.968	812.133	773.555
化肥投入效率/kg CECF	8.220	11.398	9.306	7.336	6.072	5.710
机械施肥 Mechanical fertilization	0.462	0.134	0.373	0.499	0.712	0.914
秸秆粉碎还田 Straw mulching and incorporation	0.546	0.421	0.566	0.606	0.523	0.522
劳动投入/(工日/hm ²) Labor input	3.822	7.562	5.346	2.725	1.548	0.725

2)农户经营规模与化肥投入。按照世界银行的标准,将经营规模小于2 hm²的农户定义为小农户(<https://documents1.worldbank.org/curated/en/284771480330980968/pdf/110543-Handbook-Working-with-Smallholders.pdf>)。表3显示了小农户与规模农户玉米种植的化肥投入情况。小农户与规模农户的单位面积化肥投入量的平均值分别为960.57、851.49 kg/hm²,生产50 kg 玉米化肥投入量分别为8.71、6.35 kg,这表明小农户与规模农户的化肥投入行为存在较大差异,规模农户的化肥投入强度更低、化肥效率更高。对于小农户,经营规模在0.33 hm²及以下的农户占比超过三成,单位面积化肥投入量与50 kg 玉米化肥投入量分别为982.92 kg/hm²、9.47 kg,在所有农户组中均为最高;随着经营规模扩大,单位面积化肥投入量总体呈现下降趋势,50 kg 玉米化肥投入量呈现不断降低的趋势。规模农户经营规模与化肥投入的关系与小农户类似,且经营规模在7 hm²以上农户的单位面积化肥投入量与50 kg 玉米化肥投入量最低,分别为704.19 kg/hm²、5.01 kg。造成这种现象可能的原因是,经营规模越小的农户,耕地细碎化问题更加严重,扩大经营规模,为合并地块提供了可能,使得耕地要素投入结构得到优化。

3)机械作业与化肥投入。表4为机械作业与化

表 3 小农户与规模农户的化肥投入情况
Table 3 Comparison of consumption of chemical fertilizer between small-scale and large-scale farmers

类型 Types	经营规模/ hm ² Operation scale	样本量 Sample size	化肥投入 强度/ (kg/hm ²) CICF	化肥投入 效率/kg CECF
全体小农户 All small-scale farmers		972	960.565	8.705
	(0,0.33]	383	982.923	9.468
	(0.33,0.67]	300	936.388	8.215
小农户 Small-scale farmers	(0.67,2]	289	956.032	8.204
全体规模农户 All large-scale farmers		245	851.491	6.349
	(2,3]	77	957.569	6.910
规模农户 Large-scale farmers	(3,5]	67	860.783	6.839
	(5,7]	33	888.636	6.802
	(7,+∞)	68	704.193	5.010

肥投入之间的分组统计情况。机械作业方面,多数农户的机械作业环节数量为1~3个,且主要集中于耕地、施肥与收获环节,播种与打药等田间管理使用机械作业相对较少;有46.25%的农户使用机械施肥,54.58%的农户使用机械将秸秆粉碎还田。总体上看,随着机械作业环节数量的增加,化肥投入强度呈现下降趋势,化肥投入效率不断升高。在施肥环

节,采用机械施肥农户种植玉米的单位面积化肥投入量与50 kg玉米化肥投入量分别为871.92 kg/hm²、6.90 kg;使用机械将秸秆粉碎还田的农户,单位面积化肥用量与50 kg玉米化肥投入量分别为890.53 kg/hm²、7.78 kg;对于使用机械施肥与秸秆粉碎还田的农户,化肥的投入强度更低、投入效率更高。考虑到面积更大、更加平整的地块更加有利于机械作业,以机械施肥或秸秆粉碎还田衡量的机械作业可能是促进扩大地块规模对化肥减施的

表4 不同机械作业的化肥投入情况比较

Table 4 Comparison of consumption of chemical fertilizer with different mechanical operation

变量名称 Variable names	类别 Types	样本量 Sample size	化肥投入 强度/(kg/hm ²) CICF	化肥投入 效率/kg CECF
机械作业环节数量 Number of mechanical operations	0	166	1 046.337	11.319
	1	264	1 039.391	10.434
	2	227	934.398	7.879
	3	215	856.014	6.457
	4	187	911.681	7.346
机械施肥 Mechanical fertilization	是 Yes	167	815.914	5.349
	否 No	567	871.924	6.903
秸秆粉碎还田 Straw mulching and incorporation	是 Yes	659	996.364	9.352
	否 No	662	890.528	7.775
		551	1 000.190	8.798

机制。

3 实证结果

3.1 基准回归

使用两阶段最小二乘法(two-stage least squares regression, 2SLS)对(1)式的估计结果如表5所示。第一阶段的估计结果显示,除受访农户外,调查村其他农户种植玉米的平均地块规模对数值这一工具变量与受访农户的地块规模对数值显著相关,表明地块规模对数值为内生变量,工具变量的相关性条件成立。K-P rk LM检验统计量为244.832,且在1%的水平上显著,表明工具变量是可识别的;K-P rk Wald与C-D Wald检验计算出的F统计量分别为831.708、763.064,远大于Stock-Yogi提供的10%临界值标准16.38,不存在弱工具变量问题。A列中,地块规模对数值对单位面积化肥用量的回归系数为-86.247,且在1%水平上显著,表明地块规模增大1%,单位面积化肥用量平均下降86.25 kg/hm²;B列中,地块规模对数值对50 kg玉米化肥费用的系数在1%水平上显著,说明地块规模增大1%,每生产50 kg玉米施用的化肥平均减少2.31 kg。扩大地块规模可以促进化肥投入强度降低与化肥投入效率提高,研究假说1成立。

表5 地块规模对化肥投入的影响

Table 5 Impact of plot scale on consumption of chemical fertilizer

变量 Variables	第一阶段 First stage	第二阶段 Second stage	
		(A)CICF	(B)CECF
地块规模 Plot scale	—	−86.247*** (23.952)	−2.314*** (0.280)
工具变量 IV	0.830*** (0.029)	—	—
年龄 Age	−0.008*** (0.002)	0.614 (1.825)	0.003 (0.019)
受教育年限 Years of education	−0.018** (0.008)	−11.231* (6.700)	−0.117* (0.066)
劳动力占比 Share of family labor force	0.062 (0.071)	41.728 (59.221)	0.825 (0.668)
农业收入占比 Share of agricultural income	0.180*** (0.06)	30.876 (35.053)	−0.298 (0.461)
可灌溉面积占比 Share of irrigable area	−0.203*** (0.052)	66.878 (43.745)	−0.166 (0.443)
粮食播种面积占比 Share of grain sown area	0.126 (0.089)	86.596 (67.686)	1.275* (0.733)
销售占比 Sold share	0.002*** (0.001)	−0.790* (0.452)	−0.006 (0.004)
减产份额 Share of production reduction	0.286*** (0.108)	126.286 (88.105)	14.528*** (1.387)
村庄地势 Village terrain	−0.045 (0.06)	−18.394 (40.165)	−1.211*** (0.406)
常数项 Constant term	−0.336* (0.179)	712.941*** (155.263)	2.345 (1.515)
K-P rk LM statistic		244.832***	
K-P rk Wald F statistic		831.708	
C-D Wald F statistic		763.064	
样本量 Sample size	1 226	1 226	1 226

注:***、**和*分别表示1%、5%和10%的统计水平上显著,括号内为稳健标准误。下表同。Note: ***, ** and * denote significance at 1%, 5% and 10% level, respectively. The parentheses indicate robust standard errors. The same as below.

3.2 稳健性检验

1)更换估计模型。表6的A、B列为不考虑内生性时使用普通最小二乘法(ordinary least squares, OLS)的估计结果,C、D列为使用对弱工具变量更不敏感的有限信息最大似然法(limited information maximum likelihood, LIML)的估计结果。A~D列的估计结果均在1%水平上负向显著,表明扩大地块规模对化肥减量增效有促进作用,可以认为前文的估计结果具有稳健性。同时,LIML的估计系数与表5的2SLS估计系数非常接近,从侧面印证了本研究使用的工具变量不是一个弱工具变量。

2)更换被解释变量。以化肥投入费用替代化肥投入量,使用单位面积化肥费用与每生产50 kg玉米化肥费用分别表示化肥投入强度与投入效率,实证结果如表6的E、F列所示。结果显示,地块规模对化肥投入强度与化肥投入效率均在1%的水平上显著,系数分别为-380.049与-6.939,表明地块规模每扩

大1%,单位面积化肥费用下降380.05元/hm²,生产50 kg玉米的施肥费用下降6.94元。由此可见,使用化肥费用衡量化肥投入情况与基准回归结果一致,再次验证了研究假说1。

3)近似外生工具变量检验。工具变量完全外生是一种理想状态,现实中估计模型仍然可能存在轻微的内生性问题。由于工具变量的外生性难以检验,使用Conley等^[40]提出的近似零(local to zero, LTZ)和置信区间集合(union of confidence intervals, UCI),检验工具变量在近似外生的条件下估计结果是否具有稳健性,检验结果如表7所示。LTZ的结果表明,地块规模对化肥施用强度与化肥施用效率的影响在1%水平上显著为负;使用UCI估计工具变量近似外生条件下置信区间,可以发现表5中A、B列的地块规模对化肥施用强度、化肥施用效率的估计系数均落在UCI法计算出的置信区间内。因此,当工具变量是近似外生时,估计结果仍然具有稳健性。

表6 稳健性检验:更换估计模型与被解释变量(n=1 226)

变量 Variables	OLS		LIML		2SLS	
	(A)	(B)	(C)	(D)	(E)	(F)
	CICF	CECF	CICF	CECF	CICF	CECF
地块规模 Plot scale	-86.916*** (17.215)	-1.392*** (0.186)	-86.247*** (23.952)	-2.314*** (0.280)	-380.049*** (75.154)	-6.939*** (0.921)
控制变量 Covariates	Controlled	Controlled	Controlled	Controlled	Controlled	Controlled

表7 近似外生工具变量检验(n=1 226)

变量 Variables	CICF		CECF	
	LTZ	UCI	LTZ	UCI
地块规模 Plot scale	-86.669*** (23.955)	[-125.885, -46.608]	-2.736*** (0.492)	[-3.019, -1.615]
控制变量 Covariates	Controlled	Controlled	Controlled	Controlled

4)遗漏变量检验。为进一步考察可能存在的遗漏变量及遗漏变量对回归的影响,本研究使用Oster^[41]提出的做法进行稳健性检验。当模型可能存在不可观测变量时,可以使用 $\beta^*=\beta^*(R_{\max},\delta)$ 获得真实系数的一致估计,其中 R_{\max} 表示所有不可观测变量均能够被观测时回归方程的最大拟合优度; δ 为选择比例,用于衡量可观测变量和不可观测变量分别同核心解释变量之间相关关系的强弱, $\delta=1$ 表示可观测变量与不可观测变量同等重要。参考Oster^[41]参数设置,设定 $R_{\max}=1.3R$,即为当前回归方程拟合优度 R 的1.3倍,然后采用以下2种方法进行检验:(1)当 $\delta=1$ 时,估算 $\beta^*(R_{\max},\delta)$,若 β^* 落在了估计系数的95%置信区间内,则估计系数是稳健的;(2)当

$\beta=0$ 时,计算 δ 的取值,若 δ 的取值大于临界值1,则通过检验。检验结果如表8所示,当 $R_{\max}=1.3R$, $\delta=1$ 时,地块规模对化肥施用强度与化肥施用效率的估计系数 β^* 均落在95%置信区间内,由于置信区间不包括0,且 β^* 的估计结果符号为负,方法(1)检验通过;当 $R_{\max}=1.3R$, $\beta^*=0$ 时,此时 $\delta>1$,方法(2)检验通过。由此可见,遗漏变量问题对估计结果的影响较小,估计结果具有稳健性。

3.3 异质性分析

1)农户异质性。表9报告了小农户与规模农户的地块规模对化肥投入的差异影响。使用2SLS分组估计结果显示,地块规模对小农户与规模农户的化肥投入强度与化肥投入效率均有显著的负向影

表 8 遗漏变量造成的偏误检验
Table 8 Test for bias caused by omitted variables

被解释变量 Dependent variables	检验方法 Testing method	判断标准 Check standards	估计结果 Estimation results	检验结果 Test results
CICF	(1)	$\beta^* \in [-120.690, -53.143]$	$\beta^* = -53.847$	是 Yes
	(2)	$\delta > 1$	$\delta = 1.257$	是 Yes
CECF	(1)	$\beta^* \in [-1.757, -1.027]$	$\beta^* = -1.166$	是 Yes
	(2)	$\delta > 1$	$\delta = 2.475$	是 Yes

表 9 农户的异质性分析
Table 9 Heterogeneity analysis of farmers

变量 Variables	小农户 Small-scale farmers		规模农户 Large-scale farmers	
	CICF	CECF	CICF	CECF
地块规模 Plot scale	-82.409** (42.102)	-2.458*** (0.472)	-160.549* (91.626)	-3.235*** (1.046)
控制变量 Covariates	Controlled	Controlled	Controlled	Controlled
样本量 Sample size	972	972	245	245

响,且规模农户的估计系数更大。这表明不论是小农户还是规模农户,扩大地块规模均可以促进化肥投入的减量增效;与小农户相比,扩大地块规模对规模农户的化肥投入强度与化肥投入效率的影响更大。这可能是由于规模农户的地块规模往往更大,带来的化肥减量增效的效果更加明显。

2)化肥投入异质性。表10为使用工具变量分位数回归估计结果。在15%、25%分位点上,地块规模对化肥投入强度的影响系数不显著,而在50%、75%与85%分位点上,地块规模对化肥投入强度的影响系数随着分位点的增加而增加;随着分位点的增加,地块规模对化肥投入效率的影响系数不断增大。根据1 226户玉米种植户计算,25%分位点处化肥投入强度为600 kg/hm²,低于刘晓燕等^[42]测算的普通农户699 kg/hm²、规模农户813 kg/hm²的玉米平均最优施肥量。可能的解释是,当化肥投入强度较低时,

表 10 化肥投入情况的异质性分析($n=1\ 226$)

Table 10 Heterogeneity analysis of consumption of chemical fertilizer ($n=1\ 226$)

百分位点 Percentile point	CICF	CECF
15%	-18.155(23.501)	-0.804*** (0.219)
25%	-10.893(16.131)	-0.961*** (0.191)
50%	-32.630*(16.789)	-1.555*** (0.263)
75%	-123.219*** (37.005)	-2.938*** (0.393)
85%	-204.966*** (42.142)	-4.022*** (0.491)

注:表内为加入控制变量的估计结果。Note: The table shows the estimation results with covariates.

不存在过量施肥的问题,因此增加地块规模并不能促进农户进一步降低玉米的化肥投入,但可以促进玉米单产的提升,表现为生产50 kg玉米的化肥投入量在1%水平上显著为负;对于化肥投入强度较高的农户,增加地块规模可以促进农户避免过量施肥,同时保证单产水平不会发生明显下降,因此化肥投入效率可以实现进一步提高。

4 进一步分析:机械作业何以发挥作用?

实证结果表明,扩大地块规模可以促进化肥减量增效。下面进一步验证机械作业在地块规模对化肥投入影响中的调节作用,并检验机械作业是否有效替代了农业劳动力投入。

表11的A、B列为机械作业的作用机制检验,地块规模与机械作业的交互项在1%的水平上负向显著,表明机械作业在扩大地块规模对化肥减施的影响中发挥了正向调节作用。调节效应检验本质是一种异质性分析,根据机制变量分组回归,可以作为机制变量调节效应成立的强论证^[43]。因此,使用江艇^[43]的检验方法,进一步对上述实证结果进行分组回归(受限于文章篇幅,未展示分组回归结果)。结果显示,对于使用机械作业的样本,地块规模对CICF和CECF的负向影响在1%水平上显著,但对于不使用机械作业的样本,地块规模对化肥投入则没有显著影响,假说2得以验证。

根据理论分析和表2的统计结果可以发现,对于地块规模越小的农户,机械作业替代农业劳动投入的难度越大,表现为施肥环节单位面积劳动投入越多。这可能是由于细碎化耕地难以开展机械作业,农户有更强的倾向提高化肥投入量,以减少因农业劳动投入过少带来的产出损失。将(1)式的被解释变量替换为施肥环节的单位面积劳动投入,并加入机械作业变量,以进一步检验机械作业对施肥环节劳动投入的影响,结果如表11的C、D、E列所示。C、

D、E 列的地块规模对施肥环节单位面积劳动投入的负向影响均在 1% 水平上显著,表明地块规模过小会限制机械作业替代农业劳动。C 列的机械作业对劳动投入的负向影响在 10% 水平上显著,表明使用机械作业可以减少施肥环节的劳动投入。将机械作业分为机械施肥和秸秆粉碎还田 2 个环节,可以发现二者对施肥环节单位面积劳动投入的影响(D、E 列)分别在 1% 和 5% 水平上显著,表明不论是使用机械施肥还是秸秆粉碎还田,均可以有效替代施肥环节的劳动投入。

表 11 地块规模对化肥投入的作用机制检验

Table 11 Mechanism test of the effect of plot scale on consumption of chemical fertilizer

变量 Variables	(A) CICF	(B) CECF	(C) 劳动投入 Labor input	(D) 劳动投入 Labor input	(E) 劳动投入 Labor input
地块规模 Plot scale	84.400 (63.587)	−0.508 (0.620)	−2.566*** (0.248)	−2.320*** (0.251)	−2.709*** (0.245)
地块规模×机械作业 Plot scale×Mechanical operation	−203.668*** (65.266)	−2.264*** (0.650)	—	—	—
机械作业 Mechanical operation	−601.739*** (171.202)	0.296 (0.602)	−0.636* (0.355)	—	—
机械施肥 Mechanical fertilization	—	—	—	−1.246*** (0.330)	—
秸秆粉碎还田 Straw mulching and incorporation	—	—	—	—	−0.733** (0.331)
控制变量 Covariates	Controlled	Controlled	Controlled	Controlled	Controlled
K-P rk LM statistic	236.471***		220.821***	223.552***	207.322***
K-P rk Wald F statistic	251.674		706.236	632.198	652.884
C-D Wald F statistic	344.145		659.710	569.499	709.456
样本量 Sample size	1 226	1 226	1 083	1 083	1 072

注：由于部分变量存在缺失值，C、D、E 列样本量略有下降。Note: Due to missing values in some variables, the sample size in columns C, D, and E slightly decrease.

5 结论与政策含义

本研究基于诱致性技术变迁理论,从耕地禀赋的角度分析化肥减施的逻辑,然后使用 2020 年 CRRS 提供的 7 省微观调查数据,利用 2SLS 模型实证分析扩大地块规模对化肥投入的影响。主要研究结论包括以下 3 个方面:第一,基准回归结果表明,扩大地块规模对化肥减量增效有促进作用。地块规模扩大 1%,单位面积化肥用量平均下降 86.25 kg/hm²,生产 50 kg 玉米的化肥投入量平均下降 2.31 kg。更换估计模型和被解释变量、假定工具变量近似外生和考虑遗漏变量影响的情况下,扩大地块规模可以促进化肥减量增效的基本结论仍然成立。第二,异质性分析表明,在农户异质性维度,对于小农户与规模农户而言,扩大地块规模都可以促进化肥减施,且规模农户的减施效果更好;在化肥投入分布维度,从化肥投入效率看,地块规模对不同分位点处的农户均有显著的负向影响,分位点越高估计系数越大,而从化肥投入强度看,对低分位点农户的化肥投入强

度并不显著,但对中、高分位点农户的化肥投入强度显著。第三,机制检验结果表明,机械作业是扩大地块规模促进化肥减施的正向调节机制。具体来看,对使用机械作业的农户而言,由于机械作业对劳动投入替代作用,扩大地块规模可以促进化肥减施,但在使用机械作业的农户上并未观察到这种促进作用。

地块规模与化肥投入之间的负向关系本质上反映的是耕地细碎化与农业绿色发展之间的矛盾。因此,本研究有以下三方面的政策含义:首先,消除耕地细碎化对要素优化配置的不利影响,需要通过地块整合、归并,降低耕地细碎化程度。要推进高标准农田建设与土地整治,通过地块整理、合并扩大地块规模,解决承包经营权在地块层面过度分散带来的低效利用问题;支持在农户协商、村委会协调下,开展承包耕地互换,以耕地高效利用为导向,以耕地宜机化为目标,争取实现“一户一块田”。其次,完善社会化服务体系。服务主体方面,鼓励种粮大户、家庭农场、专业合作社等多种主体提供社会化服务,扩大

社会化服务的覆盖农户数量与辐射范围;服务内容方面,深松、深施、秸秆粉碎还田等绿色技术往往需要机械作业完成,需要进一步提高社会化服务的能力与范围,提高社会化服务质量。加大对小型农业机械与施肥无人机的研发投资,提高对适合在丘陵、山地等耕地细碎、宜机化难度高的耕地作业的小型农机的购置补贴,通过保障技术装备供给缓解耕地禀赋约束。最后,完善农业绿色技术供给体系。供给渠道方面,通过线上信息服务、线下培训、现场生产指导等多种形式,降低绿色技术的使用门槛,指导用户实施、适量施肥;供给主体方面,小农户数量多、经营耕地的细碎化程度高,要实现农业生产的绿色转型,需要扩大绿色技术供给主体,促进绿色技术的推广与应用。

参考文献 References

- [1] LIN J Y. Rural reforms and agricultural growth in China[J]. The American economic review, 1992, 82(1): 34-51.
- [2] 高晶晶, 彭超, 史清华. 中国化肥高用量与小农户的施肥行为研究: 基于1995—2016年全国农村固定观察点数据的发现[J]. 管理世界, 2019, 35(10): 120-132. GAO J J, PENG C, SHI Q H. Study on high chemical fertilizer usage and fertilization behavior of smallholder farmers in China: findings based on national rural longitudinal household survey data from 1995 to 2016[J]. Journal of management world, 2019, 35(10): 120-132(in Chinese with English abstract).
- [3] 速水佑次郎, 弗农·拉坦. 农业发展: 国际前景[M]. 吴伟东, 等, 译. 北京: 商务印书馆, 2014. HAYAMI Y, RUTTAN V W. Agricultural development: an international perspective[M]. Translated by WU W D, et al. Beijing: The Commercial Press, 2014(in Chinese).
- [4] 魏后凯. 中国农业发展的结构性矛盾及其政策转型[J]. 中国农村经济, 2017(5): 2-17. WEI H K. Structural contradiction and policy transformation of agricultural development in China[J]. Chinese rural economy, 2017(5): 2-17(in Chinese with English abstract).
- [5] QI X X, DANG H P. Addressing the dual challenges of food security and environmental sustainability during rural livelihood transitions in China[J]. Land use policy, 2018, 77: 199-208.
- [6] REN C C, LIU S, VAN GRINSVEN H, et al. The impact of farm size on agricultural sustainability[J]. Journal of cleaner production, 2019, 220: 357-367.
- [7] 邹伟, 崔益邻, 周佳宁. 农地流转的化肥减量效应: 基于地权流动性与稳定性的分析[J]. 中国土地科学, 2020, 34(9): 48-57. ZOU W, CUI Y L, ZHOU J N. The impact of farmland transfer on farmers' fertilizer reduction: an analysis of transferability and security of land rights[J]. China land science, 2020, 34(9): 48-57(in Chinese with English abstract).
- [8] 郑纪刚, 张日新, 曾昉. 农地流转对化肥投入的影响: 以山东省为例[J]. 资源科学, 2021, 43(5): 921-931. ZHENG J G, ZHANG R X, ZENG F. Impact of farmland transfer on fertilizer input: taking Shandong Province as an example[J]. Resources science, 2021, 43(5): 921-931(in Chinese with English abstract).
- [9] 钱龙, 冯永辉, 陆华良, 等. 产权安全感对农户耕地质量保护行为的影响: 以广西为例[J]. 中国土地科学, 2019, 33(10): 93-101. QIAN L, FENG Y H, LU H L, et al. The influence of property right security perception on farmers' farmland quality protection behaviors: taking Guangxi as an example[J]. China land science, 2019, 33(10): 93-101(in Chinese with English abstract).
- [10] PAN D, KONG F B, ZHANG N, et al. Knowledge training and the change of fertilizer use intensity: evidence from wheat farmers in China[J]. Journal of environmental management, 2017, 197: 130-139.
- [11] HU L X, ZHANG X H, ZHOU Y H. Farm size and fertilizer sustainable use: an empirical study in Jiangsu, China[J]. Journal of integrative agriculture, 2019, 18(12): 2898-2909.
- [12] 田云, 张俊飏, 何可, 等. 农户农业低碳生产行为及其影响因素分析: 以化肥施用和农药使用为例[J]. 中国农村观察, 2015(4): 61-70. TIAN Y, ZHANG J B, HE K, et al. Analysis of low-carbon agricultural production behaviors of farmers and their influencing factors: using fertilizer application and pesticide use as example[J]. China rural survey, 2015(4): 61-70(in Chinese).
- [13] 马贤磊, 车序超, 李娜, 等. 耕地流转与规模经营改善了农业环境吗? 基于耕地利用行为对农业环境效率的影响检验[J]. 中国土地科学, 2019, 33(6): 62-70. MA X L, CHE X C, LI N, et al. Has cultivated land transfer and scale operation improved the agricultural environment? an empirical test on impact of cultivated land use on agricultural environment efficiency[J]. China land science, 2019, 33(6): 62-70(in Chinese with English abstract).
- [14] 曹慧, 赵凯. 耕地经营规模对农户亲环境行为的影响[J]. 资源科学, 2019, 41(4): 740-752. CAO H, ZHAO K. Farmland scale and farmers' pro-environmental behavior: verification of the inverted U hypothesis[J]. Resources science, 2019, 41(4): 740-752(in Chinese with English abstract).
- [15] 刘乐, 张娇, 张崇尚, 等. 经营规模的扩大有助于农户采取环境友好型生产行为吗? 以秸秆还田为例[J]. 农业技术经济, 2017(5): 17-26. LIU L, ZHANG J, ZHANG C S, et al. Does the expansion of farm scale contribute to farmers adopting environmentally friendly production behaviors? using straw incorporation as an example[J]. Journal of agrotechnical economics, 2017(5): 17-26(in Chinese).
- [16] 饶静, 师丹婧, 袁伟. 生产者视角对农业发展转型和农业污染关系的一个解释[J]. 西北农林科技大学学报(社会科学版), 2021, 21(4): 43-53. RAO J, SHI D J, YUAN W. An interpretation of the relationship between agricultural development transformation and agricultural pollution from the perspective of producers[J]. Journal of Northwest A&F University (Social Science Edition), 2021, 21(4): 43-53.

- tation of the relationship between agriculture transformation and agricultural pollution from the perspective of producers[J]. Journal of Northwest A&F University (social science edition), 2021, 21(4): 43-53 (in Chinese with English abstract).
- [17] 赵昶, 孔祥智, 仇焕广. 农业经营规模扩大有助于化肥减量吗? 基于全国1274个家庭农场的计量分析[J]. 农业技术经济, 2021(4): 110-121. ZHAO C, KONG X Z, QIU H G. Does the expansion of farm size contribute to the reduction of chemical fertilizers? empirical analysis based on 1274 family farms in China[J]. Journal of agrotechnical economics, 2021(4): 110-121 (in Chinese with English abstract).
- [18] 郭阳, 钟甫宁, 纪月清. 规模经济与规模户耕地流转偏好: 基于地块层面的分析[J]. 中国农村经济, 2019(4): 7-21. GUO Y, ZHONG F N, JI Y Q. Economies of scale and farmland transfer preferences of large-scale households: an analysis based on land plots[J]. Chinese rural economy, 2019(4): 7-21 (in Chinese with English abstract).
- [19] MANJUNATHA A V, ANIK A R, SPEELMAN S, et al. Impact of land fragmentation, farm size, land ownership and crop diversity on profit and efficiency of irrigated farms in India[J]. Land use policy, 2013, 31: 397-405.
- [20] SKLENICKA P, JANOVSKA V, SALEK M, et al. The farmland rental paradox: extreme land ownership fragmentation as a new form of land degradation[J]. Land use policy, 2014, 38: 587-593.
- [21] 罗必良, 胡新艳, 张露. 为小农户服务: 中国现代农业发展的“第三条道路”[J]. 农村经济, 2021(1): 1-10. LUO B L, HU X Y, ZHANG L. Serving small farmers: the "third way" of modern agricultural development in China[J]. Rural economy, 2021(1): 1-10 (in Chinese).
- [22] CHI L, HAN S Q, HUAN M L, et al. Land fragmentation, technology adoption and chemical fertilizer application: evidence from China[J/OL]. International journal of environmental research and public health, 2022, 19(13): 8147 [2023-10-25]. <https://doi.org/10.3390/ijerph19138147>.
- [23] 梁志会, 张露, 张俊飏. 土地转入、地块规模与化肥减量: 基于湖北省水稻主产区的实证分析[J]. 中国农村观察, 2020(5): 73-92. LIANG Z H, ZHANG L, ZHANG J B. Land inward transfer, plot scale and chemical fertilizer reduction: an empirical analysis based on main rice-producing areas in Hubei Province[J]. Chinese rural survey, 2020(5): 73-92 (in Chinese with English abstract).
- [24] 肖剑, 罗必良. 小农的绿色发展转型: 人力资本维度的考察[J]. 华中农业大学学报(社会科学版), 2023(5): 20-30. XIAO J, LUO B L. Green development transformation of smallholder farmers: an examination from the perspective of human capital[J]. Journal of Huazhong Agricultural University (social sciences edition), 2023(5): 20-30 (in Chinese with English abstract).
- [25] 张露, 罗必良. 农业减量化: 农户经营的规模逻辑及其证据[J]. 中国农村经济, 2020(2): 81-99. ZHANG L, LUO B L. Agricultural chemical reduction: the logic and evidence based on farmland operation scale of households[J]. Chinese rural economy, 2020(2): 81-99 (in Chinese with English abstract).
- [26] 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[J]. 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[J]. Economic review, 2015(5): 129-140 (in Chinese with English abstract).
- [27] LU H, HU L X, ZHENG W W, et al. Impact of household land endowment and environmental cognition on the willingness to implement straw incorporation in China[J/OL]. Journal of cleaner production, 2020, 262: 121479 [2023-10-25]. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121479>.
- [28] 梁志会, 张露, 张俊飏. 土地整治与化肥减量: 来自中国高标准基本农田建设政策的准自然实验证据[J]. 中国农村经济, 2021(4): 123-144. LIANG Z H, ZHANG L, ZHANG J B. Land consolidation and fertilizer reduction: quasi-natural experimental evidence from China's well-facilitated capital farmland construction[J]. Chinese rural economy, 2021(4): 123-144 (in Chinese with English abstract).
- [29] 梁志会, 张露, 刘勇, 等. 农业分工有利于化肥减量施用吗? 基于江汉平原水稻种植户的实证[J]. 中国人口·资源与环境, 2020, 30(1): 150-159. LIANG Z H, ZHANG L, LIU Y, et al. Is the agricultural division of labor conducive to the reduction of fertilizer input? empirical evidence from rice production households in the Jiangnan Plain[J]. China population, resources and environment, 2020, 30(1): 150-159 (in Chinese with English abstract).
- [30] 李博伟. 土地流转契约稳定性对转入土地农户化肥施用强度和环境效率的影响[J]. 自然资源学报, 2019, 34(11): 2317-2332. LI B W. The effect of the stability of land transfer contract on the fertilization intensity and environmental efficiency of the farmer who transfer in land[J]. Journal of natural resources, 2019, 34(11): 2317-2332 (in Chinese with English abstract).
- [31] 徐志刚, 张俊飏, 吕开宇. 经营规模、地权期限与跨期农业技术采用: 以秸秆直接还田为例[J]. 中国农村经济, 2018(3): 61-74. XU Z G, ZHANG J Y, LV K Y. The scale of operation, term of land ownership and the adoption of inter-temporal agricultural technology: an example of "straw return to soil directly"[J]. Chinese rural economy, 2018(3): 61-74 (in Chinese with English abstract).
- [32] 张森福. 中国农业技术变迁: 理论与政策[J]. 农业经济问题, 1990(7): 33-39. ZHANG S F. Chinese agricultural technology transformation: theory and policy[J]. Issues in agricultural economy, 1990(7): 33-39 (in Chinese).
- [33] 蔡昉. 刘易斯转折点: 中国经济发展阶段的标识性变化[J]. 经济研究, 2022, 57(1): 16-22. CAI F. Lewis turning point: a milestone in the development stages of the Chinese economy[J]. Economic research journal, 2022, 57(1): 16-22 (in Chinese).

- [34] 罗斯炫,何可,张俊飏.增产加剧污染? 基于粮食主产区政策的经验研究[J].中国农村经济,2020(1):108-131. LUO S X, HE K, ZHANG J B. The more grain production, the more fertilizers pollution? empirical evidence from major grain-producing areas in China[J]. Chinese rural economy, 2020(1): 108-131(in Chinese with English abstract).
- [35] 周晓时,樊胜根.破解“谁来种粮”难题:全面推进农业机械化的基础与路径[J].中州学刊,2023(12):54-60. ZHOU X S, FAN S G. Solving the problem of “who will grow grain”: the foundation and path of comprehensively promoting agricultural mechanization[J]. Academic journal of Zhongzhou, 2023(12): 54-60(in Chinese with English abstract).
- [36] 郭庆海,张美琪,刘帅.农户耕地质量保护行为及其机制建设:基于东北黑土地的分析[J].农村经济,2023(11):35-44. GUO Q H, ZHANG M Q, LIU S. Farmers' farmland quality protection behavior and mechanism construction: based on the analysis of black soil in Northeast China[J]. Rural economy, 2023(11):35-44(in Chinese).
- [37] KHONJE M G, MANDA J, MKANDAWIRE P, et al. Adoption and welfare impacts of multiple agricultural technologies: evidence from eastern Zambia [J]. Agricultural economics, 2018, 49(5):599-609.
- [38] MA W L, ABDULAI A, GOETZ R. Agricultural cooperatives and investment in organic soil amendments and chemical fertilizer in China[J]. American journal of agricultural economics, 2018, 100(2):502-520.
- [39] ZHU W, QI L X, WANG R M. The relationship between farm size and fertilizer use efficiency: evidence from China[J]. Journal of integrative agriculture, 2022, 21(1):273-281.
- [40] CONLEY T G, HANSEN C B, ROSSI P E. Plausibly exogenous [J]. Review of economics and statistics, 2012, 94(1): 260-272.
- [41] OSTER E. Unobservable selection and coefficient stability: theory and evidence[J]. Journal of business & economic statistics, 2019, 37(2):187-204.
- [42] 刘晓燕,章丹,徐志刚.粮食规模经营户化肥施用也“过量”吗? 基于规模户和普通户异质性的实证[J].农业技术经济, 2020(9):117-129. LIU X Y, ZHANG D, XU Z G. Does grain scale farmers also overuse fertilizer? based on the heterogeneity of large-sized farmers and small-sized farmers [J]. Journal of agrotechnical economics, 2020(9):117-129(in Chinese with English abstract).
- [43] 江艇.因果推断经验研究中的中介效应与调节效应[J].中国工业经济, 2022(5):100-120. JIANG T. Mediating effects and moderating effects in causal inference[J]. China industrial economics, 2022(5):100-120(in Chinese with English abstract).

Plot scale and fertilizer input: logic and evidence of reduced consumption

WU Gang, ZHONG Yu

Institute of Agricultural Economics and Development, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

Abstract This article analyzed the logic of reducing application of fertilizer under the constraint of plot scale based on the theory of induced technological change. The data about maize farmers in seven provinces of China obtained from 2020 China Rural Revitalization Survey (CRRS) and the 2SLS model were used to analyze the impact of plot size on fertilizer input. The results of empirical studies showed that expanding the plot scale reduced the input intensity of fertilizer and improved the input efficiency of fertilizer. The results of heterogeneity analyses showed that the expansion of plot scale by large-scale farmers had a greater impact on reducing application of fertilizer compared with small-scale farmers. The impact of expanding plot scale on fertilizer input was even more pronounced in term of farmers with higher input intensity and lower input efficiency of fertilizer. The results of analyzing mechanism showed that replacing agricultural labor with mechanical operations was a mechanism for reducing the expansion of plot scale and promoting the reduced application of fertilizer.

Keywords plot scale; fertilizer input; input intensity of fertilizer; input efficiency of fertilizer; mechanical operations

(责任编辑:陆文昌)