

引用格式: 范东寿, 杨福霞, 郑欣, 等. 绿色农业补贴的化肥减量效应及影响机制: 来自有机肥补贴试点政策的证据[J]. 资源科学, 2023, 45(8): 1515–1530. [Fan D S, Yang F X, Zheng X, et al. The impact of green agricultural subsidies on fertilizer reduction and its mechanisms: Evidence from pilot policies for organic fertilizer subsidies[J]. Resources Science, 2023, 45(8): 1515–1530.] DOI: 10.18402/resci.2023.08.03

# 绿色农业补贴的化肥减量效应及影响机制 ——来自有机肥补贴试点政策的证据

范东寿, 杨福霞, 郑欣, 张巧丹

(华中农业大学经济管理学院, 武汉 430070)

**摘要:**【目的】绿色农业补贴是激励农业生产主体持续开展化肥减量行动、实现源头防控农田面源污染的重要政策之一, 因此考察其产生的化肥减量效应及作用路径意义凸显。【方法】本文将绿色农业补贴中的果菜茶有机肥替代化肥补贴试点项目视为政策冲击, 首先构建理论模型, 从收入效应、要素重置、种植结构调整3种途径探究该政策影响化肥施用强度的内在过程; 然后, 基于反事实因果分析框架, 结合2013—2020年中国县域农业生产的面板数据, 运用交叠双重差分(DID)模型和机制检验模型, 分别对有机肥补贴的化肥减量效应及影响机制进行实证分析。【结果】①样本期内, 有机肥补贴政策使得试点县化肥施用强度平均降低约7.5%, 有效促进了县域化肥减量, 主要结果通过了一系列稳健性检验。②分作物产区来看, 该种减量效应在苹果、柑橘、蔬菜和茶叶4种作物产区区内具有显著异质性, 且在苹果产区最为明显。③机制检验结果表明, 上述减量效果实现主要通过如下两种途径: 一是通过增加农业劳动和农业机械技术两种要素投入对化肥产生替代, 二是经由经济作物播种面积与粮食作物种植面积之比扩大所产生的结构调整效应实现化肥减量。【结论】本文证实了绿色农业补贴政策能够通过配置农业劳动力、增加农业机械技术投入和调整作物种植结构实现化肥减量增效。因此, 建议继续积极有序地通过绿色补贴推广有机肥料, 充分认识到不同作物类型对绿色农业补贴实现化肥减量增效的异质性响应, 多措并举、扎实稳步推进农业绿色发展。

**关键词:** 绿色农业; 补贴; 化肥施用强度; 交叠DID; 异质性; 县域; 中国

DOI: 10.18402/resci.2023.08.03

## 1 引言

持续推进化肥减量增效工作是保留农业生态发展底色、破解农业“三生空间”协同发展难题, 乃至实现农业绿色可持续发展的重要举措之一<sup>[1]</sup>。为彻底打赢农业面源污染防治攻坚战, 农业农村部、生态环境部等国家部委深入贯彻“一控两减三基本”的要求, 秉持“强化源头控制”的原则, 经过系统谋划、统筹部署, 相继印发《到2020年化肥使用量零增长行动方案》《开展果菜茶有机肥替代化肥行动方案》, 着力解决因长期过量、低效的化肥使用所带

来的农田土质下降和面源污染问题。这类行动方案既肯定了有机肥替代化肥是深入推进化肥减量增效的关键技术路径<sup>[2]</sup>, 也昭示出绿色生态导向型补贴措施是激励各类农业生产主体用有机肥替代化肥的基本保障<sup>[3,4]</sup>。

作为绿色农业补贴政策的重要支持项目之一, 有机肥替代化肥补贴旨在弥补农业生产者的有机肥购买成本, 激励其用有机肥替代部分化肥, 实现有机无机肥料相结合, 从而提升化肥利用效率。农业农村部于2017年在全国果菜茶优势产区、核心产

收稿日期: 2023-03-24 修订日期: 2023-06-12

基金项目: 国家自然科学基金项目(72274073)。

作者简介: 范东寿, 男, 云南大理人, 博士生, 从事农业资源与环境经济研究。E-mail: fdshzau@163.com

通讯作者: 杨福霞, 女, 河南濮阳人, 教授, 从事资源与环境经济学、能源经济、发展经济学研究。E-mail: yangfuxia2008@126.com

区选择了100个县(市、区)开展有机肥替代化肥示范(后文简称试点县),每个县补助1000万元,保证各县在3~5年内初步建立起有机肥替代化肥的组织方式,集成推广与之相应的生产技术模式,构建果菜茶化肥减量增效的长效机制<sup>①</sup>。截至2023年初,该措施已循序渐进实施5年之久,其是否达到了预期效果、具体措施还需要进行何种优化调整等问题尚有待考证。国家统计局2021年发布的《中国农村统计年鉴》数据显示,中国化肥施用强度从2016年的358.46 kg/hm<sup>2</sup>持续降低至2020年的313.5 kg/hm<sup>2</sup>。对比2013—2020年间有机肥补贴政策试点县与非试点县平均化肥施用强度的数据(图1),试点政策实施(2017年)前,两地区化肥施用强度呈现差距但变化趋势基本一致;2017年之后,试点县的化肥施用强度呈现突变式下降且与非试点县的差距逐渐缩小。那么,针对试点县化肥施用强度下降而言,补贴试点政策是否起到了主要作用?作用力如何?具体的作用机制是什么?对上述问题展开严谨的理论探讨和详实的实证检验,既有助于加快中国化肥施用强度与国际安全上限(225 kg/hm<sup>2</sup>)接轨,又能够有助于推动中国绿色生态导向型农业补贴体系的科学构建。

有机肥补贴对化肥强度的影响本质上属于农

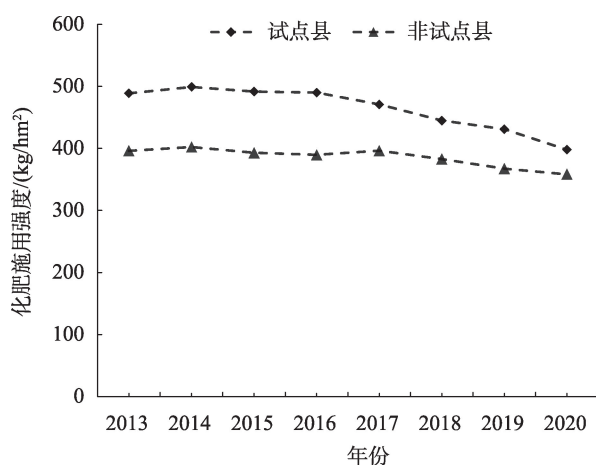


图1 2013—2020年有机肥补贴试点区县与非试点县平均化肥施用强度的比较

Table 1 Average fertilizer application intensity in organic fertilizer subsidy pilot counties compared with non-pilot counties, 2013—2020

注:本图由作者整理各省、地级市以及县级统计年鉴以后,计算单位农作物播种面积的化肥施用折纯量而得。

业支持政策的环境效应评估问题。目前,学术界主要从理论机制探讨和实证效果评估两个方面,针对农业补贴的农田生态环境影响进行深入研究。从理论分析来看,绝大部分文献运用新古典经济理论,着重探讨补贴实施后“理性”农业生产主体通过生产方式调整进而影响农田生态环境的内在过程<sup>[5]</sup>。总体而言,补贴引发生产方式的调整表现在3个方面:①收入效应,即补贴作为一项转移性支付,能够改变农业生产主体的资金约束,使得生产主体更加具备购买稀缺要素的能力。当生产者采购的此类要素为生态环保型投入时,将会改善农田生态环境<sup>[6]</sup>;反之,则起到负向作用。②要素替代效应,即补贴引起生产资料的相对价格发生变动,农业生产者将综合考量各要素的投入成本,进一步地改变化肥、农药、劳动力、机械或新型绿色农资的投入水平<sup>[7,8]</sup>,从而对农田生态环境产生影响。③种植结构调整,即补贴促使农业生产者将土地资源重新分配于种植收益更高的农作物品种,从而引起作物之间的土地分配比例变动,进而改变养分径流和土壤环境<sup>[9]</sup>。

关于绿色农业补贴环境效应的实证评估,现有文献分别从事前模拟和事后估算两个维度展开。其中,事前模拟主要通过构建一般均衡模型来模拟预测农业支持政策对资源环境的潜在影响<sup>[10-12]</sup>;事后评估的文献侧重于借助严谨的计量检验方法对不同类型的绿色农业支持项目的环境效应进行估算。但研究结论因所评估的项目、样本和实证方法的不同而各有迥异。绝大部分研究肯定了绿色农业支持项目能够改变农户的污染性投入要素使用和农业生产废弃物处理方式,进而改善农田生态环境和农村人居环境的积极作用<sup>[13]</sup>。有的学者则证实了绿色农业补贴能够削减化肥总量和强度,且农业保险的发展能够引导农业经营者改变传统的生产方式,进而影响农业生产中的碳排放<sup>[14]</sup>。然而,少量研究却得出了相反的结论<sup>[15]</sup>,绿色补贴计划的实施增加了水体中的总悬浮固体、粪便大肠菌群和磷,某些保护措施的实施可能增加土壤侵蚀和病原体转移,特别是在农业生产较多的流域<sup>[16]</sup>。

综上所述,关于农业补贴的环境效应,现有文献已从不同视角进行了积极的探索,也得出了许多具有重要价值的研究结论,但尚存在着两个有待深

① 资料来源为中华人民共和国农业农村部官方网站,网址为 [http://www.zzys.moa.gov.cn/gzdt/201706/t20170623\\_6310230.htm](http://www.zzys.moa.gov.cn/gzdt/201706/t20170623_6310230.htm)。

2023年8月

入探讨的方向。首先,绝大多数研究侧重于农业支持保护补贴<sup>②</sup>等普惠性支持政策环境影响的理论分析或实证设计。少量文献虽关注了绿色农业补贴的效果,但它们仅从单一视角(如收入效应、要素重置效应、种植结构调整效应)考察农业补贴的作用途径。其次,在实证层面,现有研究多集中于使用微观调研数据或是省市级层面的数据,运用传统DID模型估计单时点农业政策的效果,然而这一方法在评估具有“先试点再推广”特征的多时点政策的效果方面略有偏差。虽有部分研究采用了交叠DID模型进行完善,但这些研究大多采用双向固定效应估计量,该估计量会因处理效应的异质性而未能达到预期的估计效果。

鉴于此,本文将果菜茶有机肥替代化肥补贴试点项目视为准自然实验,基于中国县域农业生产数据,同时从理论和实证层面考察补贴试点政策对县域化肥施用强度的影响及其作用机制。与现有研究相比,本文的拓展性探索主要体现在如下两个方面:①借助Berman等<sup>[17]</sup>的局部静态平衡模型将收入效应、要素重置效应和种植结构调整效应纳入统一的分析框架,以剖析有机肥补贴对化肥施用强度的减量效果与影响机制;②基于因果推断的分析方法,构建交叠DID模型和机制检验模型,结合2013—2020年中国农业生产县级面板数据对理论结果开展了详实的实证检验,并在稳健性检验中使用交叠DID的稳健估计量缓解了以往双向固定效应估计量可能产生的估计偏误,验证了实证结果的可靠性。

## 2 制度背景、理论分析与研究假说

### 2.1 制度背景

鉴于水果、蔬菜、茶叶等经济作物的化肥施用强度相对较高<sup>③</sup>,农业农村部于2017年2月印发了《开展果菜茶有机肥替代行动方案》(下文简称《方案》)<sup>④</sup>,提出“到2020年实现果菜茶优势产区化肥用量减少20%以上、核心产区和知名品牌生产基地

(园区)化肥用量减少50%以上”的目标。同年,在全国果菜茶优势、核心产区选取100个重点县(市、区)作为第一批补贴试点县。补贴内容主要包括基础性工作(如开展土壤质量、场地环境、产品质量和投入品使用等调查)补贴、物化投入补贴(施用畜禽粪便有机肥、水肥一体化等设施)和社会化服务补助;补贴额度为每亩补贴50~100元不等或每吨300~400元不等。各试点县的主要任务是集成推广堆肥还田、商品有机肥施用、沼渣沼液还田、自然生草覆盖等技术模式,推进有机肥替代化肥,提升种植与养殖结合水平、标准化生产与品牌创建水平和绿色产品供给水平。为持续推动有机肥替代化肥的生产运营模式“建一批、成一批”,2018年试点县总数增加至143个,2019年为155个,2020年底已达到166个<sup>⑤</sup>。由此可见,这种“试点先行、积累经验、逐步推开”渐进式的补贴政策为评估绿色农业补贴对化肥减量的影响提供了独特的“准自然试验”。

### 2.2 理论分析与研究假说

为剖析有机肥补贴试点政策对县域化肥施用强度的影响及作用机制,本文借鉴局部静态平衡模型,结合农业支持政策环境效应分析的逻辑构架<sup>[18]</sup>,将收入效应、要素重置效应和种植结构调整效应纳入同一理论框架,据此提出本文待检验的研究假说。

考虑到县域是保障国家粮食安全、协同推进国家各项经济发展战略的基础单位<sup>[19]</sup>,也是实现乡村振兴的主战场,本文将各县域视为农业生产的决策单元,其为社会提供粮食作物和经济作物。由于目前农业生产性收入基本保持稳定,各县提高农业利润的方式通常是尽可能地降低投入成本。因此,本文假设各生产决策单元以成本最小化为原则进行生产要素的优化配置,其中肥料投入会受到有机肥补贴政策的影响。由此,各生产决策单元的成本函数可表示为:

$$C = G(I, L, M, K, O, S_1, S_2, W) \quad (1)$$

② 需要说明的是:这类补贴主要包括良种补贴、种粮直补、农资综合补贴和农机购置补贴,2016年“三合一”改革全面推行以后,良种补贴、种粮直补、农资综合补贴整合为农业支持保护补贴。

③ 据农业农村部数据资料显示,2017年中国果树亩均化肥用量是日本的2倍多、美国的6倍、欧盟的7倍;蔬菜亩均化肥用量比日本高12.8 kg,比美国高29.7 kg,比欧盟高31.4 kg。

④ 中华人民共和国农业农村部官方网站:[http://www.moa.gov.cn/nybg/2017/derq/201712/t20171227\\_6130977.htm](http://www.moa.gov.cn/nybg/2017/derq/201712/t20171227_6130977.htm)。

⑤ 各年份试点县数目根据农业农村部种植管理司于每年5月份公布的果菜茶有机肥替代化肥新增试点县公示名单整理获得。



式中:  $C$  表示该生产单元从事种植活动的实际成本;  $I$  表示其从事该生产活动所获得的收入;  $L$ 、 $M$ 、 $K$ 、 $O$  分别表示生产过程中所投入的劳动力、农业机械动力、化肥和有机肥;  $S_1$  表示用于种植果菜茶等经济作物的土地面积;  $S_2$  表示种植粮食作物的土地面积;  $W=(w_L, w_M, w_S, w_K, w_O)$  表示各投入要素的价格向量。根据谢波特引理, 化肥需求量可表示为生产性收入、其他要素投入量和要素价格的函数。若将化肥投入量  $K$  用线性方程近似化, 则可写为:

$$K(I, L, M, O, S_1, S_2, W) = \rho_0 + \rho I + \tau_1 L + \tau_2 M + \tau_3 O + \tau_4 S_1 + \tau_5 S_2 + \sum_j \varsigma_j w_j \quad (2)$$

式中:  $\rho_0$  表示常数项;  $\rho$ 、 $\tau_1$ 、 $\tau_2$ 、 $\tau_3$ 、 $\varsigma_j$  表示待估计参数;  $j=L, M, S, K, O$ 。

假设生产规模报酬不变, 根据投入水平的一阶齐次性性质可将公式(2)变换为:

$$k(I, l, m, o, stur, W) = \bar{\rho} + \rho I + \tau_1 l + \tau_2 m + \tau_3 o + \bar{\tau} stur + \sum_j \varsigma_j w_j \quad (3)$$

式中:  $k$ 、 $o$  分别表示单位播种面积的化肥投入量、有机肥投入量, 亦即化肥施用强度和有机肥施用强度;  $l$ 、 $m$  分别表示单位播种面积的劳动力投入量、机械投入量;  $stur = S_1/(S_1 + S_2)$  表示粮食农作物占总播种面积的比重, 反映了作物的种植结构调整;  $\bar{\rho}$  表示常数项;  $\bar{\tau}$  表示待估计参数。如果用  $P$  表示有机肥补贴试点政策,  $\phi$  表示该政策对化肥施用强度的边际影响,  $\psi$  代表除该政策之外其他因素的综合影响, 那么化肥强度与试点政策之间的关系可简化为:

$$k(I, l, m, o, stur, W) = \psi + \phi P \quad (4)$$

对式(4)两边求解关于  $P$  的全导数, 则有机肥补贴试点政策  $P$  对化肥施用强度  $k$  的影响可表示为:

$$\frac{dk}{dP} = \phi = \rho \frac{dI}{dP} + \tau_1 \frac{dL}{dP} + \tau_2 \frac{dM}{dP} + \tau_3 \frac{dO}{dP} + \bar{\tau} \frac{dstur}{dP} + \sum_j \varsigma_j \frac{dw_j}{dP} \quad (5)$$

鉴于有机肥补贴方式是依据农业生产主体施肥面积或是购肥量申请补贴资金, 因此, 其属于与农业生产脱钩的补贴, 通常不会对肥料及其他各种要素的价格造成扭曲<sup>[20]</sup>, 故本文设定式(5)右边最后一项  $dw_j/dP$  为 0, 即不考虑补贴引发的价格因素变

动对化肥强度的影响。据此, 式(5)可变换为:

$$\frac{dk}{dP} = \underbrace{\tau_3 \frac{do}{dP}}_{\text{直接替代效应}} + \underbrace{\rho \frac{dI}{dP}}_{\text{收入效应}} + \underbrace{\tau_1 \frac{dL}{dP}}_{\text{要素重置效应}} + \underbrace{\tau_2 \frac{dM}{dP}}_{\text{要素重置效应}} + \underbrace{\bar{\tau} \frac{dstur}{dP}}_{\text{种植结构调整效应}} \quad (6)$$

式中: 等式左边表示有机肥补贴试点政策对化肥施用强度的边际效应, 其数值小于 0 表示补贴削减了化肥强度; 相反, 大于 0 则意味着该政策促进了化肥强度的提升。右边第一到第五项分别表示有机肥补贴通过有机肥替代、收入变化、农业劳动力投入变动、农业机械投入改变及种植结构调整对化肥施用强度的影响, 可分别视为有机肥补贴影响化肥施用强度的直接效应、收入效应、要素重置效应(农业劳动力配置和农业机械技术进步)和种植结构调整效应。下面将详细解析这 5 种效应可能的作用方向:

直接替代效应是指有机肥补贴政策通过农业生产主体调整有机肥和化肥投入结构, 从而作用于化肥施用强度。该效应取决于两个因素: ①补贴试点政策对有机肥投入强度的影响( $do/dP$ )。根据各地有机肥替代行动实施主体遴选办法的规定<sup>⑥</sup>, 农业生产主体在申请补贴之后必须遵守使用畜禽粪污资源化利用生产的有机肥、商品有机肥等技术的相关规定, 否则将失去补贴资格, 因此该补贴政策自然会激发农业生产者施用更多的有机肥, 即  $do/dP > 0$ 。②有机肥与化肥在提供作物生长所需营养元素方面具有同等作用, 用有机肥替代化肥具有可行性<sup>[21]</sup>, 但二者之间的替代程度、配施比例又因作物品种和种植区域等因素有所差异<sup>[22]</sup>, 因而学术界对二者之间究竟是替代还是互补关系的研究未得出一致结论。从当前有机肥替代化肥试点项目的具体实践来看, 大多参与补贴项目的主体会根据作物特点严格执行有机肥替代化肥的技术方案, 做到尽可能地少施化肥<sup>[23]</sup>。因此, 本文认为有机肥与化肥之间存在着替代关系, 即  $\tau_3 < 3$ 。故而推断公式(6)右边第一项的符号为负。据此, 提出研究假说:

H1: 有机肥补贴政策可通过有机肥替代效应降低化肥施用强度。

收入效应主要指补贴政策通过引起生产主体预算约束改变, 进而影响其化肥投入。该作用机制

⑥ 根据前瞻经济学人网的产业资讯信息整理获得, 网址为 <https://www.qianzhan.com/analyst/detail/220/200312-7867da03.html>。

2023年8月

体现在两个方面:①一方面,有机肥补贴作为一项转移性支付,其最直接的作用是放宽农业生产主体的收入约束<sup>[24]</sup>,即式(6)右边第二项中的 $dI/dP>0$ 。②当农业生产主体施用有机肥料替代化肥时,补贴虽然能够在一定程度上弥补其购肥成本,缓解其资金约束,但鉴于有机肥相对于化肥而言,其肥效通常较为迟缓,从而产生因作物营养不足而引发产量下降的风险<sup>[25]</sup>。此情境下,理性农业生产者会使用由补贴所节余的资金去购买化肥,进行“追肥补施”来保障最佳收益<sup>[26]</sup>,即等式右边第二项中的 $\rho>0$ 。因此,收入效应最终将改变有机肥和化肥的配比,提高化肥施用强度,导致等式右边第二项的符号整体为正。据此,提出研究假说:

H2:有机肥补贴有可能提升试点县农业生产主体的收入,放松其资金约束,进而通过“追肥补施”作用增加化肥施用强度。

农业劳动力配置效应是指补贴政策通过影响农业劳动投入进而引起化肥投入产生变化。同样地,其作用方向受到两种力量的影响:①试点县在接受到上级政府释放出的补贴信息时,可能会将这一补贴视为未来的稳定收益,进而激励更多的农业劳动力参与到该项目中去;与此同时,相较于化肥而言,有机肥施用需要花费更多的劳动时间和精力去参加培训<sup>[27]</sup>以了解新型有机肥的性能、肥效和施肥策略,故而补贴政策将在一定程度上增加试点县的劳动投入(即 $dI/dP>0$ );②当增加的农业劳动力投身于有机肥施肥技术学习时,种植活动一定程度上转化为劳动密集型<sup>[28]</sup>,进而对化肥要素产生替代(表现为 $\tau_1<0$ ),为化肥施用强度的降低提供契机。因此,等式右边第三项符号为负。基于此分析,提出研究假说:

H3:有机肥补贴能够吸引更多的农业劳动力参与生产,进而新增的劳动投入将对化肥要素产生替代,降低化肥施用强度。

农业机械技术进步效应是指有机肥补贴项目助推以农业机械化程度变化为代表的农业技术进步,进而改变施肥效率,影响化肥施用强度。一方面,由于新型的有机肥料需要配套特定类型的自动化设施进行深施、精施<sup>[29]</sup>,补贴政策在激励有机肥施用的同时也增加了绿色农业机械的使用,因此认为 $dm/dP>0$ 。另一方面,机械的精确施肥将进一步提

高肥料的利用效率<sup>[30]</sup>,为试点县少施化肥、减少“追肥”次数提供契机<sup>[31]</sup>( $\tau_2<0$ ),从而降低了化肥施用强度。因而,等式右边第四项符号为负,据此提出研究假说:

H4:有机肥补贴在增加试点县有机肥投入的同时,经由“互补作用”促进了农业机械水平的提升,进而对化肥要素产生替代,提升施肥效率,削减化肥施用强度。

种植结构调整效应指有机肥补贴通过改变果菜茶等经济作物与粮食作物的种植分配比例来影响化肥施用量。由于果蔬类作物较粮食作物化肥消耗量大,其播种面积的变动是化肥施用量增减变动的关键<sup>[32]</sup>。一方面,主要面向果菜茶等经济作物试点的有机肥补贴最明显的激励作用体现在影响农业生产者调整作物种植结构<sup>[33]</sup>,当农业生产主体预期到有机肥补贴这笔固定收益时,可能将更多的土地用于播种果菜茶等非粮食作物(即 $dstur/dP>0$ );另一方面,为保证扩种的果蔬类作物拥有充足的养分供给且满足补贴项目施用有机肥的要求,农业生产主体相应地投入更多的有机肥料,这将导致原先施用大量化肥的果蔬作物转向消耗更多有机肥,其产生的规模效应将对化肥产生明显替代,即 $\bar{\tau}<0$ 。因此,等式第五项的符号为负,据此提出研究假说:

H5:有机肥补贴会促使试点县调整农作物种植结构,增加非粮食作物的播种面积并配施更多有机肥料替代化肥,产生规模效应,进一步降低化肥施用强度。

综上所述,有机肥补贴试点政策对化肥施用的理论逻辑框架如图2所示。

## 3 研究方法

### 3.1 样本选择及处理

为验证上述研究假说,本文将始于2017年的有机肥补贴试点政策视为一个准自然实验。由于该政策主要补贴的作物为苹果、柑橘、茶叶和蔬菜,为使各县在地理区位条件和农业生产水平上尽可能具有相似性和可比性,本文研究样本主要聚焦于果菜茶生产的重点县域。具体而言,首先根据农业农村部、各省区农业农村厅官方网站以及中国农产品区域分布特征,并结合数据的可获得性和完整性,从中国四大茶区、苹果产区、柑橘产区和蔬菜重点

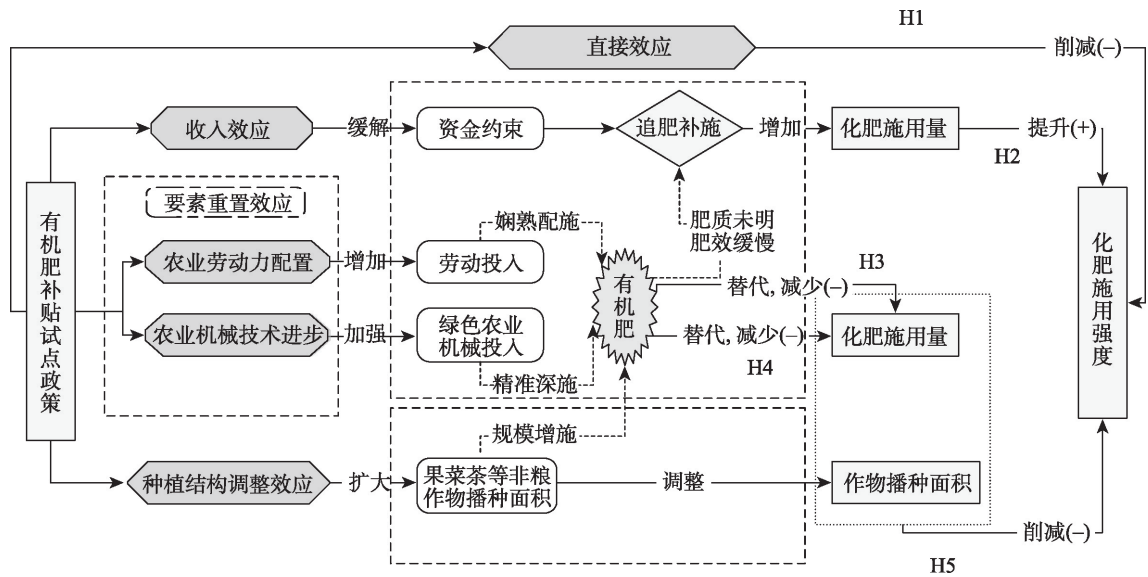


图2 有机肥补贴试点政策影响化肥施用强度的理论逻辑与作用机制

Figure 2 Theoretical analysis and mechanism of the impact of the organic fertilizer subsidy policy on chemical fertilizer input intensity

生产区域<sup>⑦</sup>中筛选出1327个县。接着,将处理组限定为果菜茶重点产区的有机肥补贴试点县(筛选后共125个),对照组限定为果菜茶重点产区的非试点县。在剔除数据缺失严重的县域和年份之后,本文最终构建了包含处理组和对照组在内的2013—2020年中国1327个果菜茶生产县的面板数据。

### 3.2 计量模型构建

(1)交叠DID模型。为了检验该试点政策对当地化肥施用强度的影响(即H1),本文基于反事实的因果分析框架,参考杨冕等<sup>[34]</sup>学者的研究,构建如下交叠DID模型:

$$\ln Fri_{it} = \alpha + \delta Subsidy_{it} + \lambda \ln Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (7)$$

式中:  $Fri_{it}$  表示  $t$  年  $i$  县化肥施用强度;  $Subsidy_{it}$  表示双重差分变量,如果县域  $i$  在  $t$  年被列为有机肥补贴试点县,那么该县在  $t$  年以及之后的年份中均有  $Subsidy_{it} = 1$ ,反之  $Subsidy_{it} = 0$ ;  $Z_{it}$  表示一系列控制变量;  $\delta$  和  $\lambda$  表示待估计参数;  $v_i$  和  $\mu_t$  分别表示县域固定效应和年份固定效应;  $\alpha$  表示常数项;  $\varepsilon_{it}$  表示随机扰动项。

(2)机制检验模型。已有研究多采用逐步法检验作用机制,该方法将机制变量与核心解释变量同

时纳入回归模型容易造成额外的内生性问题。因此,为进一步检验有机肥补贴试点政策影响化肥施用的内在机理,即上文理论分析中所提出的研究H2—H5,本文参考江艇<sup>[35]</sup>的研究,主要分析核心解释变量对机制变量的影响,具体模型构建如下:

$$\ln Med\_Var_{it} = \alpha + \beta Subsidy_{it} + \lambda \ln Z_{it} + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (8)$$

式中:  $Med\_Var_{it}$  为机制变量,依次采用反映收入效应( $Income$ )、劳动力转移效应( $Labor$ )、农业技术效应( $Mech$ )和种植结构调整效应( $Ratio$ )的4个变量进行替换;  $\beta$  表示待估计参数。

(3)稳健性检验模型(加入基准变量缓解选择的影响)。由于补贴试点县的选择与各县肩负的粮食生产责任、地理位置和经济发展水平等因素有关,这些因素的差异可能会随着时间的演进对化肥施用情况产生不同的影响,造成估计偏差。为消除试点县与非试点县干预前因时间趋势差异对结果造成的偏误,参考 Moser 等<sup>[36]</sup>的做法,在式(7)中加入县域基准因素与时间线性趋势的交互项,得到:

$$\ln Fri_{it} = \alpha + \delta Subsidy_{it} + \lambda \ln Z_{it} + \zeta T_i \times trend + v_i + \mu_t + \varepsilon_{it} \quad (9)$$

式中:  $T_i$  表示一组县域虚拟变量,包括县域是否属

⑦ 中国四大茶区主要包括:西南茶区、华南茶区、江南茶区和江北茶区;苹果产区主要包括:渤海湾种植区、黄土高原种植区、豫东—鲁西南—皖北种植带、零星种植区;柑橘产区覆盖的省份主要有浙江、福建、湖南、四川、广西、湖北、广东、江西、重庆、贵州、云南等省份的958个县;蔬菜重点生产区域涵盖了580个县,具体县级行政单元详见农业农村部发布的《全国蔬菜产业发展规划》。



2023年8月

于“粮食主产区”(  $main_i$  )、是否为省会城市所辖的区县(  $pro_i$  )等;  $trend$  表示时间趋势项;  $\zeta$  表示待估计参数。

(4)PSM-DID模型。具体而言,本文依次使用面板数据转化法和逐年匹配法进行倾向得分匹配。首先,选择农业劳动力投入、年降雨总量、年日照时长和地方政府环保关注度作为匹配变量,并使用Logit模型计算倾向得分,然后进行1对4的卡尺内最近邻匹配,卡尺选择为0.05。其次,分别按照两种匹配方式得到两套数据集:直接运用近邻匹配方法为所有有机肥补贴试点县寻找满足共同支撑条件的最优对照组,将非共同支撑部分剔除,从而得到新数据集——截面PSM数据集;采用逐年匹配法将县域样本进行逐年匹配,然后将各年份的匹配数据合并到一个数据集当中,生成回归所需要的面板数据——逐年PSM数据集。再次,对两套匹配数据进行平衡性检验并分析匹配效果。最后,运用交叠DID重新估计有机肥补贴试点政策对县域化肥施用行为的影响。

### 3.3 变量选择

**被解释变量:**本文的被解释变量为化肥施用强度( $Fri$ )。参考高婧等<sup>[37]</sup>的做法,由化肥施用总量(折纯量)除以农作物总播种面积计算得到。

**核心解释变量:**代表有机肥补贴政策的双重差分变量  $Subsidy_{it}$  是核心解释变量。该变量为虚拟变量,因此,对样本进行合适的分组尤为关键。当  $i$  县在  $t$  年被列为有机肥补贴试点县时,  $Subsidy_{it}$  取值为1,否则取0。

**控制变量:**本文进一步控制可能会影响县域化肥施用的变量以减少遗漏变量导致的模型估计偏差。具体而言,借鉴梁志会等<sup>[38]</sup>的研究,并在考虑数据可及性的基础之上,选取如下可能会影响化肥施用的控制变量:①单位农作物播种面积的农业劳动力投入( $Labor$ )。需要说明的是,由于县域层面的农业劳动力数量无法直接获取,本文参考罗斯炫等<sup>[39]</sup>的处理方式,用第一产业从业人员数乘以农业总产值占农林牧渔业总产值的比重得到农业劳动力总数。②粮食总产量( $Output$ ),用于表征县域农业生产水平。③农村人均纯收入( $Income$ ),用以反映县域农业经济发展水平。④单位农作物播种面积的农业机械总动力( $Mech$ ),用于表征各县农业现代

化技术水平。⑤作物种植结构( $Ratio$ ),利用经济作物播种面积与粮食作物播种面积之比表征。⑥气候因素,包括县域年总降雨量( $Rain$ )和县域年总日照时数( $Sun$ )。⑦政府环境关注度( $Er$ ),用各县所属地级市政府工作报告“环保”词频数占政府工作报告总词数的比重进行替代,以反映宏观政策环境对各县化肥施用的冲击。⑧化学肥料价格指数( $Price$ )(以2000年为基期),用以控制化肥价格变动对化肥用量的影响。现有研究大多采用化学肥料价格指数来反映化肥价格波动<sup>[40]</sup>,但受数据可得性限制,本文仅能获得省级层面的化学肥料价格指数数据,故而采用样本县所属省份的化学肥料价格指数进行替代。

上述变量的基础数据主要来源于中国知网大数据平台、EPS数据平台中国区域经济数据库(分市、分县)以及各省(区、市)的县市统计局官方网站数据库。主要变量的描述性统计见表1。

表1 主要变量描述性统计结果

Table1 Descriptive statistics of variables

变量名	试点县		非试点县	
	观测值	均值	观测值	均值
$Fri/(t/千\text{ }hm^2)$	1008	528.915	9680	385.825
$Labor/(万人/千\text{ }hm^2)$	1000	0.246	9528	0.816
$Output/t$	1008	320129	9680	284480
$Income/万元$	1008	1314.024	9564	13518.462
$Mech/(kWh/千\text{ }hm^2)$	872	8068	8119	8867
$Ratio$	1008	0.749	9680	12.361
$Rain/mm$	1008	1036	9560	1015
$Sun/h$	1008	1908	9592	1931
$Er/\%$	1008	0.384	9576	0.364
$Price$	1008	100.499	9592	99.907

## 4 结果与分析

### 4.1 基准回归

本文通过构建交叠DID模型,检验有机肥补贴试点政策是否有效推动了县域化肥减量。表2模型(1)为仅控制县域与年份固定效应的回归结果,模型(2)为加入所有控制变量的估计结果。在加入所有控制变量的情况下估计系数约为0.075,且在1%的水平上显著,即与未进行试点的县域相比,有机肥补贴政策使得试点县的化肥施用强度降低了7.5%。加入控制变量前后  $Subsidy$  系数估计结果均显著且差别不大,表明有机肥补贴试点政策的实施

表2 有机肥补贴对县域化肥施用强度的影响

Table 2 Effect of organic fertilizer subsidies on the intensity of chemical fertilizer application in relevant counties

变量	(1)	(2)
<i>Subsidy</i>	-0.067*** (0.023)	-0.075*** (0.025)
控制变量	否	是
常数项	是	是
县域固定效应	是	是
年份固定效应	是	是
观测值	10,608	8,839
$R^2$	0.939	0.949

注: \*、\*\*、\*\*\*分别表示10%、5%和1%的显著性水平;括号中的数值为县域层面的聚类稳健标准误。下同。

确实起到了明显的化肥减量增效作用。有机肥补贴通过激励农业生产主体增施有机肥,提高其采纳有机肥替代技术模式的积极性,进而对化肥产生替代,发挥减量效应。事实上,已有研究<sup>[41,42]</sup>通过实地调研发现,有机肥补贴确实有效激励了果农、茶农使用有机肥,少施化肥。因此,该结果与前述理论预期及现实状况相符,H1得以验证。

#### 4.2 平行趋势检验:事件分析法与动态处理效应

交叠DID模型的潜在假设是处理组和对照组满足共同趋势,即在政策实施前,试点县和非试点县相关变量的变化趋势无系统性差异。如果共同趋势假设无法满足,那么前文所汇报的估计结果将缺乏可信性。为了保证回归结果的有效性,本文借鉴曹清峰<sup>[43]</sup>的方法进行平行趋势检验,并且在具体的回归分析中同样以补贴试点政策实行的前1年作为基准期。与此同时,为再次确保平行趋势检验的有效性,本文还基于Liu等<sup>[44]</sup>提出的交互固定效应反事实估计量<sup>⑧</sup>,进一步绘制出政策的动态处理效应图,并对其进行等效检验。

图3展示了化肥施用强度的平行趋势检验结果,图中空心圆圈为政策变量的估计系数,黑色虚线为各系数的95%置信区间。可以发现,有机肥补

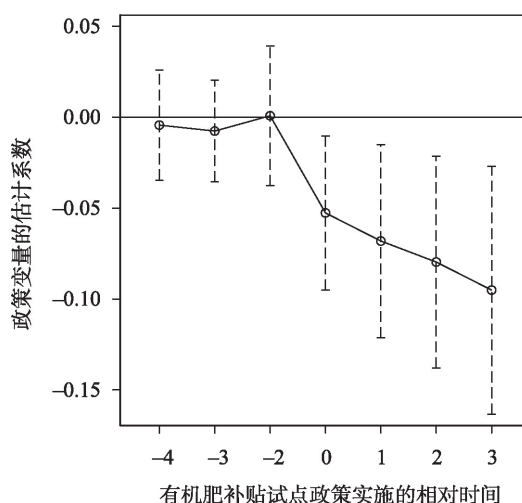


图3 平行趋势检验结果

Figure 3 Results of parallel trend test

贴试点政策实施前,图3中回归系数总体上无异于0,表明试点县与非试点县在政策实施前并无显著差异,研究样本通过了平行趋势检验。动态处理效应结果与图3传统的双向固定效应估计下的变动趋势基本一致,且动态处理效应的事前趋势通过了等效检验<sup>⑨</sup>,说明本文平行趋势检验结果稳健可靠。

#### 4.3 稳健性检验

为确保上述基准回归结果的稳健性,本文进行了如下6种稳健性检验<sup>⑩</sup>:

(1)样本数据筛选。本文通过两种方法进行样本县的筛选,以检验基准回归结果的稳健性。第一,为避免极端值对基准回归结果的影响,根据化肥使用总量对研究样本分别截尾1%和5%后,重新对式(5)进行回归。回归结果分别对应表3模型(1)、(2),该结果表明,剔除极端值之后,*Subsidy*的估计系数与基准估计结果基本一致,说明基准回归结果是稳健的。第二,变更对照组。与大多数双重差分研究类似,本文的分析是基于全国所有果菜茶生产重点县域样本,采用了除试点县之外的所有果菜茶县域作为对照组。为使处理组和对照组更具

⑧ 此项研究共提出了固定效应反事实估计量、交互固定效应反事实估计量和矩阵补全估计量3种估计量来弥补传统双重固定效应因未满足严格外生性假设所导致的处理组处理效应偏误。

⑨ 本文主要开展了交互固定效应反事实估计量的动态处理效应检验,因篇幅有限,未展示相关检验结果,如读者有兴趣可向作者索取。关于该检验的详细原理请参看网址:<https://yiqingxu.org/>。

⑩ 在政策评估的稳健性检验中,理应排除样本期间其他政策对结果变量的影响。本文也考虑了这一实际,经梳理相关政策文件发现,农业农村部制定的《到2020年化肥使用量零增长行动方案》是最可能影响化肥施用的措施。但是,考虑到该举措的政策方向与本文的有机肥补贴试点政策是高度一致的,并且其面向全国所有省份,故可视其对试点县与和非试点县的影响不存在明显的组间差异,因而对处理效应的估计不造成干扰<sup>[39]</sup>。因此,此处未进行排除相关政策干扰的稳健性分析。



2023年8月

有可比性,进一步缩小研究区域范围,使用 ArcGIS 软件筛选出距离有机肥补贴试点县 50 km 以内的县作为对照组。模型(3)回归系数的大小和显著性水平平均较为稳健。

(2)替换被解释变量。本文使用单位农业总产值的化肥施用量( $\ln Fri1$ )和劳均化肥施用量( $\ln Fri2$ )作为被解释变量,再次检验基准回归结果的稳健性。其中,农业总产值以2000年为基期进行平减。回归结果分别对应表3模型(4)、(5),结果显示,有机肥补贴政策确实对试点县发挥了化肥减量效应,表明基准回归结果是稳健的。

(3)加入基准变量缓解样本选择的影响。表3模型(6)–(8)的回归结果显示,加入交互项  $T_i \times trend$  后,  $Subsidy$  对化肥施用强度的系数估计值仍在1%的水平上通过了显著性检验。这说明,无论是逐一还是全部加入县域基准因素与时间趋势的交互项,有机肥补贴政策都显著削减了试点县的化肥施用强度,与基准结果一致。事实上,有机肥试点县位于不同的地理位置,具有差异化的农业经济发展水平,在一定程度上满足选择的随机性。

(4)PSM-DID模型。虽然双重差分方法分离出了补贴试点政策的平均处理效应,但由于有机肥补贴试点并非严格意义上的自然实验,所以仍可能在观察研究数据方面存在样本选择性偏差问题。同

时,考虑到地区差异和县域本身的异质性,处理组和对照组在各自特征上的差异也可能导致估计结果的偏差。为了缓解上述偏误,本文进一步基于交叠PSM-DID模型进行稳健性检验<sup>①</sup>。表3模型9、10分别报告了两种匹配方法下的回归结果。结果显示,  $Subsidy$  的估计值仍然为负,与基准回归结果无实质性差异,一定程度上表明本文结果稳健。

(5)安慰剂检验。为排除上述实证结果由偶然性事件所致的可能,本文进行了安慰剂检验。借鉴白俊红等<sup>[45]</sup>的做法:构造“伪”的有机肥补贴政策对1327个样本县的500次随机冲击,每次随机抽取120个县作为实验组,且政策时间随机给出,得到500组虚拟变量  $FSubsidy^{random}$ 。500个  $\delta^{random}$  的核密度及其  $p$  值分布显示<sup>②</sup>,随机过程中生成的  $\delta^{random}$  主要集中在0附近,且  $p$  值大多在0.1以上。同时,  $Subsidy$  的实际估计系数(−0.075)在上述安慰剂检验的核密度图中位于小概率事件范围内,显著区别于安慰剂测试结果。这也在一定程度上表明,有机肥补贴试点政策对县域化肥施用的影响并非偶然事件,本文的结果具有稳健性。

(6)交叠DID稳健估计量。交叠DID的最新理论研究表明,双向固定效应(TWFE)估计量是“4类”<sup>③</sup>2×2的DID估计量的加权平均,并非真实的处理效应,尤其是处理效应存在组别和时间差异时,

表3 稳健性检验的部分回归结果

Table 3 Partial regression results of the robustness test

变量	样本数据筛选			替换被解释变量		加入基准变量缓解选择影响			PSM-DID	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
<i>Subsidy</i>	−0.067*** (0.023)	−0.042** (0.021)	−0.051** (0.025)	−0.063** (0.028)	−0.028** (0.014)	−0.064*** (0.022)	−0.063*** (0.023)	−0.064*** (0.024)	−0.056*** (0.020)	−0.072*** (0.0250)
<i>Main</i> × <i>trend</i>						0.012*** (0.004)		0.011*** (0.005)		
<i>Pro</i> × <i>trend</i>							−0.0123** (0.005)	−0.011* (0.006)		
控制变量	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
常数项	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
县域固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是	是	是	是	是	是	是
观测值	8839	8641	7880	8839	8839	8839	8839	8839	8735	8566
$R^2$	0.951	0.920	0.913	0.950	0.968	0.940	0.940	0.940	0.946	0.956

① 由于篇幅有限,未展示此结果,可向作者索取。

② 由于篇幅有限,未展示安慰剂检验结果,可向作者索取。

③ 在多点情形下,对照组分为4类:先处理组 vs 从未处理组,后处理组 vs 从未处理组,先处理组 vs 后处理组,后处理组 vs 先处理组。

TWFE 估计量可能会因“负的权重”过大而存在偏误<sup>[46,47]</sup>。因此,为了进一步确保回归结果的可靠性,通过 Bacon 分解<sup>[48]</sup>和处理时点图两种方法来诊断 TWFE 估计量的负权重问题。表 4 的 Bacon 分解结果显示,本文基准回归所得到的 TWFE 估计量主要来自于第一类子样本回归所得到的  $2 \times 2$  的 DID 估计量,其所占权重为 98%;而基于第四类子样本回归得到的有偏  $2 \times 2$  的 DID 估计量所占权重仅为 0.6%,且其系数符号均与基准回归保持一致,亦表明本文的 TWFE 估计量几乎不存在负权重问题,基准回归所得到的估计结果存在的偏误很小。根据处理时点图<sup>⑩</sup>,处理组接受处理的时点都集中在样本期的中后期而非前期,且样本中期之后并非所有个体都接受了处理(即尚有很多从未处理的“好控制组”),表明负权重问题不会太严重。

尽管如此,根据上述诊断得出基准回归中 TWFE 估计量稳健的结论尚不够严谨。为避免“坏控制组”进入模型,进一步纠正 TWFE 的估计偏误

表 4 无控制变量的 Bacon 分解结果

Table 4 Bacon decomposition results without control variables

类别	权重	平均 DID 估计量
(1)先处理 vs.从未处理	0.980	-0.063
(2)后处理 vs.从未处理	0.001	-0.043
(3)先处理 vs.后处理	0.013	-0.004
(4)后处理 vs.先处理	0.006	-0.023
总的 DID 估计量		-0.062

问题,本文估计了当前学术界已提出的 3 类主要交叠 DID 稳健估计量。首先,由于本文所讨论的政策未存在退出情形,因此本文采用了 Callaway 等<sup>[49]</sup>、de Chaisemartin 等<sup>[50]</sup>提出的组群—时间估计量;其次,考虑到本文数据结构较为简单且不存在对结果产生严重干扰的随时间变化的混杂因素<sup>[51]</sup>,本文估计了 Borusyak 等<sup>[52]</sup>提出的插补估计量。最后,虽然 Cengiz 等<sup>[53]</sup>提出的堆叠 DID 估计量统计性质并未得到证明且使用中会出现数据重复问题,但是为了对前述稳健性检验形成更加完善的补充,本文也对此进行了估计。估计结果如图 4 所示,在 3 类交叠 DID 稳健估计方法下,试点县与非试点县在政策实施前仍然无显著差异,并且在有机肥补贴政策实施后,其对试点县各时期的化肥减量效应在 6%~8%之间波动,与基准回归情形下的估计结果基本一致,说明本文的估计结果是稳健可靠的。

#### 4.4 异质性分析

前文结果表明,整体而言,有机肥补贴试点政策对化肥施用强度具有削减作用。然而,不同农作物的施肥模式、肥料需求各有迥异,这势必导致补贴政策冲击所造成的化肥减量效应有所区别。因此,需要进一步回答有机肥补贴所产生的政策效果在不同作物之间是否存在差异这一问题。为此,本文将进行异质性分析。由于试点政策重点支持的作物为蔬菜、茶叶、苹果和柑橘,因而,下文以此为

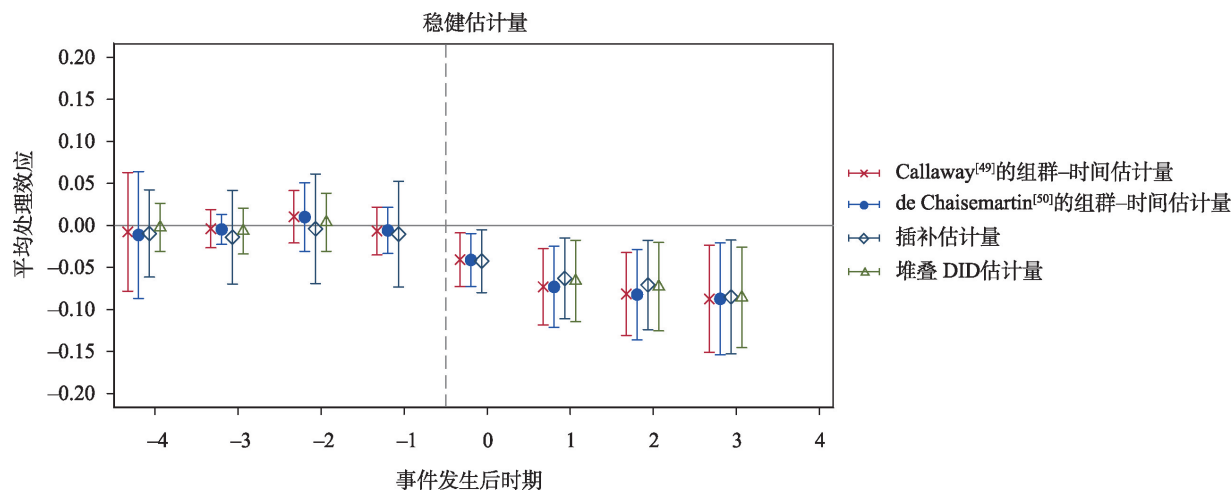


图 4 交叠 DID 稳健估计量下的事件研究图

Figure 4 Event study graph with staggered difference-in-differences (DID) robustness estimation

⑩ 由于文章篇幅有限,未展示处理时点图结果,可向作者索取。

2023年8月

依据将回归总样本划分为蔬菜产区、茶叶产区、苹果产区和柑橘产区4个子样本,以探讨上述削减作用、影响路径在不同作物品种间的异质性。

本文采用公式(7)模型进一步分析有机肥补贴试点政策对化肥施用的影响在不同作物产区之间的差异性。表5的回归结果显示,有机肥补贴政策的估计系数在苹果产区通过了1%的显著水平检验,4个地区估计系数绝对值大小依次为:苹果产区(23.24%)>蔬菜产区(6.29%)>茶叶产区(1.61%)>柑橘产区(1.50%)。这表明补贴试点政策的化肥减量效果在苹果产区最为明显,且发挥的削减作用最大。因此,尚需继续加大有机肥料在其他果菜茶作物乃至粮食等大田作物中的推广力度,改善有机肥料对气候等自然因素的适应能力、保证其肥效稳定,进而发挥更高的化肥减量效应。

4.5 进一步分析:作用机制

前文的实证结果表明,有机肥补贴试点政策对县域化肥施用强度具有显著的削减作用。那么补贴政策通过什么途径影响化肥施用强度呢?上文

的理论分析认为,有机肥补贴政策可能通过收入效应、劳动力配置效应、技术进步效应和种植结构调整效应4条传导机制来促进化肥减量。为了进一步验证这4条作用路径,本文对公式(8)进行回归分析,如果政策变量对机制变量的影响显著,则认为作用机制得以验证,回归结果如表6所示。

首先,为验证收入效应这一机制,本文用农村居民人均纯收入表征收入效应。模型(1)的回归结果显示,政策变量Subsidy的估计系数在5%的水平上显著为正,表明有机肥补贴试点政策的推行确实提高了试点县农民的收入水平,因此,收入效应这一机制(H2)得到证实。诚如前文理论分析部分所述,有机肥补贴政策能够放松农业生产者的资金约束,在收入效应作用下,农业生产主体因传统的施肥习惯和有机肥肥效缓慢等原因,可能会使用“多出的收入”购买更多的传统化肥进行“补施”<sup>[26]</sup>,从而导致化肥施用强度上升,产生消极的环境效应<sup>[54]</sup>,这既符合理论逻辑,也与左喆瑜等<sup>[15]</sup>的研究结果达成了共识。

其次,关于劳动力配置效应的验证,本文将单位农作物播种面积的农业劳动力投入作为劳动力配置的表征对公式(8)进行重新估计。模型(2)的回归结果显示,补贴试点政策在1%的统计水平上显著正向影响农业劳动力投入,即有机肥补贴试点政策有助于吸引更多的劳动力参与农业生产活动,这符合已有研究关于农业补贴政策促进农业就业的论断<sup>[55]</sup>。正如前文理论分析部分所猜想,一方面,有机肥补贴作为一笔固定收益在激励农业生产者投入更多有机肥料的同时,亦将吸引更多劳动力参与培训、去了解肥质肥效信息<sup>[56]</sup>;而这些额外投入

表5 果菜茶种植区分样本回归结果  
Table 5 Regression results of sub-samples

变量	(1) 蔬菜产区	(2) 茶叶产区	(3) 苹果产区	(4) 柑橘产区
Subsidy	-0.063 (0.053)	-0.016 (0.105)	-0.232*** (0.079)	-0.015 (0.096)
控制变量	是	是	是	是
常数项	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
县域固定效应	是	是	是	是
观测值	2568	928	1464	1472
R <sup>2</sup>	0.929	0.918	0.966	0.907

表6 机制检验结果  
Table 6 Results of mechanism analysis

变量	(1) 收入效应	(2) 劳动力配置效应	(3) 农业技术效应	(4) 种植结构调整效应
Subsidy	0.018** (0.008)	0.069*** (0.025)	0.059* (0.031)	0.029** (0.014)
控制变量	是	是	是	是
常数项	是	是	是	是
县域固定效应	是	是	是	是
年份固定效应	是	是	是	是
观测值	8839	8839	8839	8839
R <sup>2</sup>	0.996	0.932	0.922	0.958



的劳动力将进一步减少化肥的非合理施用甚至产生对化肥产生替代<sup>[28]</sup>,从而削减化肥强度。因此,这与H3的假设相呼应,此机制得以检验。

再次,关于农业技术调整效应的验证,考虑到其最直接的表现形式之一就是机械化水平的提升<sup>[57]</sup>,因此,本文将单位农作物播种面积的农业机械总动力作为技术进步的表征。从模型(3)的回归结果来看,*Subsidy*的估计系数在10%的水平上显著为正,表明补贴政策确实显著促进了试点县农业机械投入。一方面,补贴政策在激励有机肥施用的同时有可能增加试点县投入配套绿色农机<sup>[58]</sup>;另一方面,机械化的快速发展和利用,不仅可以避免人工施肥的不均匀和不规范问题,还能够有效提升施肥效率<sup>[59]</sup>,最终达到节肥增效的目的。因此,该结果与前述理论分析吻合,有机肥补贴试点政策可通过农业技术调整效应促进化肥减量,H4得到有效验证。

最后,为验证种植结构调整效应,本文采用现有研究的普遍做法,将经济作物播种面积与粮食作物播种面积的比值作为种植结构调整的反映。模型(4)的估计结果显示,*Subsidy*的估计系数在5%的水平上显著为正,表明有机肥补贴试点政策有效地提高了农作物的经济作物的种植比重。可能的解释是,果菜茶有机肥补贴试点政策主要面向的就是经济作物,这极有可能激发试点县农业生产主体种植非粮食作物的积极性<sup>[22]</sup>,使其分配更多的土地用于集约化、规模化种植果菜茶等经济作物,进而产生规模效应<sup>[33]</sup>,降低单位面积上的化肥消耗,提升肥料的利用效率,这与前述理论预期一致,H5得到验证。

## 5 结论与政策启示

### 5.1 结论

有机肥替代化肥补贴试点是落实绿色生态导向的农业补贴政策、激励农业生产主体自觉践行化肥减量行动的重要举措。本文将有机肥补贴试点政策的实施视为一项“准自然实验”,首先,构建了以“收入效应、要素重置效应、种植结构调整效应”为核心传导路径的绿色补贴农业化肥减量效应的分析框架,从理论上探讨有机肥补贴政策对化肥施用强度的影响及其作用机制,并提出5个待验证假说;其次,基于2013—2020年县域面板数据,采用多

时点双重差分模型和机制检验模型,分别验证了上述5个研究假说;最后,根据作物产区分样本开展了异质性分析。本文的主要研究结论有:

(1)相对于非试点县,有机肥补贴试点政策的推行使得试点县的化肥施用强度平均降低了约7.5%。此结论在经过一系列稳健性检验之后仍然成立。

(2)有机肥补贴政策的化肥减量效果在不同作物之间有所区别。苹果产区的政策效果较蔬菜产区、柑橘产区和茶叶产区更为明显。

(3)在具体的作用机制上,随着补贴政策的实施,试点县在增加有机肥施用的同时,通过增加农业劳动投入、配套农机设施等举措提高了施肥效率,并通过调整作物种植结构的渠道实现了削减化肥施用强度的目的。但是,补贴放松了试点县农业生产者的资金约束,提高了试点县使用“多余”资金追施化肥的可能性。

### 5.2 政策启示

上述研究结论意味着果菜茶有机肥替代行动确实有助于实现化肥减量,这对推行农田面源污染源头控制技术、完善绿色生态导向的农业补贴具有重要的启示意义。

(1)相关部门应当继续总结和推广有机肥替代化肥行动方案的经验,发挥试点县域的示范效应,将有机肥补贴等农业绿色补贴工具作为激励农户采取化肥减量措施的重要抓手。

(2)从补贴发挥化肥减量增效的作用路径来看,一方面,可通过激励政策吸引更多的高素质农民、农科人才参与到有机肥替代化肥行动中去,发挥其知识传播作用、培训教育功能,以便在更大范围内推广有机肥料和科学施肥模式;另一方面,探索有机肥补贴与绿色农机补贴等相关补贴工具的配套合力机制,以最大限度地发挥国家农村环境整治资金的激励作用。

(3)充分发挥补贴政策在调整作物种植结构乃至协调农业产业布局的功能,依托结构优化实现农业生产的绿色转型。

(4)强化监测监控与监督考核,因地制宜地对补贴效果欠佳的地区进行整改帮扶,根据补贴绩效建立退出机制。

2023年8月

## 参考文献(References):

- [1] 金书秦, 张惠, 张哲晰, 等. “十三五”化肥使用量零增长行动评估及政策展望[J]. 环境保护, 2022, 50(5): 31–36. [Jin S Q, Zhang H, Zhang Z X, et al. Evaluation and policy prospect of zero growth action of chemical fertilizer in the 13th Five-year Plan[J]. Environmental Protection, 2022, 50(5): 31–36.]
- [2] 孙若梅. 绿色农业生产: 化肥减量与有机肥替代进展评价[J]. 重庆社会科学, 2019, (6): 33–43. [Sun R M. Production of green agricultural: An evaluation of the process of reducing chemical fertilizer and replacing with organic fertilizer[J]. Chongqing Social Sciences, 2019, (6): 33–43.]
- [3] 石凯含, 尚杰, 杨果. 农户视角下的面源污染防治政策梳理及完善策略[J]. 农业经济问题, 2020, (3): 136–142. [Shi K H, Shang J, Yang G. Summary of non-point source pollution prevention policies and its improving measures: From the perspective of farmers [J]. Issues in Agricultural Economy, 2020, (3): 136–142.]
- [4] 石凯含, 尚杰. 农业面源污染防治政策的演进轨迹、效应评价与优化建议[J]. 改革, 2021, (5): 146–155. [Shi K H, Shang J. Evolution track, effect evaluation and optimization suggestions of agricultural non-point source pollution control policies[J]. Reform, 2021, (5): 146–155.]
- [5] 高晶晶, 史清华. 中国农业生产方式的变迁探究: 基于微观农户要素投入视角[J]. 管理世界, 2021, 37(12): 124–134. [Gao J J, Shi Q H. The shift of agricultural production growth path in China: Based on the micro perspective of farm input[J]. Journal of Management World, 2021, 37(12): 124–134.]
- [6] Finger R, Möhring N. The adoption of pesticide-free wheat production and farmers’ perceptions of its environmental and health effects[J]. Ecological Economics, 2022, DOI: 10.1016/j.ecolecon.2022.107463.
- [7] Oluwatoba J O, Jacob R G, John H A. Subsidies for agricultural technology adoption: Evidence from a randomized experiment with improved grain storage bags in Uganda[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2019, 101(3): 753–772.
- [8] 王常伟, 顾海英. 市场VS政府: 什么力量影响了我国菜农农药用量的选择?[J]. 管理世界, 2013, (11): 50–66. [Wang C W, Gu H Y. The market vs. the government: What forces affect the selection of amount of pesticide used by China’s vegetable grower?[J]. Journal of Management World, 2013, (11): 50–66.]
- [9] Henderson B, Lankoski J. Assessing the environmental impacts of agricultural policies[J]. Applied Economic Perspectives and Policy, 2021, 43(6): 1–16.
- [10] Wang X X, Biewald A, Dietrich J P, et al. Taking account of governance: Implications for land-use dynamics, food prices, and trade patterns[J]. Ecological Economics, 2016, 122: 12–24.
- [11] 朱郭奇, 李文文, 杨文烨, 等. 小农户化肥减量化行为及其动机: 基于 CLT-SDT 整合框架[J]. 资源科学, 2023, 45(4): 734–749. [Zhu G Q, Li W W, Yang W Y, et al. Smallholder farmers’ fertilizer reduction behavior and their motivation: Based on an integrated CLT-SDT framework[J]. Resources Science, 2023, 45(4): 734–749.]
- [12] Wang X X, Xu M, Lin B, et al. Reforming China’s fertilizer policies: Implications for nitrogen pollution reduction and food security [J]. Sustainability Science, 2023, 18(1): 407–420.
- [13] 田晓晖, 李薇, 李戎. 农业机械化的环境效应: 来自农机购置补贴政策证据[J]. 中国农村经济, 2021, (9): 95–109. [Tian X H, Li W, Li R. The environmental effects of agricultural mechanization: Evidence from agricultural machinery purchase subsidy policy[J]. Chinese Rural Economy, 2021, (9): 95–109.]
- [14] 马九杰, 崔恒瑜. 农业保险发展的碳减排作用: 效应与机制[J]. 中国人口·资源与环境, 2021, 31(10): 79–89. [Ma J J, Cui H Y. Effect and mechanism of agricultural insurance on agricultural carbon emission reduction[J]. China Population, Resources and Environment, 2021, 31(10): 79–89.]
- [15] 左喆瑜, 付志虎. 绿色农业补贴政策的环境效应和经济效应: 基于世行贷款农业面源污染治理项目的断点回归设计[J]. 中国农村经济, 2021, (2): 106–121. [Zuo Z Y, Fu Z H. The environmental and economic effects of green agricultural subsidy policies: A regression of discontinuity design based on agricultural non-point source pollution control programs with the world bank’s loan in Guangdong Province[J]. Chinese Rural Economy, 2021, (2): 106–121.]
- [16] Liu P F, Wang Y, Zhang W. The influence of the environmental quality incentives program on local water quality[J]. American Journal of Agricultural Economics, 2023, 105(1): 27–51.
- [17] Berman E, Bui L T M. Environmental regulation and labor demand: Evidence from the South Coast Air Basin[J]. Journal of Public Economics, 2001, 79(2): 265–295.
- [18] 吴银毫, 苗长虹. 我国农业支持政策的环境效应研究: 理论与实证[J]. 现代经济探讨, 2017, (9): 101–107. [Wu Y H, Miao C H. Research on the environmental effects of agricultural support policies in China: Theory and empirical evidence[J]. Modern Economic Research, 2017, (9): 101–107.]
- [19] 李一花, 李佳. 中国县域生态贫困测度及动态演化分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2022, 32(9): 164–172. [Li Y H, Li J. Measurement and dynamic evolution analysis of ecological poverty in Chinese counties[J]. China Population, Resources and Environment, 2022, 32(9): 164–172.]
- [20] 冷博峰, 李谷成, 冯中朝. 从不种地农民也能领取农业补贴谈起: 兼论农业“三项补贴”改革后的补贴发放方式[J]. 农业经济问题, 2021, (5): 54–65. [Leng B F, Li G C, Feng Z C. Did off-farm farmer shouldn’t get agricultural subsidy? Concurrent comments on the method of subsidy payment after the “Three agricultural subsidy” Reform[J]. Issues in Agricultural Economy, 2021, (5): 54–65.]
- [21] 陶源, 仇相玮, 周玉玺, 等. 风险感知、社会信任与农户有机肥替代行为悖离研究[J]. 农业技术经济, 2022, (5): 49–64. [Tao Y,

- Qiu X W, Zhou Y X, et al. The conflict between risk perception, social trust and farmer's organic fertilizer substitution behavior[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2022, (5): 49–64.]
- [22] 刘莉, 刘静. 基于超越对数生产函数的有机肥与化肥替代弹性分析: 来自渤海湾苹果主产区果农施肥行为调查[J]. *农业技术经济*, 2022, (8): 69–82. [Liu L, Liu J. Analysis of substitution elasticity of organic fertilizer and chemical fertilizer based on trans-log production function: Investigation from the dominant apple producing areas in Bohai Bay[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2022, (8): 69–82.]
- [23] 李芬妮, 张俊飏, 何可. 非正式制度、环境规制对农户绿色生产行为的影响: 基于湖北1105份农户调查数据[J]. *资源科学*, 2019, 41(7): 1227–1239. [Li F N, Zhang J B, He K. Impact of informal institutions and environmental regulations on farmers' green production behavior: Based on survey data of 1105 households in Hubei Province[J]. *Resources Science*, 2019, 41(7): 1227–1239.]
- [24] 李江一. 农业补贴政策效应评估: 激励效应与财富效应[J]. *中国农村经济*, 2016, (12): 17–32. [Li J Y. Assessment of agricultural subsidy policy effects: Incentive effects and wealth effects[J]. *Chinese Rural Economy*, 2016, (12): 17–32.]
- [25] 钱宸, 李凡, 李先德, 等. 基于农户经济和环境“双优”目标的粮食主产区化肥施用优化模拟分析: 以邯郸地区小麦生产为例[J]. *自然资源学报*, 2021, 36(6): 1481–1493. [Qian C, Li F, Li X D, et al. Analysis of fertilizer-use optimization under the joint framework of economic rationality and environmental sustainability: Evidence from wheat farmers in Handan, Hebei Province[J]. *Journal of Natural Resources*, 2021, 36(6): 1481–1493.]
- [26] 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.]
- [27] 刘琼, 肖海峰. 农地经营规模与财政支农政策对农业碳排放的影响[J]. *资源科学*, 2020, 42(6): 1063–1073. [Liu Q, Xiao H F. The impact of farmland management scale and fiscal policy for supporting agriculture on agricultural carbon emission[J]. *Resources Science*, 2020, 42(6): 1063–1073.]
- [28] 孔凡斌, 钟海燕, 潘丹. 小农户土壤保护行为分析: 以施肥为例[J]. *农业技术经济*, 2019, (1): 100–110. [Kong F B, Zhong H Y, Pan D. Analysis of soil conservation behavior among small-scale farmers: A case study of fertilization[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2019, (1): 100–110.]
- [29] Guo L L, Li H J, Cao X X, et al. Effect of agricultural subsidies on the use of chemical fertilizer[J]. *Journal of Environmental Management*, 2021, DOI: 10.1016/j.jenvman.2021.113621.
- [30] 米国华, 霍跃文, 曾爱军, 等. 作物养分管理的农机农艺结合技术研究进展[J]. *中国农业科学*, 2022, 55(21): 4211–4224. [Mi G H, Huo Y W, Zeng A J. Integration of agricultural machinery and agronomic techniques for crop nutrient management in China[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2022, 55(21): 4211–4224.]
- [31] 朱建军, 徐宣国, 郑军. 农机社会化服务的化肥减量效应及作用路径研究: 基于CRHPS数据[J]. *农业技术经济*, 2023, (4): 64–76. [Zhu J J, Xu X G, Zheng J. Research on chemical fertilizer reduction effect of agricultural machinery outsourcing service and action path: Based on CRHPS Data[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2023, (4): 64–76.]
- [32] 刘莉, 刘静. 基于种植结构调整视角的化肥减施对策研究[J]. *中国农业资源与区划*, 2019, 40(1): 17–25. [Li L, Liu J. Study on the path of chemical fertilizer reduction from the perspective of planting structure adjustment[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2019, 40(1): 17–25.]
- [33] 曾琳琳, 李晓云, 杨志海. 作物种植专业化与化肥减量来源: 兼顾经营规模的影响[J]. *自然资源学报*, 2022, 37(7): 1707–1721. [Zeng L L, Li X Y, Yang Z H. Crop specialization and chemical fertilizer reduction: The pathway of operation scale[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(7): 1707–1721.]
- [34] 杨冕, 谢泽宇, 杨福霞. 省界毗邻地区绿色发展路径探索: 来自革命老区振兴的启示[J]. *世界经济*, 2022, 45(8): 157–179. [Yang M, Xie Z Y, Yang F X. Green development path for adjacent regions of provincial boundaries: Insights from the revitalization of old revolutionary base areas[J]. *The Journal of World Economy*, 2022, 45(8): 157–179.]
- [35] 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.]
- [36] Moser P, Voena A. Compulsory licensing: Evidence from the trading with the enemy act[J]. *American Economic Association*, 2012, 102(1): 396–427.
- [37] 高婧, 曹宝明, 李宁. 小麦最低收购价政策对化肥施用强度的影响: 基于农地权属的调节效应[J]. *资源科学*, 2022, 44(2): 320–333. [Gao J, Cao B M, Li N. Impact of the wheat minimum purchase price policy on chemical fertilizer application intensity: Based on the moderation effects of farmland property rights[J]. *Resources Science*, 2022, 44(2): 320–333.]
- [38] 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.]
- [39] 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.]
- [40] 沈雪, 敖荣军, 龚胜生, 等. 通过农产品质量认证的合作社影响



2023年8月

- 农业化肥用量的理论机制与实证分析[J]. 自然资源学报, 2022, 37(12): 3267–3281. [Shen X, Ao R J, Gong S S, et al. Theoretical mechanism and empirical analysis on the influence of agricultural chemical fertilizer input by cooperatives with agricultural product quality certification[J]. *Journal of Natural Resources*, 2022, 37(12): 3267–3281.]
- [41] 何丽娟, 王永强. 补贴政策、有机肥使用效果认知与果农有机肥使用行为: 基于陕西省部分有机肥补贴试点县和非试点县的调查[J]. 干旱区资源与环境, 2019, 33(8): 85–91. [He L J, Wang Y Q. Subsidies on organic fertilizer, perception of the effect of organic fertilizer use and farmers' use of organic fertilizer[J]. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 2019, 33(8): 85–91.]
- [42] 杨钰蓉, 罗小锋. 减量替代政策对农户有机肥替代技术模式采纳的影响: 基于湖北省茶叶种植户调查数据的实证分析[J]. 农业技术经济, 2018, (10): 77–85. [Yang Y R, Luo X F. The impact of reduction and replacement policy on farmers' willingness to adopt the organic fertilizer substitution technology mode[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2018, (10): 77–85.]
- [43] 曹清峰. 国家级新区对区域经济增长的带动效应: 基于70大中城市的经验证据[J]. 中国工业经济, 2020, (7): 43–60. [Cao Q F. Driving effects of national new zone on regional economic growth: Evidence from 70 cities of China[J]. *China Industrial Economics*, 2020, (7): 43–60.]
- [44] Liu L C, Wang Y, Xu Y Q. A practical guide to counterfactual estimators for causal inference with time-series cross-sectional data [J]. *American Journal of Political Science*, 2022, DOI: 10.1111/ajps.12723.
- [45] 白俊红, 张艺璇, 卞元超. 创新驱动政策是否提升城市创业活跃度? 来自国家创新型城市试点政策的经验证据[J]. 中国工业经济, 2022, (6): 61–78. [Bai J H, Zhang Y X, Bian Y C. Does innovation-driven policy increase entrepreneurial activity in cities? Evidence from the national innovative city pilot policy[J]. *China Industrial Economics*, 2022, (6): 61–78.]
- [46] Sun L Y, Abraham S. Estimating dynamic treatment effects in event studies with heterogeneous treatment effects[J]. *Journal of Econometrics*, 2021, 225(2): 175–199.
- [47] Imai K, Kim I S. On the use of two-way fixed effects regression models for causal inference with panel data[J]. *Political Analysis*, 2021, 29(3): 405–415.
- [48] Goodman-Bacon A. Difference-in-differences with variation in treatment timing[J]. *Journal of Econometrics*, 2021, 225(2): 254–277.
- [49] Callaway B, Sant' Anna P H C. Difference-in-differences with multiple time periods[J]. *Journal of Econometrics*, 2021, 225(2): 200–230.
- [50] de Chaisemartin C, D'haultfoeulle X. Two-way fixed effects estimators with heterogeneous treatment effects[J]. *American Economic Association*, 2020, 110(9): 2964–2996.
- [51] 刘冲, 沙学康, 张妍. 交错双重差分: 处理效应异质性与估计方法选择[J]. 数量经济技术经济研究, 2022, 39(9): 177–204. [Liu C, Sha X K, Zhang Y. Staggered difference-in-differences method: Heterogeneous treatment effects and choice of estimation[J]. *Journal of Quantitative & Technological Economics*, 2022, 39(9): 177–204.]
- [52] Borusyak K, Jaravel X, Spiess J. Revisiting event study designs: Robust and efficient estimation[J]. *Econometrics*, 2023, DOI: 10.48550/arXiv.2108.12419.
- [53] Cengiz D, Dube A, Lindner A, et al. The effect of minimum wages on low-wage jobs[J]. *The Quarterly Journal of Economics*, 2019, 134(3): 1405–1454.
- [54] 许庆, 陆钰凤, 章元. 规模经营补贴与粮食质量安全: 来自规模经营农户的证据[J]. 经济研究, 2022, 57(11): 121–137. [Xu Q, Lu Y F, Zhang Y. Subsidy to large-scale farming and food quantity-quality security: Evidence from large-scale farmers[J]. *Economic Research Journal*, 2022, 57(11): 121–137.]
- [55] Key N, Roberts M J. Nonpecuniary benefits to farming: Implications for supply response to decoupled payments[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2009, 91(1): 1–18.
- [56] 刘宇荧, 李后建, 林斌, 等. 水稻种植技术培训对农户化肥施用量的影响: 基于70个县的控制方程模型实证分析[J]. 农业技术经济, 2022, (10): 114–131. [Liu Y Y, Li H J, Lin B, et al. Impact of rice cultivation technology training on fertilizer application amount of farmers: Empirical analysis of control function approach based on 70 counties[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2022, (10): 114–131.]
- [57] 吴海霞, 郝含涛, 史恒通, 等. 农业机械化对小麦全要素生产率的影响及其空间溢出效应[J]. 农业技术经济, 2022, (8): 50–68. [Wu H X, Hao H T, Shi H T, et al. Effect of agricultural mechanization on total factor productivity of wheat and its spatial spillover effect[J]. *Journal of Agrotechnical Economics*, 2022, (8): 50–68.]
- [58] Just D R, Kropp J D. Production incentives from static decoupling: Land use exclusion restrictions[J]. *American Journal of Agricultural Economics*, 2013, 95(5): 1049–1067.
- [59] 徐志刚, 郑姗, 刘馨月. 农业机械化对粮食高质量生产影响与环节异质性: 基于黑、豫、浙、川四省调查数据[J]. 宏观质量研究, 2022, 10(3): 22–34. [Xu Z G, Zheng S, Liu X Y. The impact of agricultural mechanization on high quality grain production and the heterogeneity of links: Based on the survey data of Heilongjiang, Henan, Zhejiang and Sichuan Provinces[J]. *Journal of Macro-quality Research*, 2022, 10(3): 22–34.]

# The impact of green agricultural subsidies on fertilizer reduction and its mechanism: Evidence from pilot policies for organic fertilizer subsidies

FAN Dongshou, YANG Fuxia, ZHENG Xin, ZHANG Qiaodan

(College of Economics and Management, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract:** [Objective] This research aimed to investigate the impact of green agricultural subsidies on the intensity of chemical fertilizer use, which is a crucial policy that encourages agricultural production entities to reduce chemical fertilizer use and prevent farmland non-point pollution. [Methods] The study regarded the substitution of organic fertilizers for chemical fertilizers as a policy impact and constructed a theoretical model to explore the internal process of the policy affecting the intensity of chemical fertilizer use from three perspectives: income effect, factor resetting, and planting structure adjustment. The research used the difference-in-differences (DID) and mechanism testing models to analyze the effect and mechanism of impact of organic fertilizer subsidies on chemical fertilizer reduction, based on the panel data of county-level agricultural production in China from 2013 to 2020 and a counterfactual causality analysis framework. [Results] The findings of this study show that the organic fertilizer subsidy policy led to an average decrease of about 7.5% in the intensity of chemical fertilizer use, effectively promoting the reduction of chemical fertilizer use in the counties, and that the effect had significant heterogeneity among crop production zones. Mechanism testing showed that the reduction effect mainly occurred through two pathways: increased input of agricultural labor and agricultural machinery technology that replaces chemical fertilizers, and expansion of the ratio of economic and food crops, which led to planting structure adjustment. [Conclusion] This study confirmed that the green agricultural subsidy policy was able to achieve chemical fertilizer reduction and efficiency increase through improved allocation of agricultural labor, the increase of agricultural machinery and technology inputs, and the adjustment of crop planting structure. Therefore, it is recommended that the promotion of organic fertilizer use through green subsidies should be continued in an active and orderly manner, with full recognition of the heterogeneous effects for different crop types on the reduction of use and increase in efficiency of chemical fertilizers by the implementation of green agricultural subsidies, and that multiple measures should be taken to promote the green development of agriculture in a solid and steady manner.

**Key words:** green agriculture; subsidies; fertilizer intensity; staggered DID; heterogeneity; county level; China